

22. ročník, úloha V. P ... rámus (4 body; průměr 3,08; řešilo 12 studentů)

Pokuste se odhadnout, jakou energii přijme tělo návštěvníka rockového koncertu. Svůj odhad odůvodněte.

Kvalitní hudbu vám přináší Honza Jelínek.

Upřesněme zadání a úvodem povězme, že budeme uvažovat příjem energie ze zvukových vln, ačkoliv návštěvník koncertu ji zpravidla přijímá i jinými způsoby; například z energetických nápojů.

Předpokládejme, že prostor, ve kterém se koncert koná, je ozvučen aparaturou o celkovém výkonu P , od níž se nacházíme ve vzdálenosti r . Budeme uvažovat, že aparatura je dobře směrová, a tedy většinu energie vysílá před sebe, tj. směrem k posluchačům. Dalšího zjednodušení dosáhneme zanedbáním odražených zvukových vln. To je sice na první pohled velká nepřesnost, ale uvědomme si, že před i za námi stojí lidé, čili to, co se odrazí od těch za námi směrem na naše tělo, je zhruba srovnatelné, co nám odstíní návštěvníci, kteří přišli dříve a vytváří před námi stín. Čili se až tak velké chyby nedopouštíme. Navíc předpoklad, že se od ničeho žádný zvuk neodráží je dosti důležitý – tím, že se zvuk zcela pohltí z něj získáme energii, což se při odražení neděje. Dále označme S průmět plochy lidského těla do čelní roviny, což je trochu méně než polovina celkového povrchu.

Z teorie šíření akustických vln víme, že se zachovává celková přenášená energie, ale jak se od zdroje vzdalujeme, musí se rozdělovat do čím dál větší plochy, a tudíž zvukový výkon připadající na jednotku plochy je stále menší. Tento úbytek je zřejmě kvadratický vzhledem k r . Pro povrch sféry platí $S_s = 4\pi r^2$, ale my uvažujeme kvalitní reproduktory, takže budeme počítat jen s polovinou tohoto výrazu.

Výkon reproduktorů přepočtený na metr čtverečný se nazývá *intenzita zvuku* a platí $I = P/S_s$. Vynásobením plochou návštěvníka ihned získáme energii, kterou jeho tělo přijme během sekundy. Pokud hudba hraje celkem po dobu t , je situace již zcela jasná. Energie pohlcená člověkem na rockovém koncertě je

$$E = \frac{PSt}{\frac{1}{2}S_s} = \frac{PSt}{2\pi r^2}.$$

Nyní jej zkusme vypočítat i číselně. Dejme tomu, že výkon reproduktorů se pohybuje kolem 400 W, stojíme od nich 5 m daleko a koncert trvá 10^4 s, tedy necelé tři hodiny. Svou plochu nechť každý posoudí sám, ale my dosadíme $0,7\text{ m}^2$. Vyjde

$$E \doteq 17,8\text{ kJ}.$$

Vraťme se ještě k intenzitě zvuku, kterou mnoho řešitelů použilo ve svých výpočtech. Nejslabší zvuk, který lze slyšet, odpovídá svou intenzitou $I_0 = 10^{-12}\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ hranici slyšitelnosti. Jestliže má zvuk intenzitu I , pak v logaritmické stupnici, jejíž jednotkou je decibel, vyjádříme hladinu intenzity

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}.$$

V našem případě by v okolí posluchače byla hladina intenzity zhruba 120 dB, což je poměrně hodně a odpovídá to hluku, který by slyšel člověk stojící těsně vedle startujícího letadla. Takový rámus by naše uši dlouhodobě snášely velmi těžko, ale tomu na koncertu zpravidla ani vystaveny nejsou, neboť ne vždy musejí být reproduktory zapnuty na plný výkon, ne vždy je jejich výkon kapelou využit a konečně i na koncertech se občas dělají krátké pauzy.

Tomáš Jirotko

byrot@fykos.mff.cuni.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.