

Studium ultrazvukových vln

D. Gottvaldová

denisa.gottvaldova@gmail.com

Gymnázium Vyškov

T. Kurimaiová

kurimaiova@msn.com

Gymnázium Christiana Dopplera, Praha 5

T. Pojezná

terkapojezna@seznam.cz

Gymnázium Vyškov

Abstrakt

Zvuk je mechanické vlnění, které se šíří v látkovém prostředí pomocí vazebných sil, působících mezi částicemi (atomy, molekulami). Ve vakuu se tedy nešíří.

Ultrazvuk je definován jako vlnění s frekvencí vyšší než 20 kHz. Lidské ucho už ho není schopno zachytit a vnímají ho jen někteří živočichové, například delfini, netopýři a psi.

Rychlost zvuku

Rychlost šíření tohoto vlnění nazýváme rychlost zvuku a značíme v_z . Rychlost zvuku ve vzduchu závisí na atmosférických podmínkách, především na teplotě T a můžeme ji dopočítat ze vztahu

$$v_z = 331,3\sqrt{1 + T/273,15} \quad (1)$$

Měření rychlosti zvuku

Cílem tohoto úkolu bylo změřit rychlost ultrazvuku ve vzduchu. Ke splnění úkolu jsme použili tyto pomůcky: osciloskop, přijímač, vysílač, zesilovač a generátor. Přijímač a vysílač jsme postavili naproti sobě a s pomocí osciloskopu jsme zjistili dobu t , za kterou urazil zvuk vzdálenost s mezi vysílačem a přijímačem. Provedli jsme několik měření, při kterých jsme měnili vzdálenost vysílače od přijímače. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.1. Předpokládaná závislost dráhy na čase je vyjádřena vzorcem

$$s = v_z \cdot t$$

Tabulka č.1: Závislost dráhy s na čase t při měření rychlosti zvuku.

s [m]	$t \cdot 10^{-3}$ [s]	s [m]	$t \cdot 10^{-3}$ [s]
0,050	0,215	0,300	0,964
0,075	0,282	0,325	1,000
0,100	0,381	0,350	1,110
0,125	0,448	0,375	1,150
0,150	0,524	0,400	1,280
0,175	0,600	0,450	1,420
0,200	0,670	0,500	1,560
0,225	0,723	0,550	1,710
0,250	0,824	0,600	1,850
0,275	0,862	0,650	2,000

My jsme ale neurčovali rychlost přímo z tohoto vzorce, místo toho jsme vynesli naměřené body do grafu č. 1 a nafitovali je lineární funkcí

$$s = v_z t + b$$

kde b představuje zpoždění aparatury. Toto zpoždění je způsobeno konstrukcí experimentu a v grafu se projeví tak, že body nesměřují do počátku souřadnic. Tento postup nám umožní získat mnohem přesnější hodnotu rychlosti v_z než bychom získali prostým aritmetickým průměrem hodnot rychlostí dopočtených z jednotlivých měření. Fitování jsme provedli v programu gnuplot, který nám poskytl hodnotu

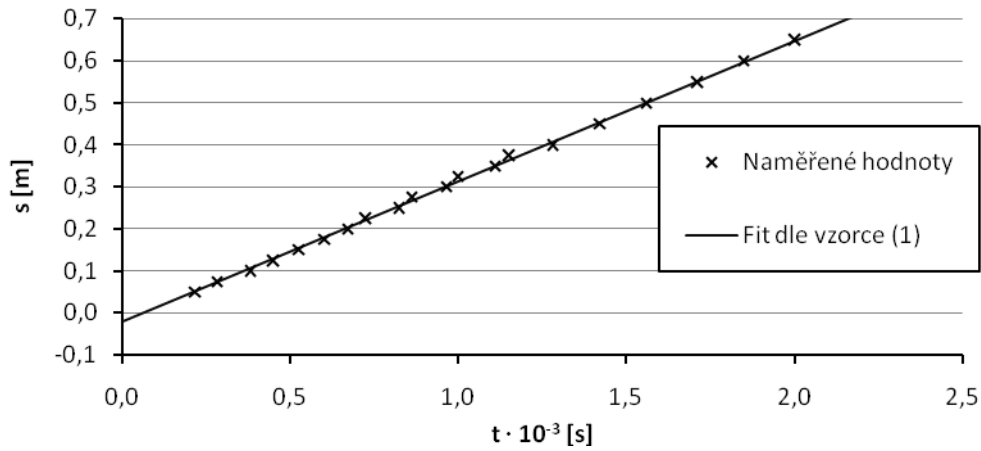
$$v_z = 336 \pm 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Teplota v místnosti byla $T = 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Dosazením do vzorce (1) dostáváme

$$v_z = 346,42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Porovnáním s naměřenou rychlostí vidíme, že tyto hodnoty se liší. To je zřejmě způsobeno jinou vlhkostí a tlakem vzduchu, než pro kterou je platný vzorec (1).

Graf č.1: Závislost dráhy s na čase t při měření rychlosti zvuku.



Chyby měření

Při měření nějaké fyzikální veličiny se můžeme dopustit chyb v měření. Rozlišujeme chyby hrubé, systematické a náhodné.

Hrubých chyb se můžeme dopustit špatným zapsáním údaje, použitím špatného znaménka nebo špatnou či chybnou funkcí přístroje. Těchto chyb se musíme vyvarovat.

Systematické chyby jsou způsobeny například zpožděním stopek, volbou nesprávné stupnice přístroje. Tyto chyby můžeme rozpoznat a opravit.

V případě, kdy se nemění veličina, přístroj a pozorovatel pracují stále stejně, se jednotlivá měření od sebe liší. Tyto chyby jsou přirozenou součástí měření a nelze je odstranit.

Pro další výpočty je pro nás důležitý vzorec pro výpočet chyb nepřímého měření

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 (\Delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 (\Delta x_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 (\Delta x_n)^2} \quad (2)$$

Dopplerův jev

Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného signálu oproti vysílanému signálu, která je způsobena nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače. Jev byl poprvé popsán Christianem Dopplerem v roce 1842 v monografii *Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels*.

Jestliže se vysílač a přijímač pohybují ve směru šíření, platí následující vztahy:

- Vysílač se pohybuje k přijímači, který je v klidu:

$$f = \frac{v_z}{v_z - v} f_0 \quad (3)$$

- Vysílač se pohybuje od přijímače, který je v klidu:

$$f = \frac{v_z}{v_z + v} f_0$$

- Přijímač se pohybuje od vysílače, který je v klidu:

$$f = \frac{v_z - v}{v_z} f_0$$

- Přijímač se pohybuje k vysílači, který je v klidu:

$$f = \frac{v_z + v}{v_z} f_0$$

V těchto vztazích je f pozorovaná frekvence, f_0 frekvence vysílače, v_z rychlost zvuku, v vzájemná rychlost přijímače a vysílače.

Ověření platnosti

Pro ověření platnosti jsme použili případ, kdy se vysílač, umístěný na vozítku, pohybuje směrem k přijímači. Uvažuje se tedy vztah (3). Naměřené hodnoty jsou v tabulce č.2.

Z tabulky č. 2 jsme dopočetli následující hodnoty:

$$f_0 = 40,77 \pm 0,06 \text{ kHz.}$$

$$f = 40,84 \pm 0,05 \text{ kHz.}$$

$$t = 2,0 \pm 0,1 \text{ kHz.}$$

Rychlost v vozítka jsme měřili podle vztahu: $v = \frac{s}{t}$, kde je pevně daná dráha s vozítka 1 m.

Chyba dráhy s se rovná chybě měřidla, polovině velikosti nejmenšího dílku, $\Delta s = 0,0005 \text{ m}$.

Rychlost v_z jsme vzali z minulého měření, $v_z = 336 \pm 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Chybu rychlosti vozítka jsme spočítali pomocí vzorce (4).

Tabulka č.2: Měření veličin při ověřování Dopplerova jevu.

f_0 [kHz]	f [kHz]	t [s]
40,7	40,8	1,95
40,8	40,9	1,99
40,8	40,9	1,93
40,8	40,9	1,89
40,8	40,9	2,02
40,8	40,9	1,95
40,8	40,8	1,99
40,8	40,8	1,95
40,9	40,9	2,06
40,8	40,8	2,09
40,7	40,8	1,99
40,7	40,8	2,02
40,7	40,8	2,02
40,7	40,8	1,99
40,7	40,8	2,34

$$\Delta v = \left(\frac{\partial \frac{s}{t}}{\partial s} \right)^2 (\Delta s)^2 + \left(\frac{\partial \frac{s}{t}}{\partial t} \right)^2 (\Delta t)^2 \quad (4)$$

a po úpravě:

$$\Delta v = \frac{(\Delta s)^2}{t^2} + s^2 t^{-4} (\Delta t)^2$$

Dosazením dostáváme:

$$v = 0,5000 \pm 0,0006 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Abychom ověřili platnost Dopplerova jevu, spočítali jsme pozorovanou frekvenci a porovnali ji s frekvencí naměřenou. Frekvenci f jsme spočítali podle vztahu (3). Chybu jsme spočítali podle vztahu:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial \left(\frac{v_z}{v_z - v} \cdot f_0 \right)}{\partial v_z} \right)^2 (\Delta v_z)^2 + \left(\frac{\partial \left(\frac{v_z}{v_z - v} \cdot f_0 \right)}{\partial v} \right)^2 (\Delta v)^2 + \left(\frac{\partial \left(\frac{v_z}{v_z - v} \cdot f_0 \right)}{\partial f_0} \right)^2 (\Delta f_0)^2}$$

a po úpravě:

$$\Delta f = \frac{v^2}{(v_z - v)^4} (\Delta v_z)^2 + v_z^2 f_0^2 (v_z - v)^{-4} (\Delta v)^2 + \frac{v_z^2}{(v_z - v)^2} (\Delta f_0)^2$$

$$f = 40,83 \pm 0,06 \text{ kHz.}$$

Naměřená frekvence s chybou odpovídá frekvenci vypočtené, čímž jsme potvrdili platnost Dopplerova jevu.

Shrnutí

Pro ověření Dopplerova jevu je důležité uvažovat při každém měření i chybu tohoto měření. Kdybychom chybu neuvažovali, musely by se hodnoty frekvencí zcela shodovat, zatímco intervaly dané chybami mají nenulový průnik a tedy můžeme považovat jev za prokázaný.

Měření rychlosti zvuku naproti tomu ukázalo, že je nutné data zpracovávat i vynesemím do grafu a nafitovat předpokládanou závislostí s jistými přidávanými parametry viz. přítomnost koeficientu b v úloze 1.

Celkově jsme zjistili, že ultrazvuk se chová stejně jako slyšitelný zvuk. Naučili jsme se zacházet s osciloskopem, gnuplotem a statisticky zpracovávat data.

Poděkování

Autoři děkují Bc. Filipu Mohylovi za spolupráci a pomoc při projektu, za zasvěcení do problematiky a celému organizačnímu týmu FJFI ČVUT v Praze.

Reference

- 1) www.wikipedia.cz
- 2) <http://praktika.fjfi.cvut.cz/Sonar>
- 3) <http://praktika.fjfi.cvut.cz/ProvPokyny/chybynav/CHYBY1n.pdf>