

Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: zvuk, akustika, intenzita zvuku, hladina intenzity zvuku, logaritmus, povrch koule

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Prozkoumejte souvislost mezi intenzitou zvuku a hlasitostí vnímanou uchem (tj. hladinou intenzity zvuku). Odpovězte na otázky, odpovědi pak ověřte experimentem.

1. Pokud je v určitém místě intenzita zvuku 10^{-7} W/m^2 , jaká je hladina intenzity zvuku?
2. Jaké intenzitě zvuku odpovídá hladina intenzity 45 dB?
3. Může být hladina intenzity zvuku záporná? Vysvětlete svou úvahu.
4. Dejme tomu, že reproduktor s akustickým výkonem 20 W vysílá do všech směrů rovnoměrně. Určete intenzitu zvuku ve vzdálenosti a) 1 m, b) 2 m, c) 4 m, d) 8 m. Jakým způsobem se změní *intenzita zvuku*, když se vzdálenost zdvojnásobí?
5. Jakým způsobem se změní *hladina intenzity zvuku*, když se vzdálenost zdvojnásobí?
6. Pomocí hlukoměru Vernier ověřte výsledek 5. úkolu. Proč je lepší použít šum místo konkrétního tónu?



Pomůcky Hlukoměr Vernier, tónový generátor s reproduktorem, délkové měřidlo, případně počítač se souborem *šum.wav* ke generování šumu

Teoretický úvod Měřítkem akustické energie, která dopadne na jednotku plochy za určitý čas (například na ušní bubínek za jednu sekundu), je *intenzita zvuku* (jednotka W/m^2).

Lidské ucho je schopno vnímat obrovský rozsah intenzit zvuku: zhruba od 10^{-12} W/m^2 (tzv. *práh slyšení*) až po 1 W/m^2 (tzv. *práh bolesti*). Podíl nejvyšší a nejnižší intenzity je tedy $10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$.

Lidské ucho ale nevnímá zvuk lineárně, nýbrž logaritmicky – tzv. Weberův-Fechnerův zákon. Pro měření hlasitosti zvuku se proto zavádí veličina *hladina intenzity zvuku* L , jejíž jednotkou je *bel*.

Platí $L = \log \frac{I}{I_0}$, kde

L je hladina intenzity zvuku v belech B,

I je intenzita zvuku ve W/m^2 ,

I_0 je vztažná (referenční) intenzita zvuku, v našem případě práh slyšení, tedy 10^{-12} W/m^2 .

Obvykle se místo belů používají decibely ($1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$, stejně jako třeba jeden metr je deset decimetrů).

Zvýšení hladiny intenzity zvuku o 1 bel tedy odpovídá desetinásobnému zvýšení intenzity zvuku. Při stonásobném zvýšení intenzity zvuku se hladina intenzity zvuku zvýší pouze o 2 bely. Pokles intenzity zvuku na polovinu odpovídá snížení hladiny intenzity zvuku zhruba o 3 decibely, protože $0,5 = 10^{-0,3}$.

Vypracování Učitel může některé či všechny úkoly podle potřeby postupně zařazovat do hodiny a nechat žáky, aby sami či ve skupinkách hledali řešení, případně může řešení sám předvést u tabule.

Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

1. Pokud je v určitém místě intenzita zvuku 10^{-7} W/m^2 , jaká je hladina intenzity zvuku?

$$L = 10 \cdot \log \frac{10^{-7}}{10^{-12}} \text{ dB} = 50 \text{ dB}$$

2. Jaké intenzitě zvuku odpovídá hladina intenzity 45 dB?

$$45 \text{ dB} = 10 \cdot \log \frac{x}{10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} \text{ dB}$$

$$10^{4,5} \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = x$$

$$x = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

3. Může být hladina intenzity zvuku záporná? Vysvětlete svou úvahu.

Ano, může být záporná. Pokud je intenzita zvuku například stokrát menší než práh slyšení, bude hladina intenzity zvuku -20 dB .

4. Dejme tomu, že reproduktor s akustickým výkonem 20 W vysílá do všech směrů rovnoměrně. Určete intenzitu zvuku ve vzdálenosti a) 1 m , b) 2 m , c) 4 m , d) 8 m . Jakým způsobem se změní intenzita zvuku, když se vzdálenost zdvojnásobí?

Akustický výkon se rovnoměrně rozkládá na plochu pomyslné koule s příslušným poloměrem (1 m , 2 m atd.).

$$I = \frac{P}{S} = \frac{20 \text{ W}}{4\pi R^2}$$

$R \text{ (m)}$	$I \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)}$	$L \text{ (dB)}$
1	1,6	122
2	0,40	116
4	0,10	110
8	0,025	104

Protože celkový výkon (20 W) se rozkládá na plochu koule, jejíž povrch roste s druhou mocninou poloměru (vzdálenosti od zdroje), musí nutně intenzita zvuku při dvojnásobném zvětšení vzdálenosti klesnout čtyřikrát, jak ukazuje tabulka s výpočty.

5. Jakým způsobem se změní hladina intenzity zvuku, když se vzdálenost zdvojnásobí?

Zdvojnásobení vzdálenosti způsobí pokles intenzity na čtvrtinu původní hodnoty. Proto hladina intenzity zvuku poklesne o 6 dB .

$$\Delta L = 10 \cdot \log \frac{I_{\text{nová}}}{I_{\text{původní}}} \text{ dB} = 10 \cdot \log 0,25 \text{ dB} = -6 \text{ dB}$$

6. Pomocí hlukoměru Vernier ověřte výsledek 5. úkolu. Proč je lepší použít šum místo konkrétního tónu?

Jako zdroj hluku můžete použít soubor *šum.wav* nebo jej generovat v programu Audacity. Jedná se o náhodné šumění, nikoliv konkrétní tón.

Stoprocentní shodu spíše nelze očekávat kvůli odrazům, okolním zdrojům zvuku apod., nicméně experiment by měl napovědět, zda výsledek 5. úkolu je spíše úplně mimo realitu, nebo naopak rozumný.

Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

Pokud použijeme v místnosti tón a ne šum, vzniká odrazem a interferencí stojaté vlnění, takže na různých místech místnosti jsou pak uzly a kmitny, což může ovlivnit výsledek měření podstatně více než vzdálenost od zdroje. Náhodný šum vzniká stojatého vlnění vylučuje.

Typické naměřené hodnoty ukazuje tabulka. Je vidět, že shoda s teorií (přesně 6 dB) není dokonalá, na druhou stranu i tak odpovídá velice dobře.

R (délka boty)	L (dB)
2	68,9
4	62,6
8	57,3
16	52,2

Závěr Hlavní závěry této aktivity jsou:

1. rozsah slyšení člověka je obrovský, proto se zavádí logaritmická stupnice,
2. intenzita zvuku klesá s druhou mocninou vzdálenosti,
3. vzdálení se od zdroje na dvojnásobek způsobí pokles hladiny intenzity zvuku asi o 6 dB,
4. měření celkem dobře potvrzuje závěr v předchozím bodě,
5. hladina intenzity zvuku může být i záporná.