

priamočiaro, a na rozhraniach rôznych prostredí sa odráža podľa zákona rovnosti uhla dopadu a odrazu. Inou jeho význačnou vlastnosťou je, že na rozdiel od obyčajného zvukového vlnenia sa ultrazvukové vlnenie vo vzduchu aj v iných plynch značne absorbuje, a to tým viac, čím je jeho vlnová dĺžka menšia; avšak v kvapalinách, napríklad vo vode, môže sa ultrazvukové vlnenie rozšíriť aj do veľmi veľkých vzdialeností. Túto vlastnosť ultrazvuku dobre vyjadrujú hrúbky x vzduchovej alebo vodnej vrstvy, potrebnej na zoslabenie intenzity ultrazvuku na polovicu, ako sú uvedené v *tabuľke 9.4*.

Tabuľka 9.4

Vrstvy zoslabujúce intenzitu ultrazvuku na polovicu

Prostredie	$v = 10$	100	500	1 000 kHz
Vzduch	$x = 220 \text{ m}$	220 cm	4,8 cm	2,2 cm
Voda	$x = 400 \text{ km}$	4 km	100 m	40 m

Ultrazvuk sa pre spomenuté svoje význačné vlastnosti v praktickom živote využíva rôznym spôsobom. Jeho malá absorpcia vo vode umožňuje napríklad rýchle a veľmi pohodlné meranie hĺbok morí tzv. *metódou ozveny ultrazvuku*. Zdroj ultrazvuku upevnený na lodi pod vodnou hladinou vysiela veľmi krátke ultrazvukové impulzy, ktoré sa po odraze od dna mora vracajú a účinkujú na prijímač ultrazvuku. Keď medzi vyslaním a zachytením ozveny ultrazvukového signálu uplynul čas Δt a rýchlosť zvuku vo vode je v , hĺbku mora určuje vzorec $h = \frac{1}{2} v \cdot \Delta t$. Odraz ultrazvuku na rozhraní dvoch hmotných prostredí sa využíva aj na hľadanie kazov v kovových výrobkoch (*ultrazvuková defektoskopia*).

Rýchle zmeny tlaku v kvapalinách, ktorými sa šíri ultrazvuk, vyvolávajú kmitavý pohyb častíc, ktoré sa v nich vznášajú. Ultrazvukom možno takto podporovať *homogenizáciu heterogénnych sústav*, t. j. vytvárať veľmi jemné disperzné sústavy, akými sú *suspenzie, emulzie, peny a koloidné roztoky*. Ultrazvuk účinkuje aj na väčšie molekuly a podporuje ich chemické reakcie. Sústavné využívanie tohto účinku je časťou praktickej chémie, ktorá sa volá *fonochémia*.

9.7. Odraz a pohlcovanie zvuku. Keď dopadá zvukové vlnenie na rovnú stenu, ktorej rozmery sú v porovnaní s vlnovou dĺžkou vlnenia značné, časť energie vlnivého pohybu vzduchu vniká do materiálu steny, v ktorom sa postupne absorbuje; druhá časť sa od steny odráža, pričom sa uhol odrazu

vlnenia od steny rovná uhlu jeho dopadu. Pri kolmom dopade vracia sa vlnenie naspäť, a ak zdroj zvuku je vo vzdialenosti aspoň 17 m od steny, rozozná sluch odrazený zvuk od pôvodného, čím vzniká *ozvena*. Pri tejto, pre vznik ozveny minimálne potrebnej vzdialenosti, ktorú zvuková vlna pri vzniku ozveny prebehne tam a späť, časový interval medzi vyslaním zvukového signálu a jeho prijatím je $\Delta t = 2 \cdot 17 \text{ m} : 340 \text{ ms}^{-1} = 0,1 \text{ s}$. To znamená, že sluchom môžeme rozoznať dva po sebe prijímané zvukové signály, ak medzi nimi je práve aspoň tento časový odstup.

V dôsledku toho, že pri dopade zvukového vlnenia na stenu časť zvukovej energie vniká do druhého prostredia a len zvyšok sa vracia, intenzita i vlnenia od steny odrazeného je vždy menšia ako intenzita i_0 vlnenia na stenu dopadajúceho. Podiel

$$\alpha = \frac{i_0 - i}{i_0} \quad (1)$$

sa volá *koeficient absorpcie* zvuku pri odraze a závisí predovšetkým od materiálu steny, no mení sa aj s výškou zvukového vlnenia: pre nižšie tóny je koeficient absorpcie zvuku menší, pre vyššie trochu väčší. Koeficienty absorpcie niektorých pevných materiálov pre zvuk s frekvenciou 512 Hz podáva *tabuľka 9.5*.

Tabuľka 9.5

Koeficienty absorpcie pre tón 512 Hz

Mramor	0,010	Drevená podlaha	0,10
Betón	0,015	Linóleum	0,12
Sklo	0,027	Obrazy	0,28
Stena omietnutá	0,025	Koberce	0,29
Stena neomietnutá	0,032	Plst	0,59
Stena drevom obložená	0,10	Celotex	0,64

Celkovú absorpciu A miestnosti nájdeme, keď veľkosti plôch jednotlivých stien vynásobíme ich absorpčnými koeficientami a získané súčiny sčítame: $A = \sum a_i S_i$. Keďže absorpčný koeficient otvoreného okna sa rovná 1 (od otvoreného okna sa zvukové vlnenie neodráža), absorpcia otvoreného okna sa rovná jeho ploche, a pre absorpciu otvoreného okna s plošným obsahom 1 m^2 dostávame: $A = 1 \text{ m}^2$. Pre túto okolnosť jednotka celkovej absorpcie (rozmer m^2) sa volá „*otvorené okno*“.

Pri počítaní celkovej absorpcie treba však rátať aj s absorpciou telom osôb prítomných v miestnosti a nábytkom. Tak napríklad na 1 osobu pripadá prie-

merne $0,42 \text{ m}^2$ (otvorených okien), na drevenú stoličku $0,01 \text{ m}^2$, na čalúnené kreslo $0,09$ až $0,28 \text{ m}^2$ atď.

9.8. Akustičnosť sál. Ako už vieme, sluchom možno rozoznať dva po sebe nasledujúce zvukové signály, len keď medzi nimi uplynula aspoň $0,1 \text{ s}$. Tomuto času zodpovedá vzdialenosť steny od zdroja zvuku 17 m , potrebná pre vznik (jednoslabičnej) *ozveny*. Keď však odrážajúca stena je bližšie, odrazené vlnenie pre sluch splýva s vlnením pôvodným, a zvuk sa takto len zosilňuje a predlžuje. V tom prípade hovoríme o *doznievaní zvuku*.

Koncertné, divadelné a prednáškové siene majú byť upravené tak, aby každý poslucháč zreteľne počul rečníka alebo predvádzanú hudbu. O miestnosti, ktorá týmto podmienkam vyhovuje, hovoríme, že má *dobrú akustiku*. Je zrejmé, že ozvena je pre prednáškové alebo koncertné siene neprípustná, ale krátkotrvajúce doznievanie je, naopak, výhodné. Zvuk sa ním zosilňuje a reč i hudba získavajú na výraznosti.

Všeobecné podmienky, ktoré kladieme na dobrú akustičnosť sál, sú tieto:

1. Kvalita zvuku, t. j. pomer intenzít zvukových vlnení rôznych frekvencií, má byť zachovaná.
2. Do vnútra sály nemá prenikať zvuk z vonkajška.
3. Zvuk má byť všade dostatočne silný, podľa možnosti aspoň približne rovnako silný.
4. Jednotlivé zvuky ľudskej reči a krátko trvajúce hudobné tóny nesmú splývať.

Prvá z týchto podmienok býva obyčajne automaticky splnená, lebo koeficient absorpcie zvuku na prekážkach závisí len málo od jeho kmitočtu.

Druhú podmienku splníme, keď sa — ak treba — postaráme o vhodnú zvukovú izoláciu miestnosti, a to voľbou vhodného materiálu stien, ich obkladacím izolujúcimi vrstvami, dvojitémi obločkami a dvermi a pod. Väčšie ťažkosti robí v betónových stavbách vedenie zvuku betónovými konštrukčnými stĺpmi, kovovými rúrami a komínmi na ventiláciu. Priepustnosť stien pre zvuk udáva ich *koeficient priepustnosti* p , daný podielom intenzity zvuku stenou prepusteného a na stenu dopadajúceho: $p = \frac{i}{i_0}$. Keď priepustnosti jednotlivých plôch s obsahmi $S_1, S_2, \dots$ sú $p_1, p_2, \dots$, preniká do miestnosti zvukový príkon

$$i_0(p_1S_1 + p_2S_2 + \dots) = i_0P$$

kde $P = \sum p_i S_i$ je *celková priepustnosť stien pre zvuk*. Vo vnútri miestnosti ustáli sa taká intenzita zvuku, pri ktorej sa zvuková energia vnikajúca do