

## Úloha IV.E ... Skleničky

8 bodů; (chybí statistiky)

Zajisté jste již slyšeli, že na tenkostěnnou skleničku lze „hrát“<sup>1</sup>. Výška tónu, který sklenička vydává, je daný zejména tloušťkou a tvarem skleničky, ale také množstvím nápoje, který se v skleničce nachází. Nás by velmi zajímalo, jak závisí výška tónu na tom, kolik do skleničky nalijete vody. Od rodičů si tedy půjčte tenkostěnnou skleničku a pro několik výšek vody zkuste skleničky rozezvučet. Pak odpovězte na tyto otázky:



- Seřadte jednotlivá „měření“ podle výšky tónu. Je mezi výškou hladiny v skleničce a výškou tónu nějaká souvislost?
- Hraje prázdná sklenička nejhlubším, nebo nejvyšším tónem?
- Změřte, pro jakou výšku hladiny vody v skleničce se vám již nepovede skleničku rozezvučet. Měření několikrát zopakujte a výslednou výšku hladiny vydělte výškou hladiny, když je sklenička naplněná až po okraj.

Chcete-li výšky tónů měřit opravdu vědecky, nainstalujte si volně šiřitelný program pro zpracování zvuků Audacity<sup>2</sup>.

## Teorie

Přejíždění prstu po okraji sklenice má za následek vznik zvuku. Zvuk, to je *mechanické vlnění* šířící se prostředím (v tomto případě vzduchem nebo vodou). Jednou ze základních vlastností zvuku je jeho frekvence, kterou naše ucho vnímá jako tón. Jistě jste si všimli, že při přejíždění prstu po okraji sklenice začne sklo vibrovat, protože dochází ke tření mezi dvěma povrchy.<sup>3</sup> Ve chvíli, kdy se frekvence vibrační vytvářené vaším prstem budou rovnat *přirozené* (rezonanční) frekvenci vibrační skleničky, sklo se rozkmitá natolik, že uslyšíme zvuk o výšce odpovídající této frekvenci. Proto pokud kroužíme pomalu, nebo naopak hodně rychle, nic neslyšíme. Tomuto jevu říkáme akustická rezonance – sklenice tedy funguje jako *rezonátor*.

Vzpomínaná přirozená frekvence skleničky je závislá například na tvaru skleničky anebo na tloušťce a vlastnostech skla. Čím tlustší (a tvrdší) sklo, tím méně ochotně a pomaleji se sklenička deformuje. Můžeme proto očekávat, že její přirozená frekvence bude menší. Stejný princip se uplatní i tehdy, když do sklenice přidáme vodu. Hmotnost materiálu, který ve skleničce rezonuje, se zvýší. V důsledku toho můžeme očekávat, že sklenice začne po nalití vody rezonovat rovněž na nižších frekvencích. Jinak řečeno, tón, který uslyšíme, bude nižší.

V realitě je situace ale ještě trochu komplikovanější. Ti z vás, kteří použili na analýzu zvuku program Audacity, vědí, že zvuk, který slyšíme, se skládá z více frekvencí. Výsledný tón se skládá z vícero dílčích *harmonických* frekvencí. Avšak, samotnou výšku tónu udává pouze (nejnižší) základní frekvence – podle tohoto právě určujeme, o který tón se jedná. Ostatní vyšší frekvence jsou označovány za *vyšší harmonické* a určují výsledný sluchový dojem (neboli barvu tónu).<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kdo hrající skleničku neslyšel, pusťte si video: <https://youtu.be/9iSsaKnPmLM>.

<sup>2</sup>Po nahrání zvuku do programu se vám v programu zobrazí zaznamenaná stopa. Pomocí tlačítka „Delete“ ořežte od stopy nechtěné části záznamu (např. začátek a konec), a pak v horním menu klikněte na „Analyzovat“ → „Zobrazit spektrum“. Zobrazí se vám graf závislosti intenzity signálu (v decibelech) na frekvenci (v hertzech). Program stahujte na stránce <http://audacityteam.org/download/?lang=cs>.

<sup>3</sup>Na podobném principu pracují i smyčcové hudební nástroje; ze stejného důvodu slyšíme pak zvuk i při brzdění aut apod.

<sup>4</sup>Proto jinak zní stejný tón, který vydává kytara nebo klavír a my můžeme z poslechu určit, o který hudební nástroj se jedná.

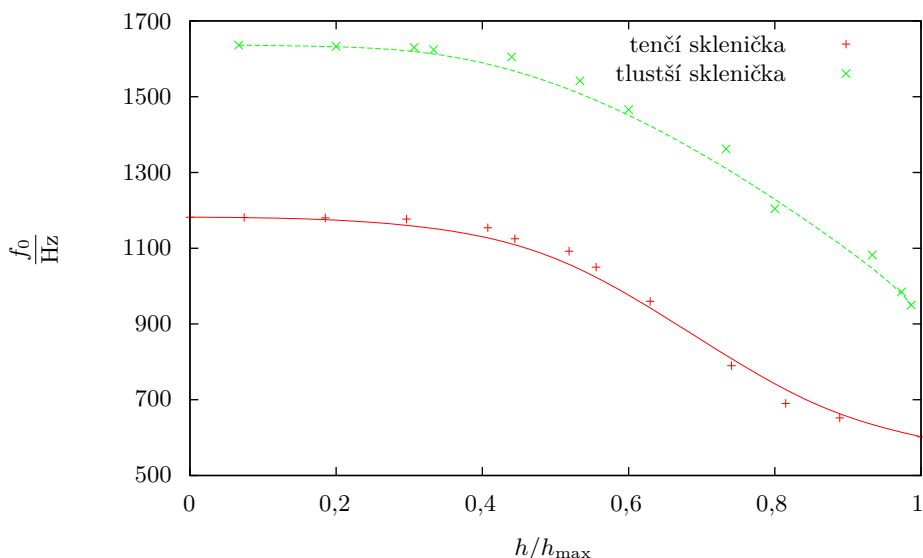
### Postup práce

Před samotným měřením je vhodné umýt skleničky i ruce nějakým saponátem, abychom odstranili z rukou přirozenou mastnotu, která by zkreslovala výsledky našeho měření. My jsme experiment prováděli se dvěma skleničkami. Jedna z nich byla vysoká 13,5 cm a tlustá 1 mm. Druhá byla vysoká 7,5 cm a tlustá 2 mm. Výšku hladiny jsme vždy změřili pomocí pravítka. Třením prstu o okraj skleničky jsme ji rozezvučeli a zvuk jsme analyzovali v doporučeném programu Audacity.

Ve spektru bylo vždy třeba hledat ten základní tón, který byl představován nejvýraznějším „peakem“ ve spektru. Ostatní peaky jsou vyšší harmonické frekvence. K analýze jsme použili rovněž i mobilní aplikace Audio meter, která ukazuje přímo základní frekvenci a vyšší harmonické potlačuje. Měření jsme zopakovali dvanáctkrát pro tlustší sklenici a třináctkrát pro tenčí sklenici.

### Naměřené hodnoty

Naměřená data jsme zanesli do grafu závislosti základní frekvence zvuku na výšce hladiny vody ve skleničce. Abychom se v grafu lépe orientovali, body jsme přibližně proložili hladkou křivkou.



Obr. 1: Graf závislosti frekvence zvuku na relativní výšce hladiny

### Chyby měření

Možné chyby se určitě objevily v nepřesném měření výšky hladiny. Audacity má v analýze taktěž nějakou odchylku. Zvuk vyluzovaný skleničkou měl proměnnou frekvenci.

## Závěr

Na závěr můžeme odpovědět na otázky v zadání. Čím vyšší byla hladina ve skleničce, tím nižší byla hladina tónu. Znamená to, že prázdná sklenička hraje nejvyšším tónem a plná zase nejnižším.

Třetí úloha byla záludná, protože jak jste všichni experimentálně potvrdili, skleničku lze rozezvuchet při jakékoliv výšce hladiny (můžete dodatečně zkusit, že sklenička bude hrát i ponořená do vody).

*Kateřina Stodolová*  
katas@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.