

Pár zajímavých nápadů

Václav Pazdera

Gymnázium, Olomouc, Čajkovského 9

Abstrakt

Příspěvek je věnován třem jednoduchým pomůckám, které si může každý učitel fyziky sám vyrobit: "Tlak plynu v balónku", "Zpívající trubky" a "Zpívající tyčky". Také v příspěvku předvedu, jak změřit časový průběh, frekvenci a rychlost zvuku s těmito pomůckami.

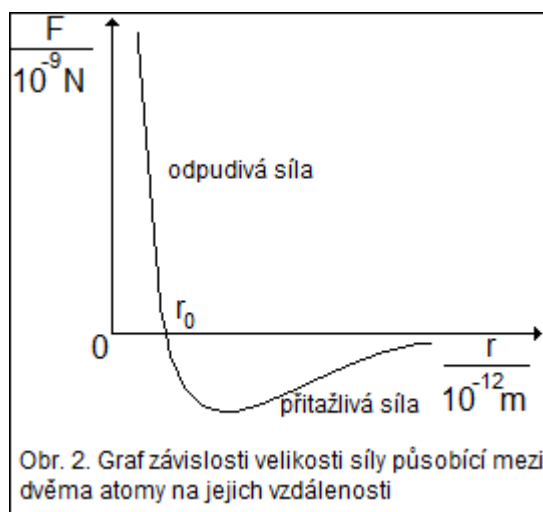
Tlak plynu v balónku

Pro tlak uvnitř balónku platí **přibližně** (v prostřední části grafu – obr. 5.) vztah $p = \frac{k}{d}$, kde p je **tlak** plynu v balónku a d je **průměr** balónku. Tuto vlastnost je možné kvalitativně demonstrovat pomocí dvou různě nafouknutých balónků, které různě nafoukne-me a navzájem propojíme.



Obr. 1 - Demonstrace rozdílu tlaků uvnitř balónků

Před otevřením ventilů se můžeme žáků zeptat: Co se bude dít, když otevřeme oba ventily? Většina laiků odpovídá: Větší balónek se bude zmenšovat a menší zvětšovat tak dlouho až budou stejně velké. Při otevření obou ventilů se překvapivě budou rozměry menšího balónku zmenšovat a větší zvětšovat. Tento jednoduchý pokus svědčí o tom, že tlak vzduchu uvnitř méně nafouknutého balónku je větší a tlak plynu uvnitř více nafouknutého balónku je menší.

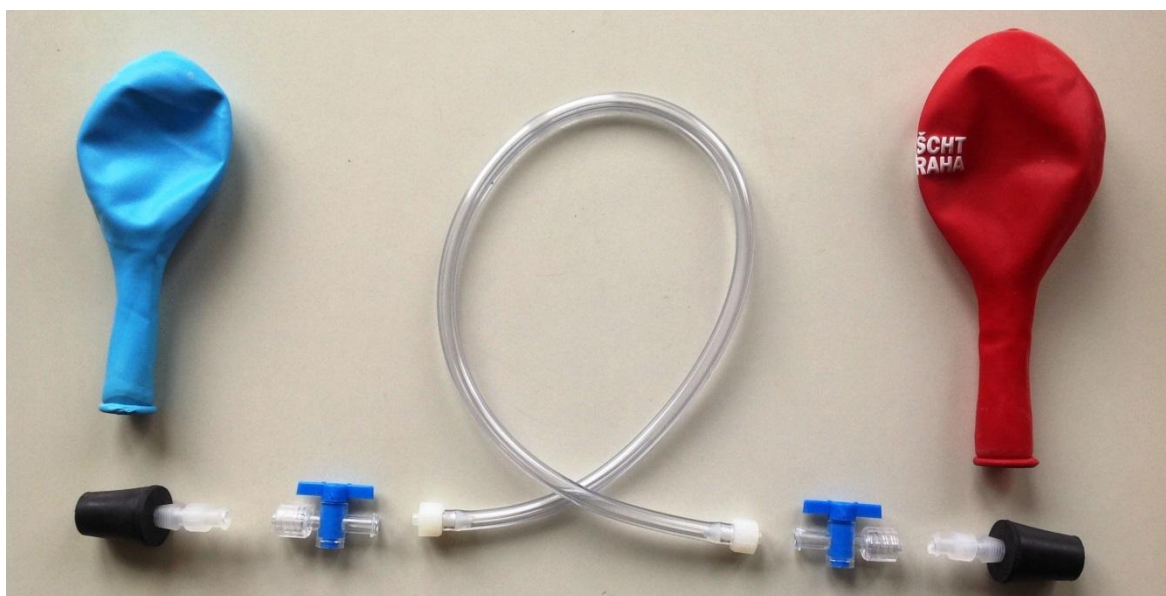


Vysvětlení

Podle Pascalova zákona je tlak plynu v uzavřené nádobě (uvnitř obou propojených balónků) ve všech místech plynného tělesa **stejný**. Co způsobuje, že uvnitř **menšího** balónku je tlak plynu **větší**? Samozřejmě to způsobují přitažlivé síly mezi atomy latexu (pryž na bázi přírodního kaučuku), z něhož je balónek vyrobený. Jestliže je vzdálenost mezi atomy větší než při **rovnovážné poloze** r_0 (před nafukováním balónku) narostou přitažlivé síly mezi částicemi kaučuku na určitou maximální hodnotu a potom při dalším nafukování se přitažlivé síly zmenšují (viz obr. 2). Tím se tlak uvnitř balónku zmenšuje **nepřímo úměrně** (přibližně) se zvětšujícím se průměrem d .

Výroba pomůcky

Potřebné součástky (viz obr. 3), tedy dvoucestný ventil (2 ks), plastovou hadičku, gumovou zátku (2 ks) a další spojovací součástky můžete koupit například u prodejce [1].



Obr. 3 - Potřebné součástky

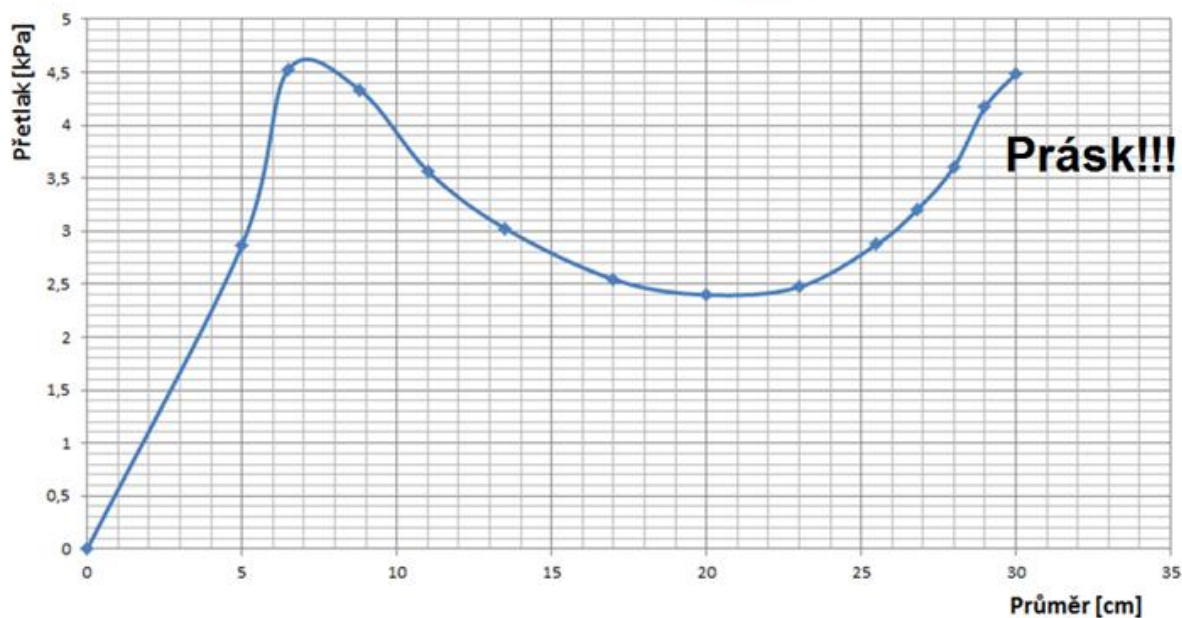
Návrh měření.

Zkus změřit závislost přetlaku plynu p uvnitř balónku na průměru d balónku (viz obr. 4.).



Obr. 4 - Měření závislosti přetlaku plynu na průměru balónku

Přetlak vzduchu v balónku



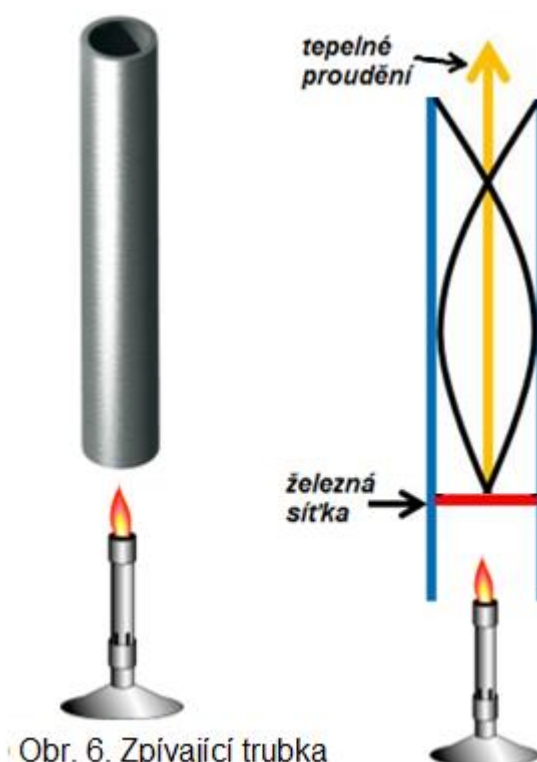
Obr. 5 - Naměřená závislost přetlaku na průměru

Zpívající trubka

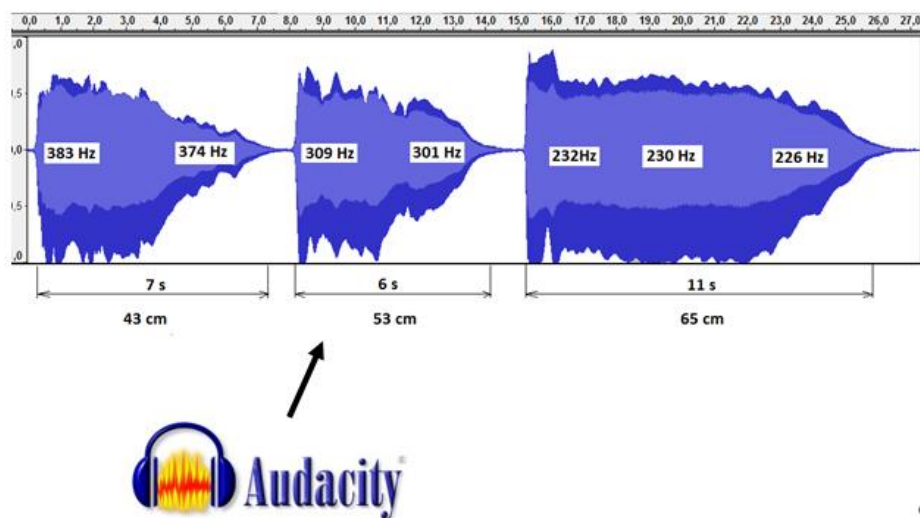
Za 33 dolarů si můžete tuto pomůcku koupit u amerického prodejce školních pomůcek [2].

Jak tato pomůcka funguje? Budeme-li spodní vnitřní část trubky asi 10 sekund nahřívat podle obr. 6 plynovým kahanem, začne po oddálení kahanu trubka vydávat hlasitý tón po dobu 10 až 30 sekund. Vydávání zvuku trubkou můžeme přerušit, jestliže trubku nakloníme do vodorovné polohy. Naopak, nakloníme-li trubku zpět do svislé polohy, bude pokračovat ve vydávání zvuku. Jestliže bude mít trubka větší délku, bude vydávat nižší tón.

Co je uvnitř trubky? Jak tato pomůcka funguje? U dolního konce uvnitř trubky je upevněna železná síťka. Ta se plynovým kahanem nahřeje. Tím vznikne po oddálení kahanu turbulentní proudění ohřátého vzduchu (více než 500°C) směrem vzhůru, které začne produkovat zvuk. Frekvence tónu odpovídá délce trubky od mřížky k hornímu konci. Vznik zvuku je podobný vzniku zvuku při provozu varhan.



Zpívající trubka



Obr. 7 - Naměřené tóny tří různě dlouhých „zpívajících trubek“ a jejich frekvenční analýza v programu Audacity. Uvedené délky jsou délkami od vnitřní mřížky k hornímu konci.

Z obr. 7 a uvedených frekvencí lze vypočítat rychlost zvuku (přibližně $650 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Z rychlosti pak lze vypočítat teplotu proudícího vzduchu (asi 520°C).

Výroba pomůcky „Zpívající trubky“

K výrobě této pomůcky stačí kus železné trubky (trubka bezšvá hladká $44,5 \times 2,6$), kterou jsem koupil u prodejce železa [3] za přibližně 145,- Kč (tři kusy – 50, 60 a 75 cm dlouhé). Železnou síťku můžeme získat u učitele chemie. V chemii se používá pro plynové kahany pro rozptýlení tepla. Samozřejmě použijeme pouze samotnou síťku bez azbestu.



Obr. 8 - Železná síťka (azbestová)



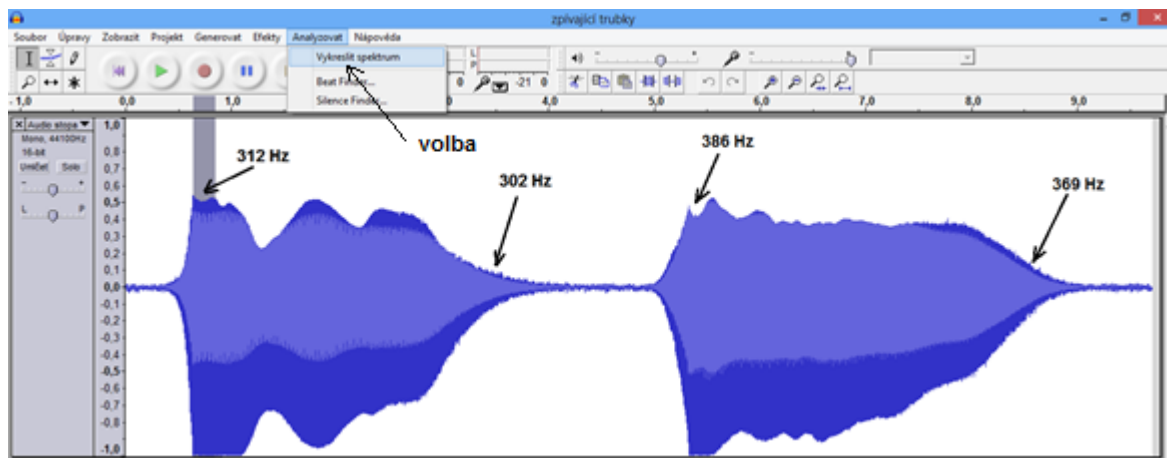
Měření zvuku, který vydává „Zpívající trubka“

K měření zvuku můžeme použít obyčejný mikrofon k PC.

Obr. 9 - Mikrofon k PC

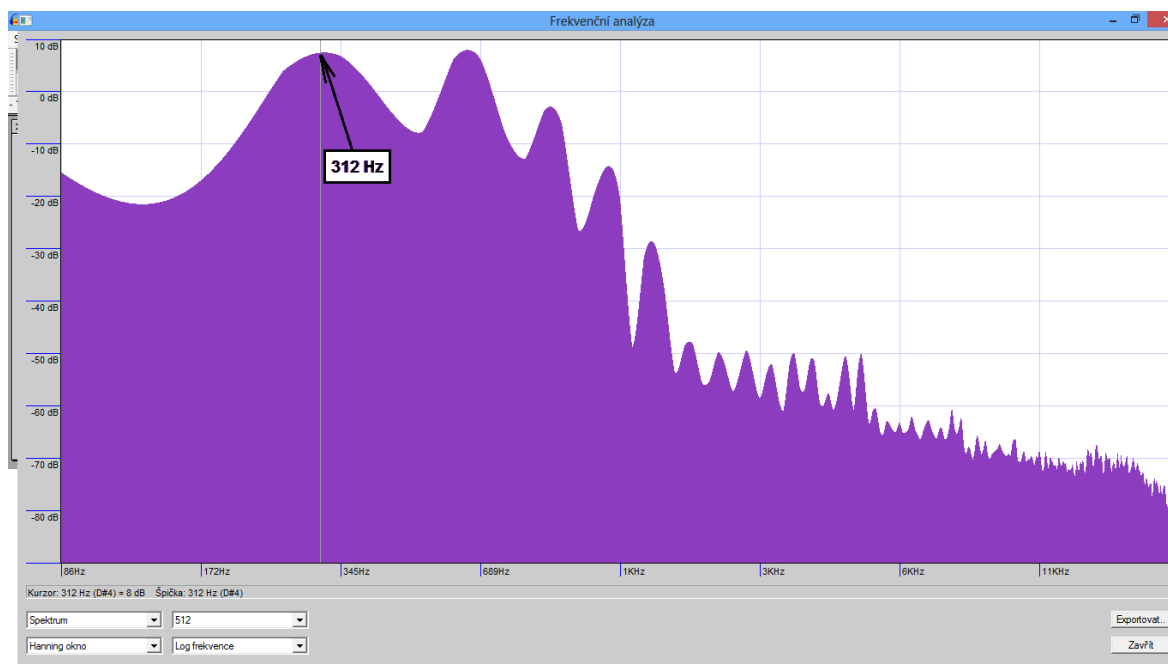
Dále použijeme freewarový program Audacity. Osobně používám verzi 1.2.6. Tuto verzi můžete zdarma stáhnout na webu [4]. Použití mikrofonu s programem Audacity podrobně popisuje Leoš Dvořák v [5].

Tento program umožňuje nahrát zvuk pomocí mikrofonu.



Obr. 10 - Zvuk dvou „Zpívajících trubek“ 60 a 50 cm

V dalším kroku ve stejném programu můžeme provést analýzu zvuku nebo části zvuku: Označíme myší malou část záznamu zvuku a v menu zvolíme Analyzovat – Vykreslit spektrum (viz obr. 10).



Obr. 11 - Frekvenční analýza zvuku ze „Zpívající trubky” (viz obr. 10)

Na obr. 11 můžeme vidět frekvenční analýzu záznamu začátku zvuku delší „Zpívající trubky“ (60 cm). První naměřená frekvence odpovídá základní frekvenci f_z . Další maxima odpovídají vyšším harmonickým frekvencím a mají přibližně $f_k = k \cdot f_z$; $k \in \mathbb{N}$. Z obr. 11 je také patrné, že frekvence na začátku zvuku je vyšší než na konci zvuku. Tento jev je způsoben chladnutím vzduchu, mřížky a trubky.

Zpívající tyčky

Za 50 dolarů si můžete tyto pomůcky koupit u amerického prodejce školních pomůcek [2]. Jedná se o tři kusy hliníkových tyčí o délkách 61, 76 a 91 cm. Koupil jsem si 300 cm dlouhou hliníkovou tyč o průměru 10 mm (stála 140,- Kč). Z této tyče jsem si pilkou na železo nařezal tři kusy o délkách 76, 91 a 106 cm.

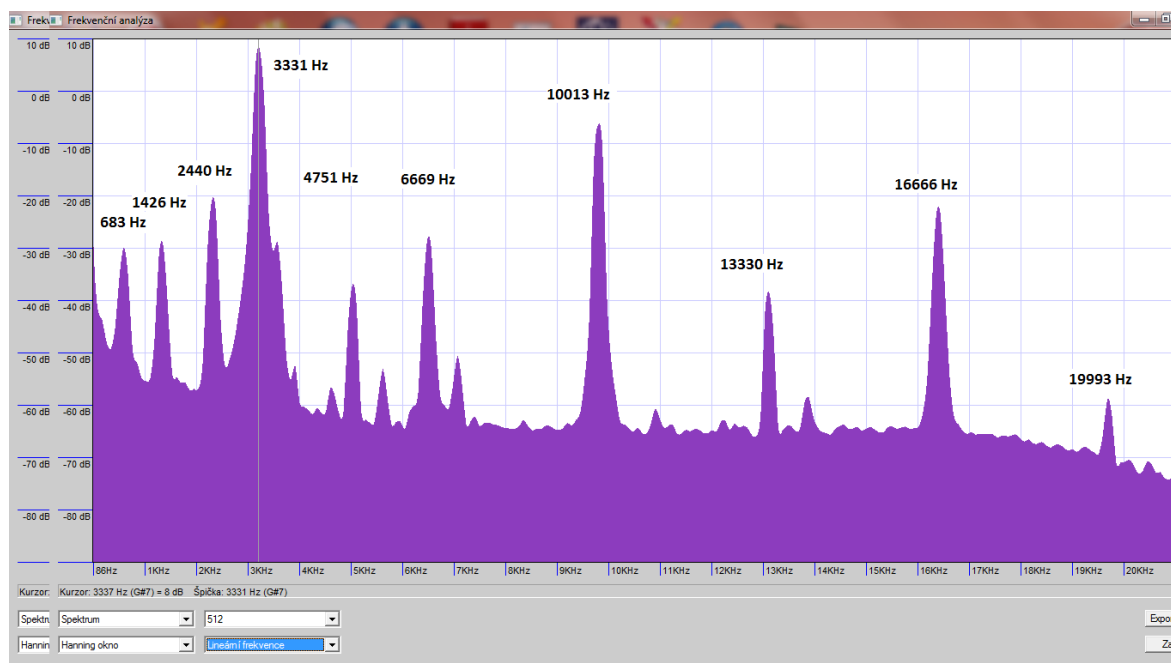


Obr. 12 - Zpívající tyčky [6]

Hliníkovou tyčku upevníme uprostřed (můžeme tyčku uprostřed držet v ruce jako na obr. 12). Jestliže lehce udeříme kladívkem do konce tyčky, bude tyčka vydávat tón po dobu 30 s (i déle). Delší tyčka bude vydávat tón s nižší frekvencí.

Měření zvuku, který vydávají „Zpívající tyčky“

K měření tónů zvuků „Zpívajících tyček“ jsem použil stejně (jako výše) mikrofón a program Audacity. Stejně jako výše nahrajeme tento zvuk a provedeme jeho frekvenční analýzu (Obr. 13).



Obr. 13 - Frekvenční analýza tónu hliníkové tyčky o délce 76,1 cm a průměru 10 mm

Naměřená frekvence $f_z = 3331 \text{ Hz}$ odpovídá základní frekvenci. Další maxima odpovídají vyšším harmonickým frekvencím a mají přibližně $f_k = k \cdot f_z$; $k \in \mathbb{N}$. Ze základní frekvence můžeme vypočítat rychlost šíření zvuku v hliníku:

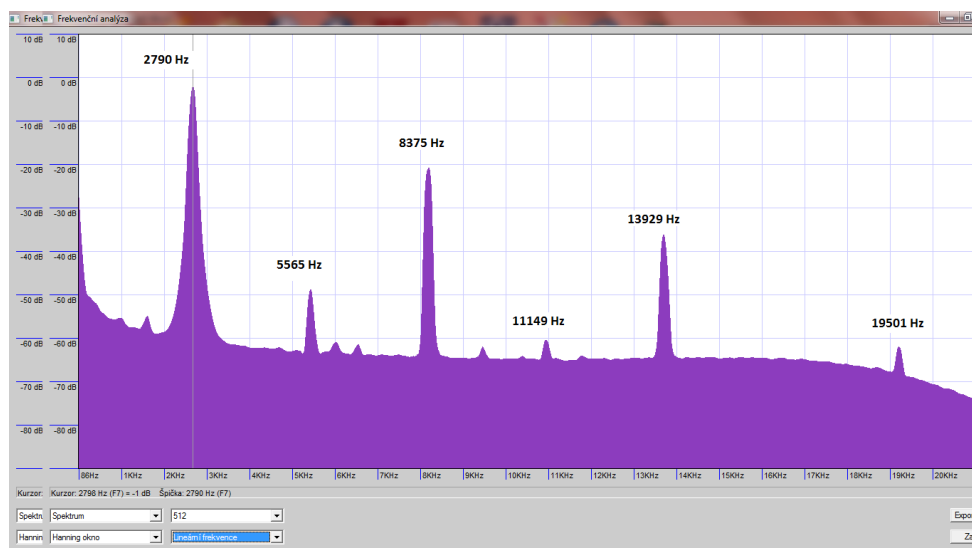
$$v = \lambda \cdot f = 2 \cdot l \cdot f = 2 \cdot 0,76 \cdot 3331 = 5070 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Stejné měření můžeme provést pro hliníkovou tyčku o délce 91 cm (průměr 10 mm).

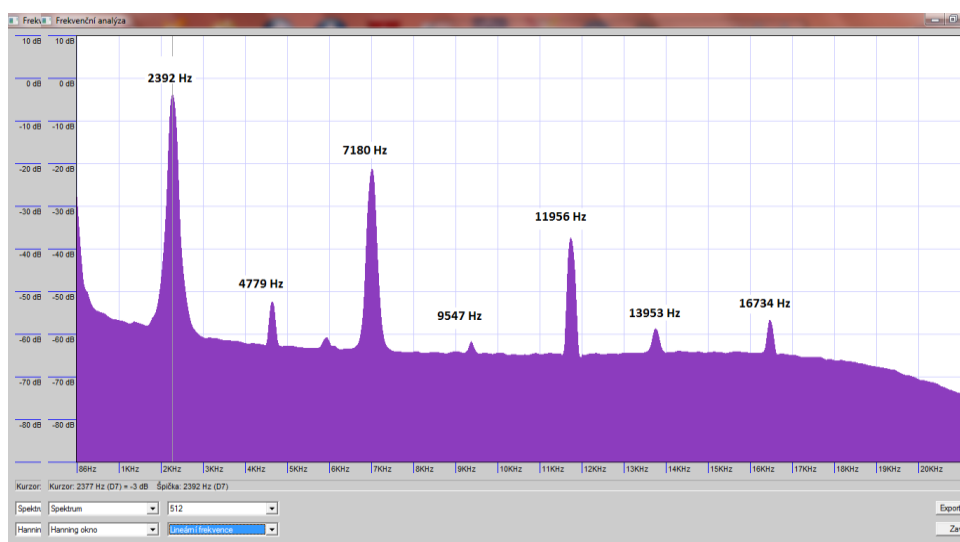
Naměřená frekvence $f_z = 2790 \text{ Hz}$ odpovídá základní frekvenci. Další maxima odpovídají vyšším harmonickým frekvencím a mají přibližně $f_k = k \cdot f_z$; $k \in \mathbb{N}$. Ze základní frekvence můžeme vypočítat rychlost šíření zvuku v hliníku:

$$v = \lambda \cdot f = 2 \cdot l \cdot f = 2 \cdot 0,91 \cdot 2790 = 5090 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A stejně můžeme provést měření pro hliníkovou tyčku o délce 106 cm (průměr 10 mm).



Obr. 14 - Frekvenční analýza tónu hliníkové tyčky o délce 91 cm a průměru 10 mm



Obr. 15 - Frekvenční analýza tónu hliníkové tyčky o délce 106 cm a průměru 10 mm

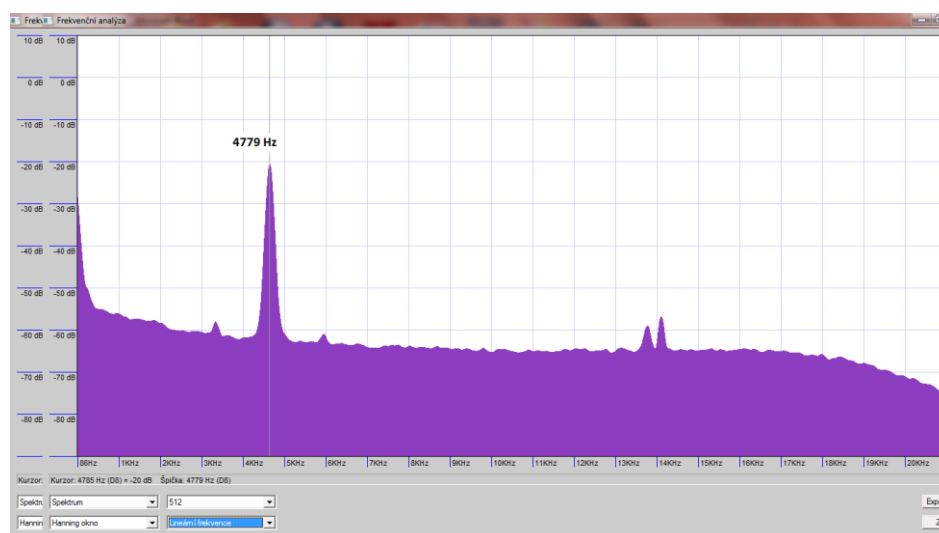
Naměřená frekvence $f_z = 2392 \text{ Hz}$ odpovídá základní frekvenci. Další maxima odpovídají vyšším harmonickým frekvencím a mají přibližně $f_k = k \cdot f_z$; $k \in \mathbb{N}$. Ze základní frekvence můžeme vypočítat rychlost šíření zvuku v hliníku:

$$v = \lambda \cdot f = 2 \cdot l \cdot f = 2 \cdot 1,06 \cdot 2392 = 5071 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Hliníkovou tyčku můžeme také upevnit v $\frac{1}{4}$ délky. Tím ji „donutíme“ kmitat „hlavně“ na frekvenci, pro kterou je délka tyče rovna vlnové délce stojatého vlnění (obr. 16).

Rychlost zvuku vypočítaná pro toto měření:

$$v = \lambda \cdot f = l \cdot f = 1,06 \cdot 4779 = 5070 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



Obr. 16 - Frekvenční analýza tónu hliníkové tyčky o délce 106 cm a průměru 10 mm (upevněná v $\frac{1}{4}$ délky)

Závěr

Podle [7] pro rychlost podélné vlny v hliníkové tyči platí vztah a podosazení můžeme vypočítat

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10}}{2700}} = 5092 \frac{m}{s}$$
 Naměřené a výše vypočítané hodnoty rychlostí vycházejí s odchylkou menší než 0,5 % vzhledem k této „tabulkové hodnotě“.

Domnívám se, že tyto jednoduché a levné pomůcky si může koupit a vyrobit každý učitel fyziky. Mohou se stát vhodným doplňkem do výuky a tak zvýšit motivaci a zájem žáků o fyziku.

Literatura

- [1] www.vernier.cz
- [2] <http://www.teachersource.com/product/singing-pipe/sound-waves>
- [3] <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=26151>
- [4] http://www.stahuj.centrum.cz/multimedia/mp3_a_audio/mp3_a_audio_nastroje/audacity/verze/
- [5] Dvořák L.: Pokusy se zvukovou kartou. In: Dílny Heuréky 2005. Sborník konference projektu Heuréka, Náchod, září 2005. Ed. L. Dvořák. Prometheus, Praha 2006
- [6] <http://www.teachersource.com/product/singing-rod/sound-waves>
- [7] Břetislav P., Dvořák L.: Zvuky kmitajících tyčí. Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky.