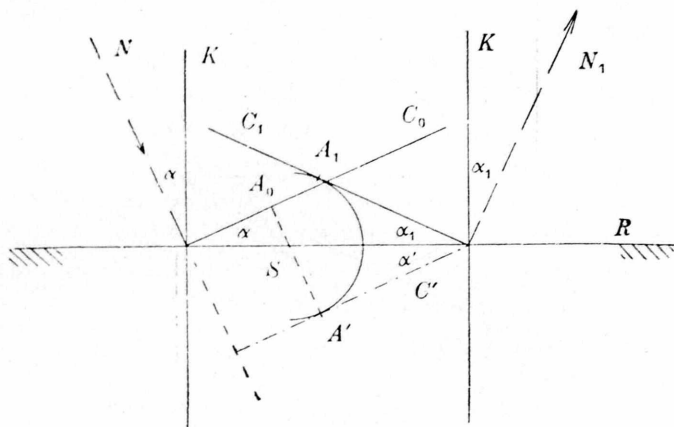


Prvý prípad nastáva pri elektromagnetickom svetelnom vlnení, ktorého vlnové dĺžky sú v porovnaní s obyčajnými prekážkami veľmi malé. Preto obyčajne pozorujeme len priamočiare šírenie sa svetla a jeho dôsledok, vznik tieňov. Ohyb svetla je jav v dennom živote zriedkavý.

Na rozdiel od svetla, zvukové vlny majú približne rovnaké dĺžky, ako sú dĺžkové rozmery obyčajných prekážok a medzier medzi nimi. Priamočiare šírenie sa zvuku je preto zastreté ohybom zvukových vln. Zvuk sa šíri za otvorom alebo za okrajom prekážky na všetky strany. Akustický tieň vzniká len za mohutnými prekážkami.



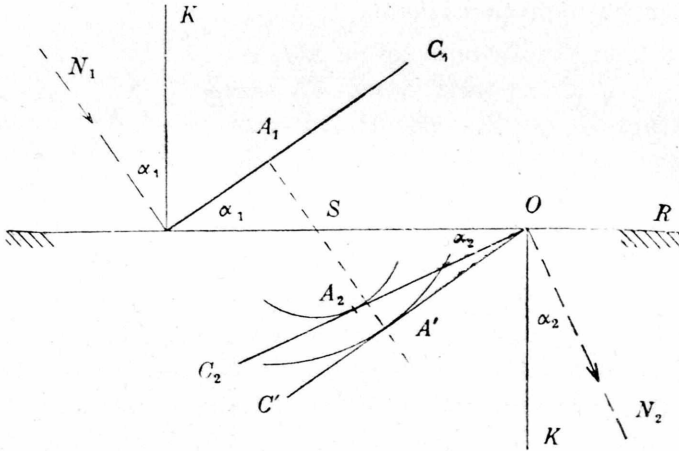
Obr. 8.27

V rozhlase používané elektromagnetické vlny majú vlnové dĺžky v rozsahu asi od 13 do 2 000 m. Preto sa ohybom dostávajú aj do vzdialených miest i napriek tomu, že povrch Zeme je zakrivený. Inakšie je to s pomerne kratšími elektromagnetickými vlnami používanými v televízii, ktoré sa prakticky dostávajú len do vzdialeností, odkiaľ možno ešte vidieť vysielaciu anténu.

8.12. Odraz a lom rovinatej vlny na rovinnom rozhraní. Predstavme si, že sa dve rôzne pružné hmotné prostredia stýkajú v rovine, ktorá predstavuje ich spoločné rozhranie. Keď sa v jednom z nich blíži k rozhraniu rovinná vlna, jednotlivé body rozhrania sa stávajú postupne stredmi elementárnych rozruchoch, od ktorých sa vlnenie šíri späť do prostredia, z ktorého prišlo, aj do prostredia na druhej strane rozhrania. Pomocou Huygensovho princípu vyšetríme najprv postup vlnenia odrážaného do pôvodného prostredia, potom aj vlnenia vnikajúceho do druhého prostredia.

Odraz vln (reflexia). K rozhraniu R dvoch hmotných prostredí nech sa blíži čelo C rovinatej vlny v smere, ktorý s kolmicou na rozhranie, s tzv.

kolmicou dopadu K , zvierá uhol dopadu α (obr. 8.27). Rovnaký uhol zvierá aj čelo vlny s rozhraním. Rovina určená kolmicou N k čelu vlny, volá sa *rovina dopadu* vlnenia. Na obr. 8.27 rovina papieru je rovnobežná s touto dopadovou rovinou. V čase t_0 nech je čelo rovinného vlnenia blížiaceho sa k rozhraniu v polohe C_0 . Keby pod rovinou R bolo to isté prostredie ako nad ňou, čelo vlnenia C za ďalší čas Δt by sa z polohy C_0 posunulo do polohy C' . Rozhranie R , ktorého body sa postupne stávajú zdro-



Obr. 8.28

jom elementárnych rozruchov, spôsobuje, že sa rozruch napríklad z bodu A_0 v čele vlny C_0 za čas Δt nerozšíri do bodu A' v druhom prostredí, ale odrazom na rozhraní, v jeho bode S , v pôvodnom prostredí na povrch gule s polomerom $\overline{SA_1} = \overline{SA'}$. Pretože to isté platí pre všetky body čela vlny v jeho polohe C_0 , znamená to, že čelo C_1 vlnenia odrazeného späť do pôvodného prostredia je v rovine, ktorá je s rovinou C' vzhľadom na rovinu rozhrania R súmerne položená. Roviny C_1 a $C' \parallel C_0$ zvierajú teda s rovinou rozhrania R rovnaké uhly $\alpha_1 = \alpha' = \alpha$, takže aj normály k nim, N_1 a N_2 , zvierajú rovnaké uhly s kolmicou dopadu K , pričom normála N_1 ostáva v rovine dopadu. Inými slovami: *Pri odraze rovinného vlnenia na rovinnom rozhraní dvoch prostredí uhol odrazu vlnenia α_1 sa rovná uhlu dopadu α a smer postupu odrazeného vlnenia ostáva v rovine dopadu.*

Lom vlnenia (refrakcia). Nech je rýchlosť postupu vlnenia v prostredí, z ktorého vlnenie k rozhraniu prichádza, v_1 a v druhom prostredí v_2 . Smer postupu vlnenia vnikajúceho cez rozhranie do druhého prostredia nájdeme, ak okolo jednotlivých bodov rozhrania, cez ktoré vlnenie prechádza, zostro-

jíme elementárne guľové vlnoplochy s polomerami zmenenými v pomere rýchlostí $v_2 : v_1$, okolo bodu S (obr. 8.28) teda guľovú vlnoplochu s polomerom $\overline{SA_2} = \frac{v_2}{v_1} \overline{SA'}$, a nájdeme ich spoločnú dotyčnicovú rovinu. Z pravouhlých trojuholníkov $SA'O$ a SA_2O , ktoré majú spoločnú preponu \overline{SO} , vyplýva :

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA_2}} = \frac{v_1}{v_2} = n \quad (1)$$

Podľa tohto výsledku vlnoplochy vlnenia vnikajúce do druhého prostredia vo všeobecnosti nie sú rovnobežné s vlnoplochami vlnenia na rozhranie dopadajúceho, takže ani normály k nim N_2 a N_1 nie sú rovnobežné, aj keď normála N_2 ostáva v rovine dopadu. Vlnenie vnikajúce do druhého prostredia postupuje teda obyčajne v inom smere než vlnenie dopadajúce na rozhranie. Keďže táto zmena smeru postupu vlnenia na rozhraní je náhla, hovoríme, že na rozhraní dvoch rôznych prostredí nastáva lom vlnenia, pričom uhol zovretý dopadovou kolmicou a smerom postupu vlnenia vnikajúceho do druhého prostredia, ktorý sa rovná uhlu zovretému rozhraním a čelom vlny v druhom prostredí, volá sa *uhol lomu*. Vzťah medzi uhlom dopadu α_1 a uhlom lomu α_2 daný rovnicou (1) je tzv. *Snellov zákon lomu*. Podiel n sinusu uhla dopadu a sinusu uhla lomu, od uhla dopadu α nezávislý, volá sa *relatívny index lomu* vlnenia na rozhraní dvoch prostredí v danom poradí.

Keď rýchlosť v_2 v druhom prostredí je menšia ako rýchlosť v_1 v prvom prostredí, takže je $n = \frac{v_1}{v_2} > 1$, elementárne guľové vlnoplochy zostrojené v jednotlivých bodoch rozhrania majú vždy aj v druhom prostredí spoločnú dotyčnicovú rovinu, a lom vlnenia môže nastať pri každom uhle dopadu α_1 . Pritom, podľa vzorca (1)

$$\sin \alpha_2 = \frac{1}{n} \sin \alpha_1 < \sin \alpha_1$$

čo znamená, že nastáva *lom ku kolmici* dopadu.

Keď je však $v_2 > v_1$, teda keď je $n = \frac{v_1}{v_2} < 1$, vtedy je :

$$\sin \alpha_2 = \frac{1}{n} \sin \alpha_1 > \sin \alpha_1$$

Tento výsledok znamená, že v tomto prípade nastáva *lom od kolmice* dopadu. Vniknutie vlnenia do druhého prostredia je však teraz možné len pri uhloch

dopadu α_1 , pri ktorých polomer $\overline{SA_2}$ elementárnej guľovej vlnoplochy okolo bodu rozhrania (obr. 8.28) je menší ako vzdialenosť \overline{SO} , lebo v opačnom prípade elementárne guľové vlnoplochy vzťahujúce sa na druhé prostredie sa nachádzajú jedna vnútri druhej, takže spoločnú obálku nemajú. Z podmienky $\overline{SA_2} < \overline{SO}$, t. j.

$$\frac{v_2}{v_1} \overline{SA'} = \frac{v_2}{v_1} \overline{SO} \sin \alpha_1 < \overline{SO}$$

vyplýva, že keď platí vzťah $v_2 > v_1$, vlnenie môže vniknúť aj do druhého prostredia len pri dostatočne malých uhloch dopadu α_1 , pri ktorých je ešte $\sin \alpha_1 < \frac{v_1}{v_2} = n$. Uhol dopadu α_0 , daný rovnicou $\sin \alpha_0 = n < 1$, nazýva sa *hraničný*. Podľa rovnice (1) pri hraničnom uhle dopadu uhol lomu je $\alpha_2 = 90^\circ$. Ak je uhol dopadu väčší ako α_0 , lom už vôbec nenastáva a vlnenie sa v plnej svojej intenzite odráža naspäť do prvého prostredia. Hovoríme, že nastáva *úplný odraz (totálna reflexia)* vlnenia.

Príklad 1. Podľa vzorca (8.5.5) rýchlosť zvuku vo vzduchu pri obvyklých podmienkach je asi 340 ms^{-1} . Zo vzorca $v = \sqrt{1/ks}$, kde k je koeficient stlačiteľnosti a s merná hmotnosť, vyplýva, že rýchlosť zvukového vlnenia vo vode ($k = 49 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kp}$) je $v_2 = 1400 \text{ ms}^{-1}$. Hraničný uhol pre lom vlnenia na rozhraní vzduch/voda je teda určený rovnicou $\sin \alpha_0 = n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{340}{1400} = 0,24$, podľa ktorej $\alpha_0 = 14^\circ$. Tento výsledok vysvetľuje, prečo sa nad pokojnou vodnou hladinou dobre šíria aj slabé zvuky, ako aj to, že pod vodnou hladinou môžeme počuť len zvuky, ktoré dopadajú na hladinu vody skoro kolmo. Zvukové vlny dopadajúce na vodnú hladinu pod uhlom väčším ako 14° sa od nej totálne odrážajú a nevnikajú teda pod vodnú hladinu.

9. AKUSTIKA

9.1. Obsah a rozdelenie akustiky. Vlnenie hmotného prostredia, pokiaľ sa o jeho jestvovaní môžeme presvedčiť sluchom, nazýva sa vo fyzike aj v bežnej reči *zvuk*. Je predmetom štúdia časti fyziky, presnejšie náuky o mechanickom