

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		KATEDRA FYZIKY	
LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY			
Jméno Lukáš ČEŘOVSKÝ		Datum měření 22.10.2002	
Stud. rok 2002/2003	Ročník 2	Datum odevzdání 5.11.2002	
Stud. skupina 02	Lab. skupina 1	Klasifikace	
Číslo úlohy 1a	Název úlohy Měření rychlosti šíření zvukových vln v kapalině		

Měření rychlosti šíření zvukových vln v kapalině

Úkol měření

Změřit závislost napětí na měniči na vzdálenosti reflektoru. Tuto závislost zobrazit graficky a určit tak vlnovou délku ultrazvukových vln v dimethylftalátu.

Vypočítat rychlost šíření zvuku v dimethylftalátu a určit modul objemové pružnosti. Stanovit chybu měření pro obě tyto veličiny.

Pozorovat zobrazení zvukových vln v interferometrické komůrce optickou metodou.

Obecná část

Ultrazvuk:

Mechanickým kmitům částic okolo rovnovážné polohy v prostředí říkáme zvuk. Podle frekvence těchto kmitů odlišujeme ultrazvuk, jehož frekvence přesahuje 20 kHz což je přibližně horní mez zvuku, jakou je lidské ucho schopno rozpoznat. Ultrazvuku se využívá při zkoumání struktur materiálů nebo při měření vzdáleností, přičemž zvukové kmity neovlivňují okolní prostředí. Takovému ultrazvuku se říká pasivní. Aktivní ultrazvuk již koná nějakou práci, například míchání kapalin, čištění nebo vrtání. Oba druhy ultrazvuku mají své uplatnění i v medicíně.

V kapalinách se zvuk šíří pouze jako podélné vlnění, takže výchylka má stejný směr jako vlna. Je to způsobeno velmi malým smykovým třením. Šíření zvukové vlny ve vodě probíhá adiabaticky, takže rychlost šíření c je rovna:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad K = -\frac{\partial P}{\partial V_0} \cdot V_0$$

v tomto výrazu je K adiabatický modul objemové pružnosti; P je tlak; V_0 objem; ρ hustota prostředí.

Piezoelektrika:

Využívají se jako piezoelektrické a magnetostrikční elektroakustické měniče, k přeměně energie u nich dochází na úrovni molekul prostřednictvím elastických a elektromagnetických vazeb.

V roce 1880 zjistili bratři Curieové, že se na některých monokrystalech při deformaci objevují elektrické náboje. Elektroakustické měniče využívají opačného jevu, kdy v elektrickém poli dochází k deformaci krystalu úměrné velikosti pole. Piezoelektrické výbrusy mají vlastní frekvenci, danou parametry výbrusu jako je výška, modul pružnosti a hustota. Pokud se vnější elektrické pole mění s frekvencí rovnou vlastní frekvenci výbrusu, dojde k rezonanci a výbrus se s touto frekvencí rozkmitá.

Stanovení rychlosti šíření ultrazvuku:

Piezoelektrický měnič vytváří v kapalině vlny, které se odrážejí od reflektoru, umístěném proti krystalu. Vlna a její odražená část interferují a v případě, že vzdálenost krystalu od výbrusu dosáhne celého násobku poloviny vlnové délky vlny vznikne stojaté vlnění. Projeví se to minimální mechanickou zátěží krystalu, což můžeme zjistit změřením napětí na krystalu. V tomto případě bude napětí na krystalu minimální. K posunu reflektoru slouží mikrometrický šroub.

Kapalina, ve které se měření provádí je umístěna na optické lavici, nastavené tak, aby světlo ze zdroje bylo usměrněno na rovnoběžné paprsky, procházející kapalinou. Měřená kapalina má tu vlastnost, že její kmitající částice odrážejí světelné paprsky, což se projeví na stínítku.

Rychlost ultrazvuku je potom dána součinem jeho frekvence (buzení měniče) a změřené vlnové délky.

Postup měření

1. Zapneme interferometrický generátor. Červený LED displej udává kmitočet generátoru, na ručkovém měřidle je údaj o napětí na měniči (interferometrická komůrka je trvale připojena ke generátoru).
2. Zapneme transformátor žárovky ve světelném zdroji.
3. Mikrometrický šroub reflektoru přivedeme do nejnižší polohy a začneme odečítání $U = U(d)$. Polohu reflektoru měníme po 0,05 mm, v okolí maxim po 0,01 mm a současně mimo tuto řadu bodů ještě změříme co nejpřesněji polohu každého maxima. Naměřené hodnoty vyneseme do grafu. Z grafu odečteme vzdálenost sousedních maxim, která je rovna polovině vlnové délky ultrazvuku v dané kapalině.
4. Clonu nastavíme tak, aby odclonila většinu neodchýlených paprsků. Zvýší se tak kontrast zobrazení stojatého ultrazvukového vlnění, které pozorujeme na stínítku. Zjišťujeme, jak se mění intenzita proužků stojatého vlnění v závislosti na poloze reflektoru.
5. Hodnoty získané odečtením z křivky $U = U(d)$ zpracujeme postupnou metodou. Aby bylo možno použít tuto metodu, je nutné mít naměřeny polohy nejméně desíti maxim.

Schéma měřicího zařízení

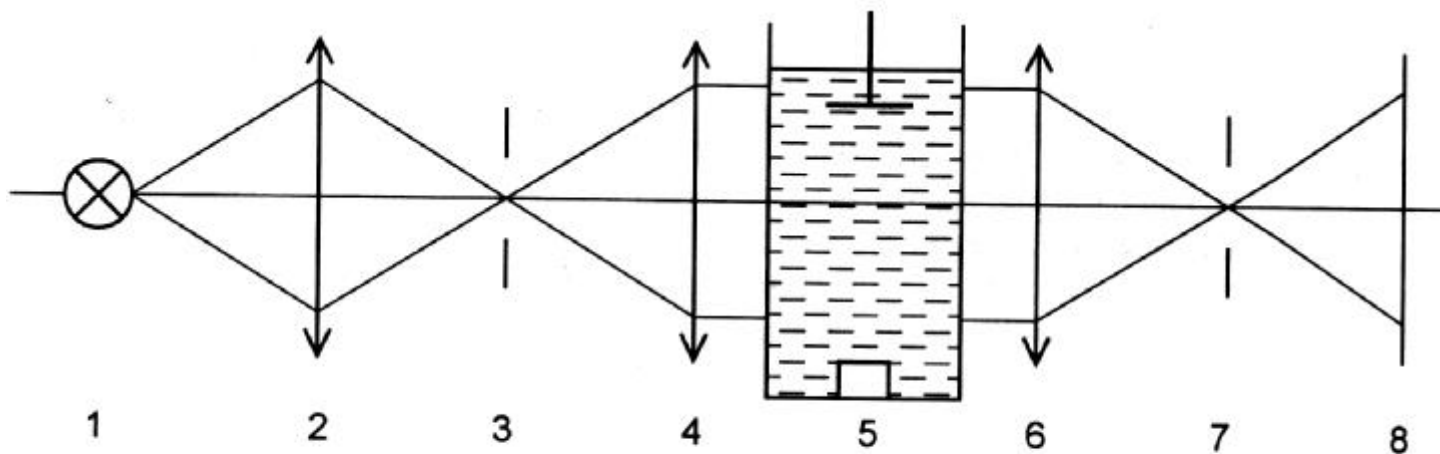


Schéma měřicího zařízení. 1 a 2 - světelný zdroj s kondenzorem, 3 - štěrba, 4 a 6 - spojené optické soustavy (fotografické objektivy), 5 - interferometrická komůrka, 7 - clona, 8 - stínítko.

Seznam použitých přístrojů a pomůcek

ultrazvukový generátor s komůrkou

optická lavice

generátor: IF93a; T_p voltmetru = 1,5

Tabulky naměřených hodnot a zpracovaných výsledků

d [mm]	U [V]	d [mm]	U [V]	d [mm]	U [V]	d [mm]	U [V]	d [mm]	U [V]
0	4,64	1	4,65	2	4,5	3	4,5	4	4,4
0,05	5,4	1,05	5,44	2,05	5,35	3,05	5,2	4,05	5,05
0,1	5,5	1,1	5,45	2,1	5,5	3,1	5,4	4,1	5,2
0,15	5,56	1,15	5,4	2,15	5,4	3,15	4,35	4,15	5,15
0,2	5,41	1,2	5,3	2,2	5,25	3,2	5,25	4,2	5,05
0,25	5,56	1,25	5,4	2,25	5,5	3,25	5,2	4,25	5
0,3	5,41	1,3	5,35	2,3	5,2	3,3	5	4,3	4,85
0,35	5,03	1,35	5,05	2,35	5,05	3,35	4,8	4,35	4,65
0,4	4,4	1,4	4,3	2,4	4,35	3,4	4,45	4,4	4,25
0,44	3,94	1,44	3,96	2,44	3,92	3,44	3,9	4,44	3,98
0,45	3,91	1,45	3,85	2,45	3,85	3,45	3,8	4,45	3,9
0,46	3,97	1,46	3,93	2,46	3,99	3,46	3,87	4,46	4,01
0,5	4,8	1,5	4,65	2,5	4,5	3,5	4,35	4,5	4,45
0,55	5,39	1,55	5,45	2,55	5,3	3,55	5,15	4,55	5,05
0,6	5,41	1,6	5,5	2,6	5,45	3,6	5,25	4,6	5,2
0,65	5,41	1,65	5,4	2,65	5,35	3,65	5,2	4,65	5,05
0,7	5,38	1,7	5,3	2,7	5,2	3,7	5,15	4,7	5,05
0,75	5,48	1,75	5,35	2,75	5,2	3,75	5,1	4,75	4,956
0,8	5,42	1,8	5,25	2,8	5,1	3,8	4,9	4,8	4,8
0,85	5,04	1,85	5	2,85	4,95	3,85	4	4,85	4,65
0,9	4,37	1,9	4,35	2,9	4,4	3,9	4,4	4,9	4,3
0,94	3,98	1,94	3,41	2,94	3,85	3,94	3,96	4,94	3,97
0,95	3,9	1,95	3,9	2,95	3,8	3,95	3,8	4,95	3,85
0,96	3,95	1,96	3,97	2,96	3,89	3,96	3,9	4,96	3,95

zpracování výsledků postupnou metodou:

i	d _i	d _{i+k}	d _{i+k} -d _i	d	D _i	J
1	0,45	2,95	2,5		0	
2	0,95	3,45	2,5		0	
3	1,45	3,95	2,5		0	
4	1,95	4,45	2,5		0	
5	2,45	4,95	2,5		0	
				0,05		0

Určení vlnové délky ultrazvuku, chyba měření:

Vzdálenost mezi extrémy naměřených hodnot je 0,5 mm, takže vlnová délka ultrazvuku je:

$$l = 2 \cdot d = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Chyba určení vzdálenosti mezi extrémů vypočítaná postupnou metodou:

$$\bar{d} = \frac{1}{10 \cdot k^2} \cdot \left(\sum_{i \in k+1}^n d_i - \sum_{i \in 1}^k d_i \right) = \frac{1}{10 \cdot 5^2} \cdot \left(\sum_{i \in k+1}^n d_i - \sum_{i \in 1}^k d_i \right) = 0,05 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = \bar{T} - \frac{1}{10} \cdot \frac{T_{k+i} - T_i}{k}$$

$$\bar{J} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \Delta_i^2}{k \cdot (k-1)}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{0}{k \cdot (k-1)}} = 0 \text{ mm}$$

Postupnou metodou jsme chybu nezjistili, takže chyba určení vzdálenosti je dána přesností mikrometrického šroubu $\vartheta = 0,01 \text{ mm}$.

Výpočet rychlosti šíření zvuku v dimethylftalátu:

$$c = l \cdot f = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1452 \cdot 10^3 = 1452 \text{ m/s}$$

$$\bar{J} = \sqrt{f^2 \cdot J_l^2 + l^2 \cdot J_f^2} = \sqrt{(1452 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,01^2 + 10^{-6} \cdot 10^6} = 12 \text{ m/s}$$

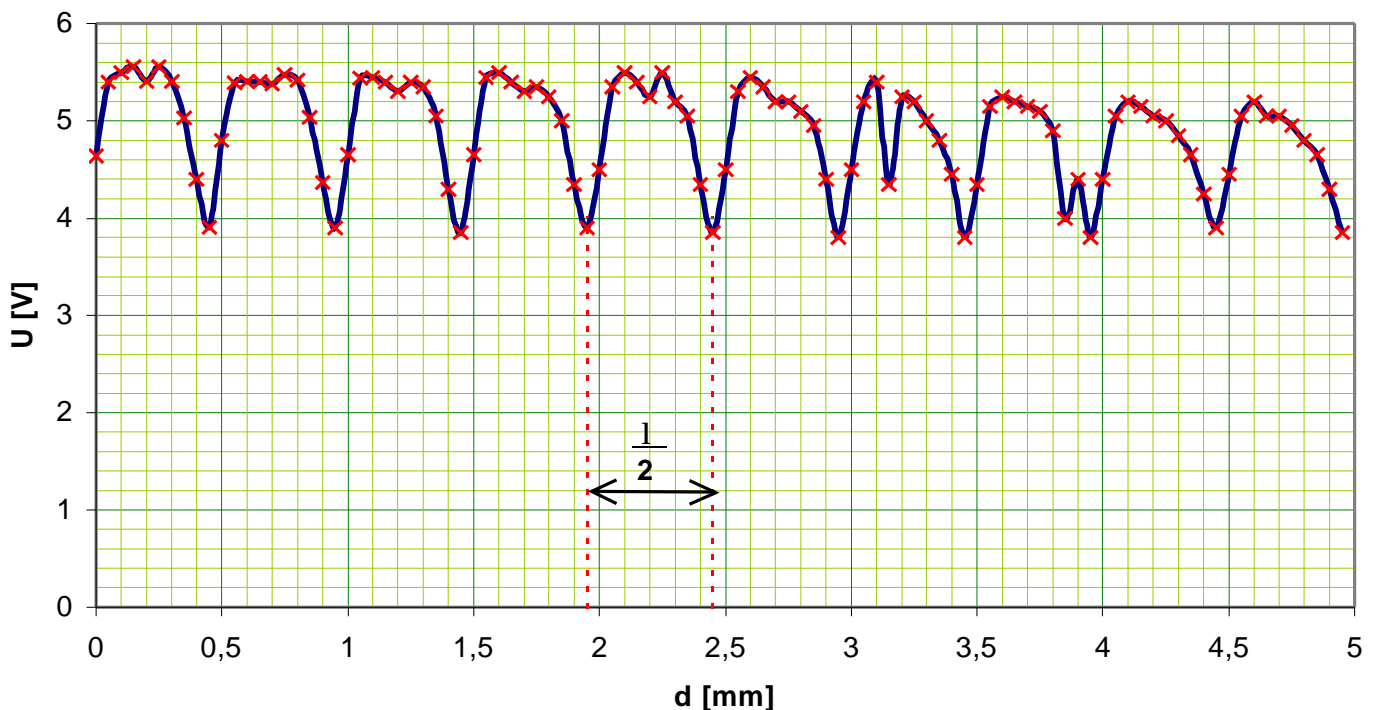
Výpočet modulu objemové pružnosti dimethylftalátu:

$$K = r \cdot c^2 = 1,19 \cdot 10^3 \cdot 1452^2 = 2,5 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$\bar{J} = \sqrt{c^4 \cdot J_r^2 + (2 \cdot c \cdot r)^2 \cdot J_c^2} = \sqrt{1452^4 \cdot 0,01^2 + (2 \cdot 1452 \cdot 1,19 \cdot 10^3)^2 \cdot 12^2} = 0,041 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

Graf

Měření vlnové délky ultrazvuku



Zhodnocení výsledku měření

Výsledek:

Vlnová délka ultrazvukových vln v dimethylftalátu je $\lambda = (1,00 \pm 0,01) \text{ mm}$. Tato hodnota byla upravena postupnou metodou. Nulová postupná chyba je dána šťastnou volbou počáteční vzdálenosti, díky níž extrém napětí nastal právě v celém násobku 0,05 mm, což bylo potvrzeno měřením napětí v těsném okolí $\pm 0,01 \text{ mm}$ od extrému. V takovém případě postupná metoda chybu nezjistí, takže chyba je dána pouze chybou mikrometrického šroubu.

Rychlost šíření zvuku v dimethylftalátu je $c = (1452 \pm 12) \text{ m/s}$. Zvuk se v kapalině šíří rychleji než ve vzduchu, pokud kapalina není extrémně viskózní. Je to způsobeno těsnější vazbou mezi kmitajícími částicemi kapaliny.

Modul objemové pružnosti dimethylftalátu je $K = (2,509 \pm 0,041) \text{ GPa}$.

Kontrolní otázky:

Jaký je rozdíl mezi zvukem a ultrazvukem?

Ultrazvuk je takový zvuk, jehož kmitočet přesahuje hodnotu 20 kHz, pro lidské ucho je neslyšitelný.

Porovnejte naměřené hodnoty rychlosti zvuku a modulu objemové pružnosti s údaji o jiných látkách

Zvuk se ve vzduchu o teplotě okolo 5°C šíří rychlostí 333 m/s. V dimethylftalátu se šíří téměř pětikrát rychleji.

Nejrychleji se zřejmě bude šířit v kovech, kde jsou atomy pravidelně uspořádány v pevné mřížce.

Dimethylftalát má poměrně malý modul objemové pružnosti ve srovnání s vodou (200 TPa). Naopak

Diethylether má modul pouze 600 MPa. Z běžných látek má nejvyšší modul objemové pružnosti rtuť 2600 TPa.

(moduly objemové pružnosti jsou převzaty z tabulek - viz prostudovaná literatura)

Porovnejte přesnosti měření pomocí odečítání elektrického napětí a optického pozorování. Bylo by možné měřit vlnovou délku přímo na stínítku?

Odečítání vlnové délky ze stínítka by bylo dosti nepřesné. Obraz na stínítku by musel být zvětšen a dobře zaostřen, hlavně bychom museli najít měřítko. Při dostatečné přesnosti voltmetru je výhodnější hledat extrémy napětí.

Přepočítejte platnost vztahu pro kmitočet vlastních kmitů použitého piezoelektrického měniče

Vztah pro kmitočet vlastních kmitů měniče vychází z pohybové rovnice pro volné, netlumené kmity.

Po dosazení parametrů použitého krystalu při buzení na 3. harmonické ($n=3$) je kmitočet:

$$r \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - E \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow f_n = \frac{n}{2 \cdot d} \sqrt{\frac{E}{r}} = \frac{3}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{0,94 \cdot 10^{11}}{7,4 \cdot 10^3}} = 1336 \text{ kHz}$$

Proč se ve zdrojích světla pro optické přístroje užívají kondenzory?

Kondenzor vytvoří z rozbíhavého světla ze světelného zdroje svazek sbíhavých paprsků, které potom mohou být upraveny štěrbinou a objektivem na rovnoběžné paprsky, použitelné při promítání na stínítko.

Dal by se použít jako zdroj světla laser?

Laser by byl pro promítání ideální v případě, že by emitoval rovnoběžné paprsky po větší ploše. Jako bodový zdroj světla bez úpravy další optikou je nepoužitelný.

Seznam prostudované literatury

Michal Bednařík, Petr Koníček, Ondřej Jiříček: Fyzika I a II – fyzikální praktikum; ČVUT 1999

Mikulčák, Krkavec, Klimeš, Bartůněk: Matematické fyzikální chemické tabulky; SPN 1970, 4. vydání