

Studium ultrazvuku

M. Stejskal¹, P. Lessner², M. Laitl³

Gymnázium Dr. Emila Holuba, Na mušce 1001 Holice¹

Gymnázium Bernarda Bolzana, V Holešovičkách 2 Praha 8²

Gymnázium Postupická, Postupická 3150 Praha 4³

roverider@tiscali.cz¹

petr.lessner@centrum.cz²

strohel@gmail.com³

Abstrakt:

Studium ultrazvuku je v dnešní době velice důležité, jelikož nás na každém kroku obklopují aplikace, které jej využívají (měření vzdáleností - sonar, či ultrazvukové vyšetření v nemocnicích).

V našem výzkumu jsme úspěšně změřili rychlost zvuku, s jeho pomocí změřili vzdálenost. Dále jsme ověřili platnost zákona odrazu a dopadu. Na závěr jsme experimentálně dokazovali Dopplerův a difrakční jev. Pro všechny experimenty jsme používali generátor o frekvenci 40 kHz.

Při zjišťování vzdálenosti jsme dosáhli velice dobrých přesných výsledků – nepřesnost řádově 2 cm při vzdálenosti cca 120 cm, rychlost zvuku se od vypočítané hodnoty lišila pouze o cca 1-2 m/s, zákon odrazu a dopadu jsme také ověřili uspokojivě ověřili, difrakční jev jsme ověřovali pouze z části díky nevhodným podmínkám v laboratoři.

Naše práce byla velice zajímavá, jelikož jsme používali mnoho nových přístrojů a pomůcek, ke kterým se bastlí běžně nemůže dostat.

Úvod

Doporučovali bychom všem aby si provedli alespoň základní výzkum z oblasti zvuku a ultrazvuku, jelikož aplikace, které využívají zvuk, nás obklopují. Například pomocí zvuku jsme měřili vzdálenosti objektů, čehož se využívá například v senzorech pro parkování, ověřili jsme Dopplerův jev (zvyšování frekvence zvuku při přibližování ke zdroji a naopak), se kterým se můžeme setkat na našich silnicích. Dochází k němu například pokud k nám přijíždí houkající policejní auto, pak frekvence se houkání, kterou slyšíme, zvyšuje a při vzdalování snižuje.

Ověřovali jsme také zákon odrazu a dopadu zvuku, se kterým se setkáváme například při rozmístování reprobeden domácího kina.

Změřili jsme také rychlost zvuku ve vzduchu, kterou využíváme například při stanovení vzdálenosti bouřky.

Experimentovali jsme také s difrakčním jevem (deformace zvukových vln po průchodu mřížkou), který můžeme v praxi využít v akustice místností, při výběru místa v divadle a podobně.

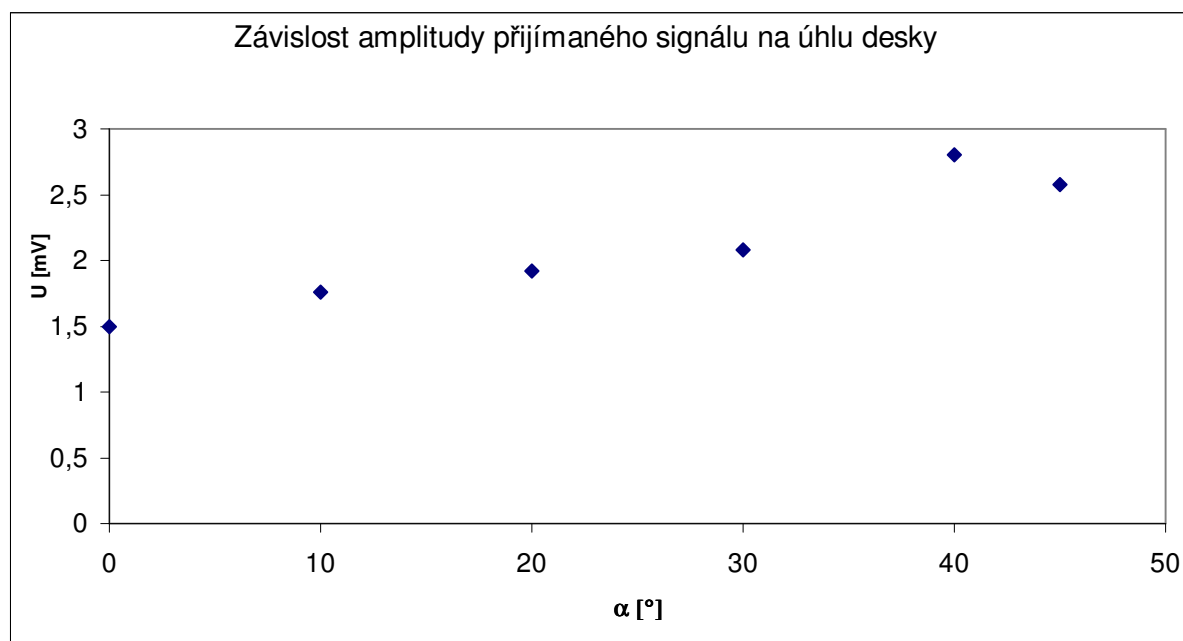
Experimentování v této oblasti je obzvláště vhodné pro ty, kteří si rádi stavějí různé přístroje, například parkovací senzor vás vyjde mnohokrát levněji, když si jej postavíte sami. Velice přínosné jsou tyto pokusy také pro audiofilů, kteří se bez podobných pokusů při umístění nábytku a reprosoustav neobejdou. Je sice pravda že námi zkoumané jevy již byly dávno ověřeny, ale není nad vlastní zkušenosti.

Materiály a metody

Při našich měřeních jsme používali osciloskop. Posloužil při určování amplitudy či k měření časového rozdílu mezi dvěma signály. Dále jsme používali generátor vysílající vlnu obdélníkového průběhu o nastavitelné frekvenci okolo 40 kHz. Jako vysílač a přijímač jsme použili dvojici ultrazvukových mikrofónů. K zesílení signálu z přijímače sloužil zesilovač s proměnným zesílením, který byl dle mého názoru nejslabším článkem, jelikož měl malý odstup signál/šum. K přesnému určování frekvence jsme využili stolní multimetr s funkcí čítače. K ověření Dopplerova jevu byl použit elektrický vozík s nastavitelnou rychlostí, který se pohyboval na měřidlu. Pro experiment s difrakcí byla použita parabolická odrazová plocha, a difrakční mřížka s nastavitelným počtem štěrbin o mřížkové konstantě $d=3\text{cm}$.

Zákon dopadu a odrazu

Nejdříve jsme ověřovali zákon dopadu a odrazu. Umístili jsme přijímač a vysílač ultrazvuku do stejné výšky a otočili je oproti sobě o 90° . Do vrcholu úhlu jsme vložili odrazovou plochu, se kterou jsme otáčeli. Pomocí osciloskopu jsme měřili amplitudu přijímaného signálu. Síla přijímaného signálu postupně rostla a maximum měla v cca 40 stupních (teoretická hodnota 45°) a poté začala klesat. Nepřesnost byla pravděpodobně způsobena nevhodnými odrazy ultrazvuku o jiné předměty a nepřesným umístěním odrazové plochy.



Měření rychlosti zvuku

Poté jsme měřili rychlost zvuku. Přijímač i vysílač byly umístěny na společném stojanu - rovnoběžně a co nejbližší u sebe. Kolmo k nim byla v určité známé vzdálenosti umístěna odrazová plocha. Časový posun mezi vysílaným a přijímaným signálem jsme změřili pomocí osciloskopu. Podle vzorce $s=c\Delta t$ jsme počítali rychlost. Se zvětšující se vzdáleností odrazové plochy se experimentálně zjištěná rychlost přibližovala teoretické. Odchytky od teoretické hodnoty bychom přisuzovali nepřesnosti měření časového rozdílu mezi signály a nemožnosti měřit při dostatečných vzdálenostech přijímače a vysílače. Provedli jsme celkem 7 měření, zde jsou výsledky:

Podle našeho měření: 341,4 m/s (relativní odchylka měření 0,2%)
 Teoretická hodnota: 345,0 m/s pro 25 °C

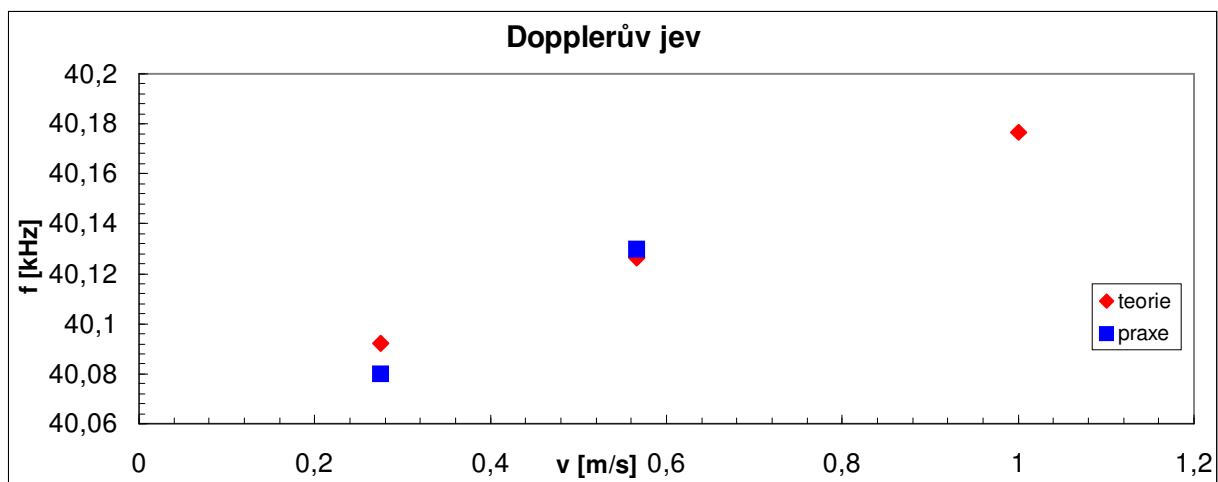
Měření vzdálenosti ultrazvukem

Pro měření vzdálenosti jsme použili stejné uspořádání jako při měření rychlosti zvuku. Podle stejného vzorce (pouze se zaměněním neznámé) jsme počítali vzdálenost, za rychlost zvuku jsme dosazovali tabulkovou hodnotu. Přesnost měření byla proměnlivá. Pro ilustraci uvádíme pár naměřených hodnot v porovnání se skutečnými (naměřenými stolním metrem).

f [kHz]	c [m/s]	t [ms]	s [m]	s _{metrem} [m]	rel. odchylka
40,8	345	2,72	0,4692	0,47	0,17%
40,8	345	3,74	0,6452	0,62	3,98%

Dopplerův jev

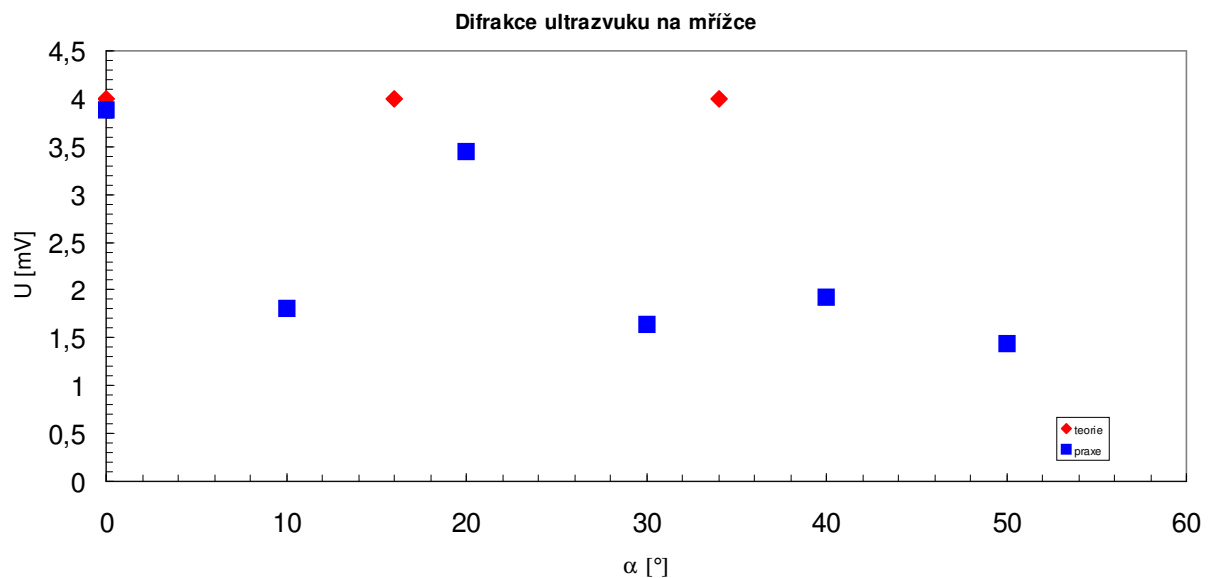
Dopplerův jev nastává tehdy, když se k sobě nebo od sebe pohybuje přijímač a vysílač. Při přiblížování vysílače nebo přijímače se zkracuje vlnová délka. (přesněji: zkrátí se o vzdálenost o kterou se vysílač přemístí za jednu periodu) Přijímaná frekvence je tedy závislá na rychlosti vysílače vzhledem k přijímači a na rychlosti šíření zvuku prostředím (přesněji: závisí na jejich poměru). Vysílač jsme umístili na pojízdný vozík, přijímač na pevný stojan tak, aby byly proti sobě a ve stejné výšce (potom jsme prohodili přijímač za vysílač a opakovali měření). Signál z přijímače jsme zesílili a jeho frekvenci změřili pomocí čítače. Při pohybu vysílače směrem k přijímači se frekvence zvyšovala a při oddalování snižovala. Přesnost měření byla na velmi dobré úrovni. Naměřené hodnoty téměř přesně odpovídaly vypočítaným. Nedošlo zde k žádným chybám, jelikož prostředí mělo na tento experiment nepatrný vliv a přístroje byly dostatečně přesné. Uvádíme tabulku naměřených hodnot spolu s teoreticky vypočítanými hodnotami. Základní frekvence vysílače byla 40,06 kHz.



Difrakce ultrazvuku na mřížce

Nakonec jsme zkoumali difrakční jev. Vysílač generoval rovnoběžné zvukové vlny, které procházely difrakční mřížkou. Do osy vysílače jsme umístili přijímač. Signál z něj byl zesílen a na osciloskopu jsme odečítali amplitudu. S difrakční mřížkou jsme otáčeli po deseti stupních. Nejprve jsme měřili s jednou šterbinou, pote se dvěma, třemi a čtyřmi. Výsledky se nejvíce blížily teorii při měření se čtyřmi šterbinami, i tak byly ovšem lehce nepřesné. U zbylých měření se výsledky od teorie lišily značně. V tomto měření za chyby hlavně může

nevhodné prostředí pro měření - zvukové vlny se odrážely od osob a předmětů v laboratoři, a dále nepřesně provedené difrakční mřížky. Z těchto důvodů nebylo možné dosáhnout lepších výsledků.



Shrnutí

Co se týká výsledků, jsme spokojeni. Většina výsledků měření přibližně odpovídala teorii, až na experiment s difrakční mřížkou, který v našich podmínkách nebylo možné lépe provést. V našich experimentech jsme úspěšně ověřili platnosti zákona odrazu a dopadu, rychlost zvuku, změřili změnu frekvence při Dopplerově jevu a částečně jsme prozkoumali i vlastnosti difrakční mřížky. Zjistili jsme, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu, rychlost zvuku je cca 342 m/s, pokusně jsme změřili vzdálenost s relativně vysokou přesností.

Poděkování

Děkujeme pořadatelům fyzikálního týdne- Fakultě jaderné fyziky CVUT a sponzorům, kteří umožnili konání této akce. Zvláště bychom chtěli poděkovat naší supervizorce Zuzaně Sekerešové jelikož nám byla pomocnou rukou při provádění experimentů.

Reference:

[1] D. Halliday – R. Resnick – J. Walker: Fyzika část 2, Prometheus, 2000

[2] <http://fyzika.fjfi.cvut.cz/index.php?said=19&sbid0=111&task=001>