

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

KATEDRA FYZIKY

LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY

Jméno	Roman Zemánek	Datum měření	11.11.2010
Stud. rok	2010/2011	Ročník	2.
		Datum odevzdání	18.11.2010
Stud. skupina	Lab. skupina	Klasifikace	

Číslo úlohy	Název úlohy
10	Měření rychlosti zvuku sonarovou metodou

1. Úkol měření

Určete rychlost zvuku ve vzduchu měřením doby mezi vysláním a registrací odražených ultrazvukových impulzů.

2. Použité přístroje

- posuvné měřidlo
- aparatura ultrazvukového vysílače s odraznou plochou a přijímačem
- PC se softwarem Measure

3. Realizace úlohy

3.1 Postup měření

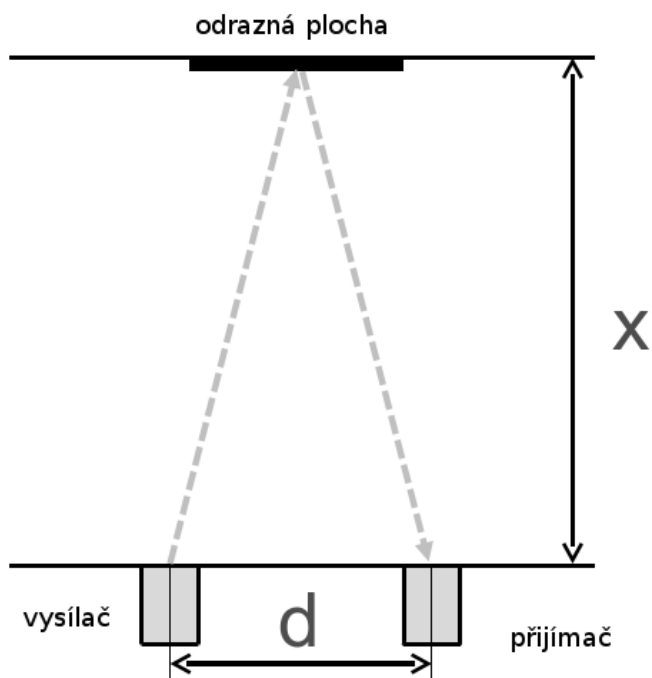
1. Zkontrolujte zapojení přístrojů a seznáňte se s ovládáním programu Measure.
2. Změřte časový odstup vyslaného a přijatého impulzu pro alespoň 10 různých vzdáleností odrazné plochy.
3. Pomocí metody nejmenších čtverců vypočítejte rychlost zvuku ve vzduchu. Tuto hodnotu porovnejte s hodnotou vypočtenou pro danou teplotu pomocí vzorce 3.16.

3.2 Realizace

Nejjednodušší možností měření rychlosti zvuku spočívá v určení času, jaký vlna potřebuje k překonání dané vzdálenosti.

Aparatura použitá v této úloze funguje na principu sonaru a schematicky je znázorněna na obrázku.

Z ultrazvukového vysílače se vyšle krátký impulz, který se šíří vzduchem jako zvuková vlna a po odrazu od reflektoru je zachycen ultrazvukovým přijímačem. Z doby mezi vysláním a registrací odraženého pulzu τ a ze známé vzdálenosti l můžeme vypočítat rychlost zvuku c_0 . Pro různé vzdálenosti l_i obdržíme různé doby τ_i .



Protože pro rovnoměrný pohyb z kinematiky známe vztah $s = v \cdot t + s_0$, kde s je dráha a v rychlost, můžeme rychlost zvuku vypočítat tak, že naměřenou závislost τ_i , l_i pomocí metody nejmenších čtverců aproximujeme přímkou $l = A \cdot \tau + B$, takže pro rychlost zvuku dostaneme $c_0 = A$.

3.3 Naměřené a vypočtené hodnoty

- teplota v místnosti: $t_0 = 23,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- změřeno posuvkou: $d = 0,0686 \text{ m}$
- daná vzdálenost: $x = 1,4 \text{ m}$
- naměřený čas: $\tau = 0,008192 \text{ s}$
- výchozí vztah: $c = \frac{l}{\tau} = \frac{\sqrt{4x^2 + d^2}}{\tau}$
- dosazením: $c = \frac{\sqrt{4(1,4)^2 + (0,0686)^2}}{0,008192} = \frac{2,801}{0,008192} = 339,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- aproximace pomocí metody nejmenších čtverců: $c_0 = 338,61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 - za použití rovnice: $y = 2,9532\text{E-}003 \tau + 1\text{E-}05$
 - jedná se o převrácenou hodnotu směrnice proložené přímkou
- dle podkladů ze sítě: $c_0 = 331,06 + 0,61 \cdot t_0 = 345,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

3.4 Tabulka hodnot

číslo měření	x [m]	l [m]	t [s]	v [ms ⁻¹]	d [m]
1	1,3	2,600904835	7,68E-003	338,8359608	0,0686
2	1,2	2,400980208	7,06E-003	339,937733	0,0686
3	1,1	2,201069277	6,50E-003	338,7302672	0,0686
4	1	2,001176144	5,94E-003	336,8416334	0,0686
5	0,9	1,801306737	5,37E-003	335,6263717	0,0686
6	0,8	1,601469937	4,72E-003	3,39E+002	0,0686
7	0,7	1,401679692	4,12E-003	340,2961137	0,0686
8	0,6	1,201959217	3,53E-003	340,6913881	0,0686
9	0,5	1,002350218	2,96E-003	338,7462718	0,0686
10	0,4	0,802935838	2,37E-003	338,363185	0,0686
11	0,3	0,6039089	1,79E-003	337,5678594	0,0686

3.5 Nejistoty měření

- standardní nejistota typu B
 - závisí na přesnosti daných přístrojů a na osobní nejistotě
 - k danému měření vztahujeme:
 - osobní nejistota při měření délky x : **0,5 mm**
 - $u_{B1}(x) = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,288 \text{ mm}$
 - nejistota posuvného měřidla při určení délky x : **0,1 mm**
 - $u_{B2}(x) = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,058 \text{ mm}$
 - standardní nejistota typu B pro délku x :
 - $u_B(x) = \sqrt{u_{B1}(l)^2 + u_{B2}(l)^2} = 0,29 \text{ mm}$
 - a pro délku l dostáváme standardní kombinovanou nejistotu typu C:

$$u_C(l) = \sqrt{\left(\frac{\partial l}{\partial x}\right)^2 \cdot u_C(x)^2} = \sqrt{\left(\frac{4\bar{x}}{\sqrt{4\bar{x}^2 + d^2}}\right)^2 \cdot u_C(x)^2} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 80}{\sqrt{4 \cdot 80^2 + 7^2}}\right)^2 \cdot 0,6453^2}$$

$$= 1,289 \text{ mm}$$

- vzorkovací perioda: $\tau = 1/200000 = 5 \mu\text{s}$
 - $u_{B3}(\tau) = \frac{0,000005}{\sqrt{3}} = 2,89 \mu\text{s}$
- nejistota odečítání z monitoru: **0,03 ms**
 - $u_{B4}(\tau) = \frac{0,03}{\sqrt{3}} = 0,17 \text{ ms}$
- standardní nejistota typu B pro čas τ :
 - $u_B(\tau) = u_C(\tau) = \sqrt{u_{B3}(\tau)^2 + u_{B4}(\tau)^2} = 0,17 \text{ ms}$

Nejistoty pro určení rychlosti zvuku c_0 :

- nejistota z aproximace pomocí nejmenších čtverců vychází:

$$u_A(c_0) = \sqrt{u_{A1}(c_0)^2 + u_{A2}(c_0)^2} = 0.0133 \text{ m/s}$$

- výsledná standardní nejistota pro rychlost zvuku c_0 :

$$u_C(c_0) = \sqrt{\left(\frac{\partial c_0}{\partial l}\right)^2 \cdot u_C(l)^2 + \left(\frac{\partial c_0}{\partial \tau}\right)^2 \cdot u_C(\tau)^2 + u_A(c_0)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{\tau}\right)^2 \cdot u_C(l)^2 + \left(-\frac{1}{\tau^2} - \frac{3 \cdot E-7}{\tau^2}\right)^2 \cdot u_C(\tau)^2 + u_A(c_0)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{0,00473}\right)^2 \cdot 0,001289^2 + \left(-\frac{1,602}{0,00473^2} - \frac{0,0255}{0,00473^2}\right)^2 \cdot 0,0000147^2 + 0,0000147^2} = 1,104 \text{ ms}^{-1}$$

4. Závěr

Rychlost zvuku v laboratoři jsme naměřili **338,61(1,104) m*s⁻¹**.

Pokud bychom k výpočtu použili vzorce dle podkladů ze sítě pro výpočet teoretické rychlosti zvuku: $c_0 = 331,06 + 0,61 * t_0$, kde t_0 je teplota v místnosti (v našem případě **23,8 °C**), dostaneme hodnotu **345,58 m*s⁻¹**.

Z jednoduchého porovnání těchto dvou hodnot zjistíme, že jsme naměřili rychlost zvuku o **6,97 m*s⁻¹** menší. Tato poměrně velká nejistota ovšem pro běžné určování rychlosti postačuje a sonarovou metodu můžeme označit za spolehlivou, jelikož její odchylka je 2,05 %.

5. Použité zdroje informací

M&B Calibr Ivančice, nejistota posuvného měřidla

- <http://www.mbcaltbr.cz/navody/merime-posuvkou/>

Wikipedia.org, Definition of ∂ as a mathematical symbol

- <http://en.wikipedia.org/wiki/%E2%88%82>