

Tři nové fyzikální experimenty se zvukovou kartou PC

ČENĚK KODEJŠKA

Gymnázium, Nový Bydžov, Komenského 77

V rámci zatraktivnění výuky fyziky a využívání moderních měřících metod s využitím počítače jsme se zabývali dalšími experimenty se zvukovou kartou počítače. Navázali jsme tak na předchozí práci, jejíž výsledky byly publikovány v [1].

Především jsme se snažili navrhnout úplně nové, dosud nepublikované experimenty a více zefektivnit práci s optickou bránou. Zjistili jsme, že laserové ukazovátko lze po mírné úpravě napájet přímo z USB portu notebooku, což umožňuje jeho provoz bez dalších nákladů na výměnu baterií. Další nespornou výhodou napájení z USB portu je konstantní svítivost laserového zdroje, která pak negativně neovlivňuje výsledky měření jako v případě klesající svítivosti při napájení z baterií.

V experimentech jsme dále použili místo fotodiody 1 PP 75 (součást starších fyzikálních školních souprav) nebo nového typu BPW 34 solární článek 0,5 V/100 mA, který svojí aktivní plochou o velikosti několika cm² umožňuje lepší manipulaci s optickou bránou i snadnější zaměření laserového paprsku.

K záznamu a vyhodnocení signálu jsme použili kromě osvědčeného freewarového programu *Free Audio Editor* i některé další softwarové nástroje, jako např. program *Audacity* [2] nebo *Sigview* [3], které podrobněji zmíníme v konkrétních experimentech níže.

Závěrem připomeňme ještě jeden důležitý fakt, na který jsme při práci se zvukovou kartou narazili. Zvuková karta pracuje se standardní vzorkovací

frekvencí 44,1 kHz, která vyhovuje většině prováděných měření. Při některých měřeních ale potřebujeme určovat časové intervaly s větší přesností než 10^{-3} s, kterou standardně nabízí výše uvedené programy. Při maximálním zvětšení křivky zaznamenaného signálu pak nízká hustota bodů na křivce znemožňuje přesnější odečet na časové ose. Je tedy nutné použít při záznamu signálu i jeho následném uložení do formátu WAV maximální vzorkovací frekvenci, kterou zvuková karta dokáže nabídnout. V našem případě byla hodnota této frekvence 96 kHz. Hustota bodů na křivce pak umožňuje odečítat hodnoty na časové ose s přesností až 10^{-6} s.

V další části příspěvku popíšeme stručně tři nové experimenty z různých oblastí fyziky, k jejichž realizaci jsme použili zvukovou kartu PC. Popíšeme také zcela novou metodu měření povrchového napětí kapalin.

Určení rychlosti zvuku z Dopplerova jevu a záznamů rotujícího zdroje zvuku

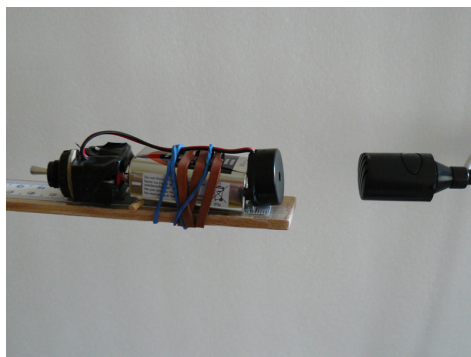
Při pohybu rotujícího zdroje signálu o konstantní frekvenci dochází současně ke dvěma efektům. Prvním jevem je Dopplerův efekt, který vzniká při přibližování zdroje zvuku k pozorovateli nebo jeho vzdalování od pozorovatele. Druhým efektem jsou rázy, které moduluji zaznamenaný signál. Protože při otáčivém pohybu zdroje zvuku vůči nehybnému pozorovateli (mikrofon) dochází k téměř současnému zvýšení i snížení frekvence, můžeme pozorovat i slyšitelné zvukové rázy – zázněje.

Z vyřazeného počítače vyjmeme větráček, který ochlazuje zdroj napájení. Větráčky ochlazující procesor počítače nejsou tak výkonné a k tomuto experimentu se nehodí. Na větráček připevníme pomocí vteřinového lepidla dva šrouby, pomocí kterých k větráčku upevníme rotující dřevěné rameno. Rameno musí být umístěno symetricky, aby se zamezilo nežádoucím kmitům celého zařízení. Jeden konec ramene opatříme plastovým měřítkem, pomocí kterého pak nastavujeme vzdálenost zdroje zvuku od středu rotace. Volbou vzdálenosti volíme příslušnou obvodovou rychlost oscilátoru.

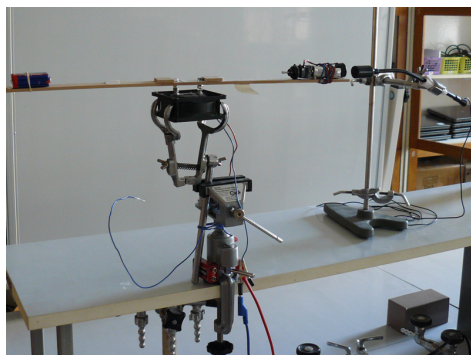
Na konec jednoho ramene připevníme zdroj sinusového signálu o určité frekvenci. Zdrojem může být např. i mobilní „chytrý“ telefon, na kterém máme nainstalovaný nějaký generátor signálu. My jsme nakonec přistoupili k miniaturizaci tohoto zdroje a použili jsme piezoelektrický zvukový měnič o frekvenci 4,2 kHz, připojený přímo přes vypínač k baterii 9V (obr. 1).

Druhý konec otáčivého ramene vyvážíme jinou baterií 9V, abychom zabránili nežádoucím kmitům celé soustavy při vyšších rychlostech. Mikro-

fon, kterým snímáme průběh signálu, umístíme v co nejmenší vzdálenosti od oscilátoru, v úrovni roviny rotace. Celkové provedení experimentu vidíme na obr. 2 a zaznamenaný signál na obr. 3.



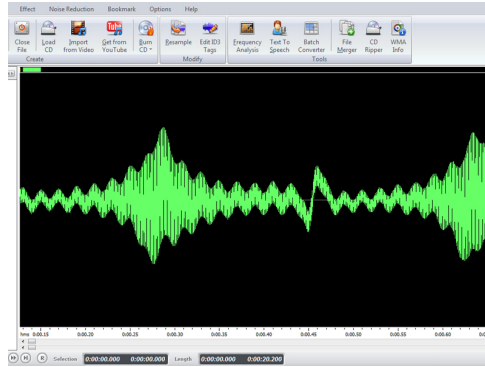
Obr. 1 Piezoelektrický generátor s frekvencí 4,2 kHz a snímací mikrofon



Obr. 2 Měření rychlosti zvuku z Dopplerova jevu – uspořádání experimentu

Měření lze provést pro různé hodnoty vzdálenosti od středu otáčení, ale čím větší vzdálenost zvolíme, tím větší rychlosti zdroje zvuku docílíme a tím i většího rozdílu dopplerovských frekvencí. My jsme po několika předběžných testech zvolili maximální délku ramene ve vzdálenosti 24 cm. Podobně je to i s volbou frekvence oscilátoru. Čím vyšší základní frekvenci má zdroj, tím lepších výsledků při určení výsledné rychlosti zvuku dosáhneme. Maximální rychlost, kterou lze s 12 V větráčkem dosáhnout je přibližně $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při této rychlosti ale vlivem nedokonalého vyvážení začne celý systém vibrovat a měření nelze téměř realizovat. Nám se

osvědčilo nastavení napájecího napětí větráku na hodnotu 7 V, při které rychlost zdroje dosahuje hodnoty přibližně $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 3 Záznam signálu s patrnou modulací zvukovými rázy

Platí-li pro dopplerovské frekvence známý vztah (1), viz [4],

$$f_{1,2} = f_0 \frac{v_{zv}}{v_{zv} \mp v}, \quad (1)$$

kde f_0 je základní frekvence zdroje v klidu, f_1 je frekvence pozorovatelná při přibližování zdroje zvuku k mikrofonu, f_2 je frekvence zaznamenaná při oddalování oscilátoru od mikrofonu, v je rychlost pohybu zdroje zvuku a v_{zv} je rychlost zvuku, můžeme frekvenci rázů, kterou je výrazně modulován zaznamenaný signál vypočítat z rozdílu frekvencí f_1 a f_2 .

Pro frekvenci rázů pak dostaneme vztah (2):

$$f_r = f_0 \cdot v_{zv} \frac{2v}{v_{zv}^2 - v^2} \quad (2)$$

Chceme-li z rovnice (2) vyjádřit rychlost zvuku, musíme po mírné úpravě řešit kvadratickou rovnici, která dává řešení (3):

$$v_{zv1,2} = v \frac{f_0 \pm \sqrt{f_0^2 - f_r^2}}{f_r} \quad (3)$$

Platí-li, že $f_r \ll f_0$, můžeme předchozí vztah (3) nahradit jednodušším vztahem (4), který s dostatečnou přesností umožňuje určit rychlost zvuku

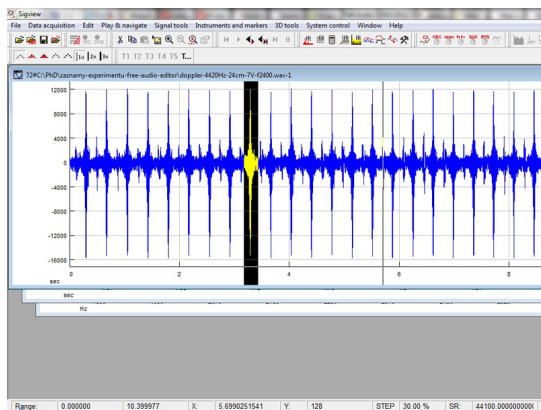
$$v_{zv} = 2v \frac{f_0}{f_r} = 2v f_0 T_r, \quad (4)$$

kde $v = 2\pi r/T$ je rychlost pohybu zdroje zvuku, f_0 je vlastní frekvence oscilátoru a T_r je perioda rázů. Frekvence rázů je řádově 10^2 Hz, takže ji lze vzhledem k vlastní frekvenci oscilátoru o velikosti $f_0 = 4\,420$ Hz zanedbat.

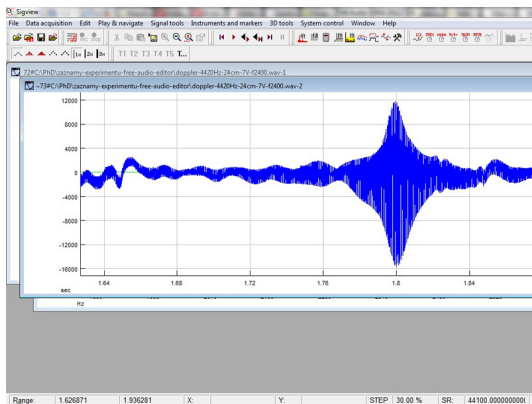
Na celém měření je nejtěžší určit co nejpřesněji frekvenci rázů, resp. jejich periodu. Program *Free Audio Editor* (FAE) je na takovéto měření už nedostatečný. Zkusili jsme použít program *Audacity*, který nabízí frekvenční analýzu zaznamenaného signálu a dokáže vyhledat největší zaznamenanou frekvenci, nicméně i tento program se ukázal jako málo přesný nástroj. Je třeba si uvědomit, že při odchylce periody rázů v řádu 10^{-3} s až 10^{-4} s se výsledná rychlost zvuku mění o několik desítek $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Hledali jsme tedy ještě přesnější analyzátor zvukového signálu a objevili program *Sigview*, který k analýze používá rychlou Fourierovu transformaci (FFT). Jedná se o shareware, který lze bez poplatku používat 21 dní, což je dostatečně dlouhá doba na to, aby žáci stihli provést laboratorní cvičení a tento program využili. Nebudeme dále rozepisovat další skvělé vlastnosti tohoto programu a ponecháme na laskavém čtenáři, aby je sám objevil.

V programu FAE tedy určíme s dostatečnou přesností periodu otáček rotujícího oscilátoru a záznam uložíme do formátu WAV, který následně otevřeme programem *Sigview* (obr. 4). Dále myši vybereme oblast, která odpovídá jedné otáčce oscilátoru, a pomocí nástroje *Lupa* ji zvětšíme (obr. 5).

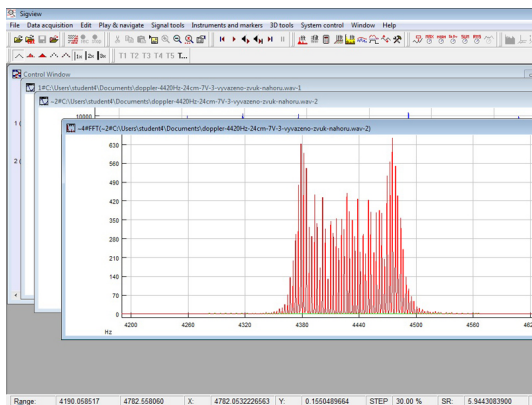


Obr. 4 Výběr oblasti v programu *Sigview*



Obr. 5 Náhled jedné periody pohybu zvukového zdroje

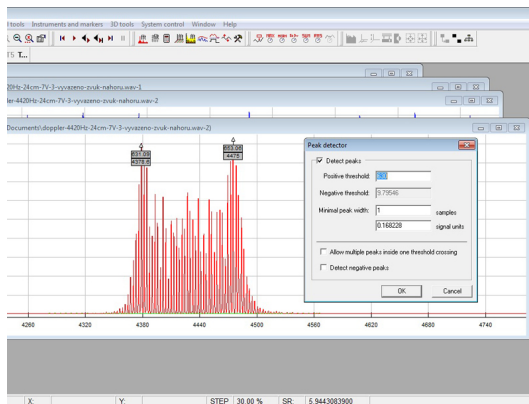
V panelu nástrojů programu *Sigview* klikneme na tlačítko Fourierovy transformace (FFT), která provede spektrální analýzu signálu a vykreslí graf (obr. 6).



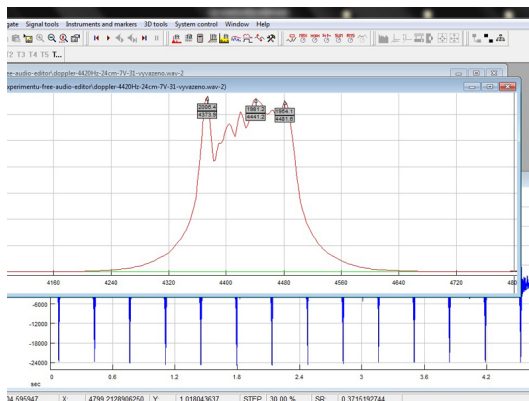
Obr. 6 Fourierova transformace vybrané části signálu

Jako poslední krok použijeme nástroj na vyhledávání píků nazvaný *Peak Detector*, který lze aktivovat pomocí pravého tlačítka myši nad grafem spektrální analýzy. Abychom výsledek hledání omezili pouze na jeden až dva největší píky v záznamu signálu, je dobré nastavit v poloze *Positive threshold* dolní mez pro hledanou hodnotu na ose *y* (obr. 7).

Výsledný graf s vyhledanými maximy vidíme na následujícím obr. 8.



Obr. 7 Aktivace a nastavení *Peak Detectoru*



Obr. 8 Označení největších píků v signálu

Někdy dokonce program označí nejen pík, který odpovídá nejvyšší frekvenci, ale jako druhý je označen pík, který odpovídá nejnižší frekvenci. Frekvenci rážů pak můžeme přímo vypočítat odečtením frekvenčních hodnot těchto dvou píků jako $f_r = f_{\max} - f_{\min}$. Pokud program neoznačí nejmenší hodnotu píkem, můžeme ji manuálně určit kurzorem myši. Většinou je ale nejvýraznější pouze pík s největší frekvencí f_{\max} . Pro rychlosti do $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ můžeme bez újmy na přesnosti frekvenci rážů určit ze vztahu

$$f_r = 2(f_{\max} - f_0). \quad (5)$$

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1. Vlastní frekvenci oscilátoru jsme změřili pomocí programu *Visual Analyser* [1] a její hodnota byla určena jako $f_0 = 4\,420$ Hz.

U (V)	T (s)	v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	f_{\max} (Hz)	f_{\min} (Hz)	T_r (s)	v_{zv} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
4	0,516	2,92	4464,1	4373,3	0,01101	284
5	0,421	3,58	4473,5	4384,7	0,01126	356
6	0,376	4,01	4478,9	4379,3	0,01004	356
7	0,348	4,33	4481,6	4373,9	0,00929	356
8	0,322	4,68	4487,0	4368,5	0,00844	349

Tab. 1 Určení rychlosti zvuku z Dopplerova jevu s rázovou modulací signálu

Ve výše uvedené tabulce představuje U hodnotu napájecího napětí větráčku, T je perioda pohybu rotujícího oscilátoru určená v programu FAE, v je velikost rychlosti vypočítaná pro konstantní hodnotu $r = 0,24$ m vzdálenosti oscilátoru od středu otáčení, f_{\max} a f_{\min} je nejvyšší, resp. nejnižší naměřená frekvence, která byla určena spektrální analýzou signálu pomocí FFT v programu *Sigview*, T_r je perioda kmitů vypočítaná ze vztahu $1/(f_{\max} - f_{\min})$ a v_{zv} je rychlost zvuku určená vztahem (4).

Z výsledků měření jsme zjistili, že při nízké hodnotě napájecího napětí větráčku kolem 4 V je rychlost pohybu oscilátoru natolik nízká, že rázy nejsou téměř patrné. Naopak, je-li rychlost zdroje zvuku příliš velká, dochází k nežádoucím kmitům celé soustavy. Ve školních laboratorních podmínkách nemáme většinou příležitost upevnit celou konstrukci pevně ke stolu tak, aby nedocházelo k nevhodným vibracím při vysokých rychlostech. My jsme k upevnění konstrukce použili malý svěrák s otočným kloubem v horní části, který umožňuje polohovat jeho čelisti do různých směrů. Konstrukce svěráku však nedokáže vyloučit rezonanční kmitů při vyšších rychlostech. Proto jsme vlastní měření provedli pouze pro ty hodnoty napájecího napětí, při kterých nedocházelo k viditelným rezonančním kmitům soupravy.

Průměrná hodnota rychlosti zvuku určená ze všech měření má velikost $\bar{v}_{zv} = 340,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, která dobře koresponduje s tabulkovou hodnotou $343,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při 20°C .

Měření povrchového napětí kapalin metodou největší kapky

Při dlouhodobém zkoumání tvorby vodní kapky z různých kapilár o různých průměrech jsme na základě pozorování a provedených měření dospěli

k závěru, že existuje určitý limitní případ pro velikost vytvářené kapky, ze kterého lze pak určit hodnotu povrchového napětí. Tuto zcela novou metodu jsme nazvali *metodou největší kapky*.

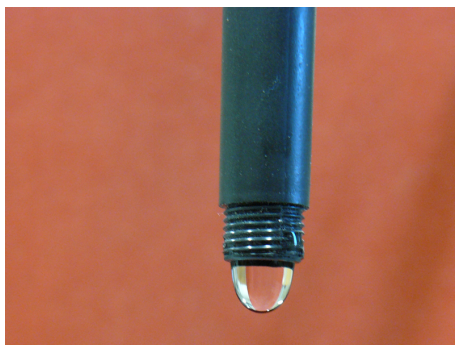
Theoretické odvození výsledného vztahu pro velikost povrchového napětí lze učinit na základě následující úvahy¹. Na fotografii (obr. 9) lze dobře pozorovat, že u tenkostěnné kapiláry je průměr kapky téměř identický s průměrem kapiláry. Ve vznikající kapce narůstá hydrostatický tlak, který je dán vztahem $p_h = H\rho g$, kde H je výška kapky, tedy její průměr. K odtržení kapky dojde v okamžiku, kdy je hodnota hydrostatického tlaku uvnitř kapky rovna kapilárnímu tlaku, který má pro kulový tvar kapky o poloměru R hodnotu $2\sigma/R$:

$$H\rho g = \frac{2\sigma}{R} \quad (6)$$

Platí-li současně v ideálním případě, že $H = 2R$, získáme po úpravě vztah pro povrchové napětí

$$\sigma = \frac{H^2\rho g}{4}, \quad (7)$$

kde H je výška kapky, ρ je hustota kapaliny a $g \doteq 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je hodnota tíhového zrychlení.



Obr. 9 Kapka tvořící se z tenkostěnné kapiláry

Experimentálním pozorováním jsme zjistili, že nelze vytvořit kapku o neomezené velikosti. Při dosažení určité velikosti kapky se s dále rostoucím vnitřním průměrem kapiláry už tato velikost neměnila. Ze vztahu

¹Na obdobné úvaze je založen také postup uvedený v [8, s. 736].

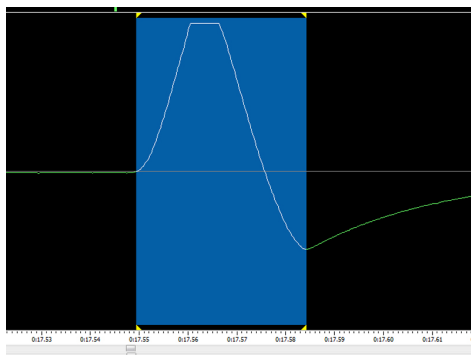
(7) lze např. u vody zpětně vyvodit maximální rozměr takové kapky jako koule o průměru 5,4 mm.

Při realizaci vlastního experimentu jsme použili jako kapiláru část plastového nástavce od propisovací tužky o vnitřním průměru 8 mm. Lze ale také využít např. obyčejné plastové brčko s vnitřním průměrem 5,8 mm. Velikost kapky jsme pak určili ze součinu rychlosti kapky a doby průchodu kapky optickou závorou (obr. 11). Rychlost kapky byla vypočítána z klasického vztahu pro dráhu volného pádu ze vztahu $v = \sqrt{2gh}$, kde h je vzdálenost kapky od laserového paprsku fotobrány.

Provedení experimentu můžeme vidět na obr. 10 a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 2. Pro hustoty kapalin jsme použili tabulkové hodnoty při 20°C: $\rho_{\text{voda}} = 1\,000\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_{\text{láh}} = 789\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Obr. 10 Experimentální uspořádání metody největší kapky



Obr. 11 Určení doby průchodu kapky optickou závorou

kapalina	h (m)	v (m · s ⁻¹)	t (s)	H (m)	σ (mN · m ⁻¹)
voda	0,4	2,801	0,00225	0,0063	97,3
	0,4	2,801	0,00215	0,0060	88,3
	0,3	2,426	0,00150	0,0036	31,8
	0,3	2,426	0,00140	0,0034	28,4
	0,2	1,981	0,00275	0,0055	74,2
	0,2	1,981	0,00285	0,0056	76,9
líh	0,4	2,801	0,00145	0,0041	32,5
	0,4	2,801	0,00150	0,0042	34,1
	0,3	2,426	0,00160	0,0039	29,4
	0,3	2,426	0,00165	0,0040	30,1
	0,2	1,981	0,00200	0,0040	30,1
	0,2	1,981	0,00175	0,0035	23,7

Tab. 2 Určení povrchového napětí vody a lihu metodou největší kapky

Z výsledků naměřených hodnot je patrné, že kapka mění při svém pohybu svůj tvar. Tento jev je známý jako oscilace kapky [8]. Průměrná hodnota povrchového napětí vody je $\sigma_{\text{voda}} = 79 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, pro líh pak je to $\sigma_{\text{líh}} = 36 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. Připomeňme jen na závěr, že tabulkové hodnoty výše měřených kapalin při 20 °C dosahují hodnot 73 mN · m⁻¹ pro vodu a 22 mN · m⁻¹ pro líh. Domníváme se, že při provedení většího počtu pokusů a zejména pro řadu různých výšek h , by se hodnoty více přiblížily hodnotám tabulkovým, protože by se statisticky vyrovnal počet různých tvarů kapky při její oscilaci. Oscilace tvaru kapky při volném pádu má tedy negativní vliv na průběh naměřených hodnot.

Velikost kapky lze zajisté změřit i jiným způsobem. Místo optické brány lze využít digitální fotoaparát nebo kameru, kterou lze zaznamenat maximální velikost kapky těsně před odtržením od kapiláry.

Určení modulu pružnosti z kmitů destičky obdélníkového průřezu

Teorie kmitů tyčí různých průřezů je vysvětlena např. v [5]. Ze vztahu pro kruhové frekvence ω_n jednostranně vetknuté destičky obdélníkového

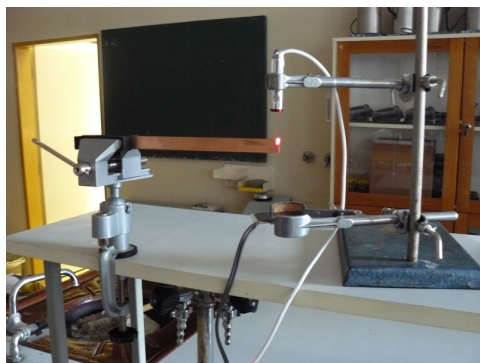
průřezu pak můžeme vyjádřit modul pružnosti E daného materiálu

$$E = \frac{48\pi^2 \rho l^2 f^2}{a_i^4 h^2}, \quad (8)$$

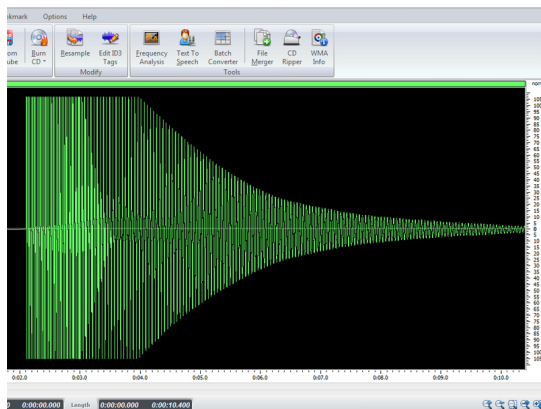
kde ρ je hustota látky, ze které je destička vyrobena, l je délka destičky, h je tloušťka destičky, f je frekvence vlastních kmitů a a_i jsou tzv. charakteristické hodnoty, jejichž velikosti jsou dány okrajovými podmínkami (číslem vidu, způsobem upevnění destičky). V našem případě činila hodnota této konstanty $a_i = 1,8751$, resp. $a_i^2 = 3,52$ což odpovídá jednostranně vetknuté destičce pro vid $n = 1$, viz [5]. Za povšimnutí stojí fakt, že šířka destičky nemá na frekvenci kmitů žádný vliv.

Vlastní experiment jsme provedli následujícím způsobem: do svěráku jsme upevnili postupně různě dlouhé destičky z mědi, oceli a nerez. Destičky měly také různou tloušťku. Ke zjištění frekvence kmitů jsme opět použili optickou závoru sestavenou z laserového ukazovátka a solárního článku. K vyhodnocení signálu jsme použili program *Free Audio Editor*. Uspořádání experimentu můžeme vidět na obr. 12, průběh kmitů destičky na obr. 13, na kterém je mimo jiné vidět i krásný exponenciální pokles amplitudy kmitů.

Jako nejdůležitější část měření se nakonec ukázalo být přesné změření tloušťky destičky. Při použití pouhého posuvného měřidla jsme neustále získávali velmi nepřesné výsledky. Teprve po přesném určení tloušťky destičky za použití mikrometru se hodnoty modulu pružnosti zpřesnily natolik, že se přiblížily tabulkovým hodnotám.



Obr. 12 Měření kmitů destičky jednostranně vetknuté



Obr. 13 Tlumené kmity kovové destičky

Při měření frekvence kmitů ve FAE je také nutné provádět odečet periody mezi prvním a třetím píkem hned na samém začátku průběhu signálu, ještě dříve než dojde k exponenciálnímu poklesu amplitudy. Při velkém tlumení již destička nekmitá mimo laserový paprsek a signál je značně zkreslený.

Kromě různých kovů jsme vyzkoušeli i dřevo a plast. Naměřené hodnoty pro různé materiály jsou uvedeny v tab. 3.

materiál	ρ (kg · m ⁻³)	h (·10 ⁻³ m)	l (m)	T (s)	f (Hz)	E_{exp} (GPa)	E_{tab} (GPa) ²
nerez	7700	0,80	0,550	0,445	2,247	212	210
nerez	7700	0,80	0,360	0,192	5,208	209	210
nerez	7700	0,80	0,220	0,078	12,821	177	210
nerez	7700	1,25	0,765	0,602	1,661	178	210
měď	8960	0,45	0,115	0,052	19,231	109	120–130
měď	8960	0,45	0,193	0,140	7,143	120	120–130
ocel	8000	0,90	0,142	0,029	34,483	182	206
ocel	8000	0,90	0,220	0,067	14,925	197	206
dřevo	500	4,10	0,820	0,258	3,876	8	7–14
plast	1350	1,10	0,163	0,095	10,526	3	2–5

Tab. 3 Určení modulu pružnosti z kmitů destičky

²Tabulkové hodnoty byly získány z [6] a [7].

Naměřené hodnoty se celkem dobře shodují s tabulkovými. U dřeva pak záleží nejen na jeho druhu (smrk, modřín apod.), ale také na typu deformace. Ddokonce i při daném typu deformace je výsledek ještě závislý na tom, zda je destička namáhána ve směru vlákna nebo kolmo na vlákno. Jiné vlastnosti má také dřevo přírodní nebo lepené, vysušené nebo čerstvé [6]. V tab. 3 jsou použity hodnoty pro namáhání dřeva ohybem. Protože většinou neznáme druh dřeva nebo složení plastu, může se v tomto případě jednat pouze o orientační měření v rámci nějakého intervalu hodnot.

V případě kovových destiček je lépe volit větší délku destičky, protože výchylka kmitů déle přerušuje laserový paprsek, aniž by samotná destička kmitala uvnitř paprsku. Důležitá je i vhodná tloušťka destičky, která by se měla pohybovat od 0,5 mm do 2 mm. Při větší tloušťce je tuhost destičky tak velká, že téměř nelze dosáhnout výchylky destičky mimo oblast laserového paprsku a kmity se utlumí během několika sekund. Je-li naopak tloušťka destičky příliš malá, může dojít při velkém vychýlení destičky k nepružné deformaci.

Závěr

V této práci jsme představili tři nové experimenty se zvukovou kartou. Zabývali jsme se měřením rychlosti zvuku z Dopplerova jevu, který je při kruhovém pohybu modulován vzniklými rázy, navrhli jsme zcela novou metodu pro měření povrchového napětí kapalin a nakonec jsme se zabývali určením modulu pružnosti různých látek z frekvence kmitů jednostranně vetknuté destičky obdélníkového průřezu.

Výhodou všech experimentů je opět cenová dostupnost použitých pomůcek a základního vybavení, jednoduchost provedení experimentů a možnost jejich realizace v rámci laboratorních cvičení.

Nevýhodou, zejména pro žákovská měření, může být požadavek velké přesnosti při určování a měření dílčích veličin, jako např. velikosti kapky při měření povrchového napětí nebo tloušťky destičky při měření modulu pružnosti.

Správné provedení experimentů je také náročné na svědomitou přípravu učitele, který by si měl sám nejprve tyto experimenty vyzkoušet, aby mu byly známy různé záludnosti, které se mohou při jejich provádění vyskytnout. Lépe pak bude reagovat na případné dotazy žáků v případě, že jejich výsledky se budou výrazně lišit od tabulkových hodnot.

I přes výše uvedené nevýhody můžeme nicméně na základě testování a evaluace výsledků laboratorních cvičení konstatovat, že žáky lze novými

metodami motivovat k poznávání nových fyzikálních zákonů či alternativních měřících postupů.

Literatura

- [1] *Kodejška, Č. a kol.*: Fyzikální experimenty se zvukovou kartou PC. MFI, 22 (2013), s. 343–350.
- [2] <http://audacity.sourceforge.net/?lang=cs>
- [3] <http://www.sigview.com/>
- [4] *Lepil, O.*: Fyzika pro gymnázia. Mechanické kmitání a vlnění. Prometheus, Praha, 2001.
- [5] *Brdička, M.*: Mechanika kontinua. Academia, Praha, 2005.
- [6] *Novák, P.*: Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin. [online]. [cit. 12. 10. 2014] Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>.
- [7] Plasty – mechanické vlastnosti. [online]. [cit. 12. 10. 2014] Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/plasty-mechanicke-vlastnosti>.
- [8] *Strouhal, Č. – Kučera, B.*: Mechanika. Sborník Jednoty českých matematiků, Praha, 1910, 2. vyd., 817 s.

Metoda oční kamery při výzkumu řešení úloh z fyziky žáky SŠ a VŠ

MARTINA KEKULE

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Řešení úloh je nejen v současné době součástí fyzikálního vzdělávání v různých zemích světa. Jak pomoci žákům být úspěšní v této dovednosti je námětem nejen didaktického výzkumu u nás, ale i na mezinárodní úrovni. Jednou z možných metod, která se používá ke zkoumání žákových přístupů či přímo strategií při řešení úloh je metoda oční kamery. Tato metoda byla použita například ve výzkumu srovnání strategií začátečníků a expertů při vyhledávání chyby v zapojení schémat elektrických obvodů [1], nebo při zjišťování, jak žáci využívají konceptuální nápovědy