

A-16558

POPULAARTEADUSLIK SÄRI



B.N. SUSLOV

HÄÄL JA KUULMINE

B. N. SUSLOV

HÄÄL JA KUULMINE



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1950 TARTU

Originaali tiitel:

Б. Н. Суслов. Звук и слух.
Государственное Издательство Технико-
теоретической Литературы.
Москва/Ленинград 1949.

Tõlkinud: G. Valgma.

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

8002

Sissejuhatus.

Me elame häälte maailmas.

Kus me ka asuksime, mida me ka teeksime, — kõikjal saadavad meid väga mitmesugused hääled. Iga meie liikumine kutsub esile hääle: sahina, kahina, krabina, mürina. Tõsi küll, me harjume tavaliste häältega ja tihti ei märka neid. Nii vahel inimene ei kuule, kuidas lähedal tiksuhell, trammi liikumisel aga «laseb kõrvadest mööda» isegi vaguni mürina. Me lihtsalt ei keskendu neil harjunud häätel ja tihti on nii, et ainult ootamatult saabunud vaikus pöörab meie tähelepanu häälele, mida me varem ei märganud.

Hääle tajumiseks on inimesel peen aparaat — kõrv. Kõrv võib tajuda väga mitmesuguseid hääli. Ta võib eraldada paljudest üheaegselt kõlavaist häälest ainult need, mis meid huvitavad. Üsna sageli juhindume oma tegevuses hääleaistinguisse. Hääle järgi saab inimene tihti teada mitmesuguste esemete olemasolust ning määrab kindlaks, kus need asuvad. Kuulmine aitab leida teed pimedal ööl või tihedas udus. Autojuht otsustab mootori mürina järgi selle korrasoleku üle. Tööline kontrollib masina töötamist kuulmise järgi. Igaüks meist teeb hääle järgi kindlaks, millal vesi teekatlas keema hakkab. Hääle järgi on võimalik mitte ainult ära tunda tuttavat inimest, vaid tihti ka kindlaks määrata tema meeleolu; selleks aga peab kõrv olema tähelepanelik hääle väiksemategi varjundite suhtes.

Hääl etendab hiiglasuurt osa ka loomade elus. Ta aitab metsloomadel ja lindudel jälitada oma saaki, hoiatab neid ähvardava hädaohu eest.

Kuidas siis hääl tekib ja levib? Kuidas on ehitatud meie kõrv ja milliseid häáli ta võib kuulda? Kas võite seletada, miks tuules traadid undavad ja mets kohiseb? Kas on hääl pärituult alati paremini kuuldav kui vastu- tuult?

Neile ja paljudele teistelegi küsimustele leiab lugeja vastuse meie raamatukeses.

I. Hääle tekkimine.

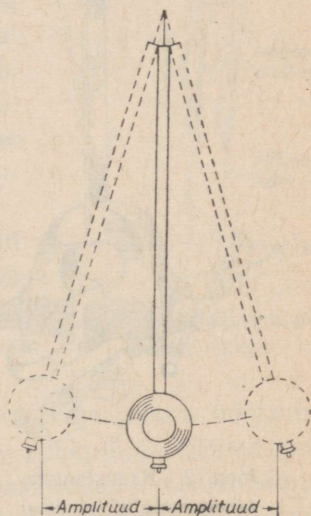
1. Eriliiki liikumine.

Häälenähtustest ei ole võimalik aru saada, kui ei looda endale selget kujutlust sellest, mis on hääl. Eelkõige vaatleme, kuidas hääl tekib ja levib.

Tõmmake kitarri või bala-laika keelt ja laske ta seejärel lahti. Keel võngub ja te kuulete häält. Te tunnete keele võnkeid, kui puudutate teda sõrmega. Hoidke sõrm keelel — keele võnkumine lakkab ja koos sellega kaob ka hääl. Kelluke lakkab samuti helisemast, kui teda puudutada. Tähendab, häält tekitab ainult võnkuv keha.

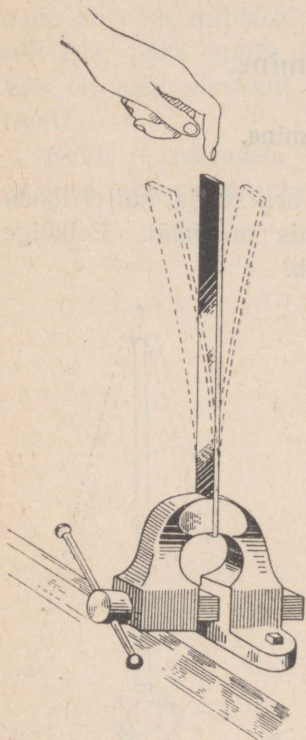
Mis on võnkumine?

Vaadake, kuidas liigub seinakella pendel. Ta liigub vaheldumisi paremale ja vasakule (joon. 1). Jõudnud näiteks äärmisse parempoolsesse asendisse, seisatub pendel silmapilguks ning liigub siis vasakule. Pendli liikumise kiirus suureneb seni, kuni ta jõuab keskasendisse. Seejärel hakkab pendli liikumine aeglustuma ja äärmises



Joon. 1. Pendel.

vasakpoolses asendis seisatub pendel uuesti. Järgmisel hetkel hakkab pendel taas liikuma — nüüd juba paremale. Pendli liikumise poolt ulatust ehk kaugust tema kesk-asendist kuni üheni äärmisist asendest nimetatakse võnke amplituudiks.



Joon. 2. Kruustangide vahele asetatud joonlaud tekitab võnkudes häält.

Taoliselt kellapendlile võib samasugust liikumist sooritada mistahes ülesriputatud raskus. Sellist liikumist kohtame looduses tihti ning nimetame seda võnkliikumiseks ehk lühemalt võnkumiseks.

Kui pendli liikumist ei takistaks õhk ning kui poleks hõõrdumist pendli kinnituspunktis, siis oleks küllaldane, kui tõugata sellist pendlit üksainus kord — ja ta jääks võnkuma igavesti. Kuid looduses pole nii. Hõõrdumine aeglustab pendli liikumiskiirust, järk-järgult väheneb kaugus selle äärmiste asendite vahel ja varem või hiljem jääb pendel seisma.

Nüüd tehke selline katse. Kinnitage terasjoonlaur üks ots kruustangide vahele, teine aga painutage kõrvale ja laske lahti.

Joonlaud hakkab võnkuma (joon. 2). Seejuures tekib suminat meenuv hääl. Miks pendel võngub häälletult, joonlaur võnkeid aga saab suminat? Ilmneb, et need kaks võnkumist erinevad teineteisest oluliselt. Joon-

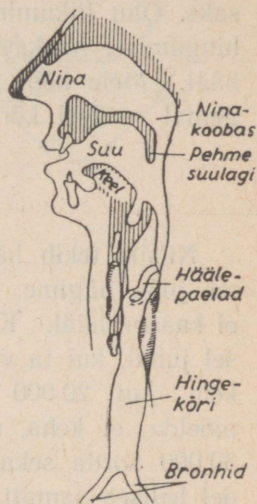
laud teeb ühes sekundis palju rohkem võnkeid kui pendel. Võngete arvu ühes sekundis nimetatakse võnkesageduseks. Niisiis on joonlaua võnkesagedus pendli võnkesagedusest suurem. Joonlaua võnkumisel kuuleme häält seepärast, et ta võngub suurema sagedusega. Pingule tõmmatud trumminahk hakkab pulgakese löögist võnkuma ja tekitab häält. Sama toimub ka telefonitorus väikese ümmarguse plaadikesega, niinimetatud membraaniga. Sel juhul täidab pulgakese osa elektromagnet. Magnetiseerudes tõmbab see endale membraani ligi ning laseb ta kohe jälle lahti, kui vool elektromagneti poolis katkeb. Kõik see toimub üsna kiiresti, sagedusega, mis vastab telefonisse kõneleva inimese hääle sagedusele.

Selliseid näiteid, kus kõvad kehad võnkudes helisevad, võib tuua üsna palju.

Kuid kas võivad heliseda ka vedelikud ja gaasid?

Jah, võivad. Selleks on neid vaja panna võnkuma. Auruvilede, sireenide, vilede ja puhkpillide hääled pole midagi muud kui auru- ja gaasiosakeste võnkliikumise tulemus. Vihmapiiskade sulpsumine loiku, rennis voolava vee sulin, laine laksumine — need kõik on võnkuva vedeliku tekitatud hääled.

On loomulik esitada küsimus: aga mis võngub siis, kui inimene räägib või laulab? Osutub, et hääl tekib kahe elastse lihasevoldi — häälepaelte — võnkumise tõttu.



Joon. 3. Hääleaparaadi ehituse skeem.

Need asuvad hingetoru ülemises osas — kõris (joon. 3).

Kui me hingame, siis on häälepaelad asetatud nii, et nad moodustavad kolmnurkse ava ning õhk pääseb selle kaudu vabalt kopsudesse ja kopsudest välja. Kui teeme mingisugust häält, siis lähendavad erilised lihased elastseid häälepaelu teineteisele ning häälepilu muutub kitsaks. Õhu liikumine on nüüd raskendatud ja selle väljahingamisel hakkavad lihasevoldid võnkuma. Siin tekibki häält. Meie kõne mitmekesised hääled tekivad juba kaugemal — teel kõrisõlmest läbi suu- ja ninakoopa.

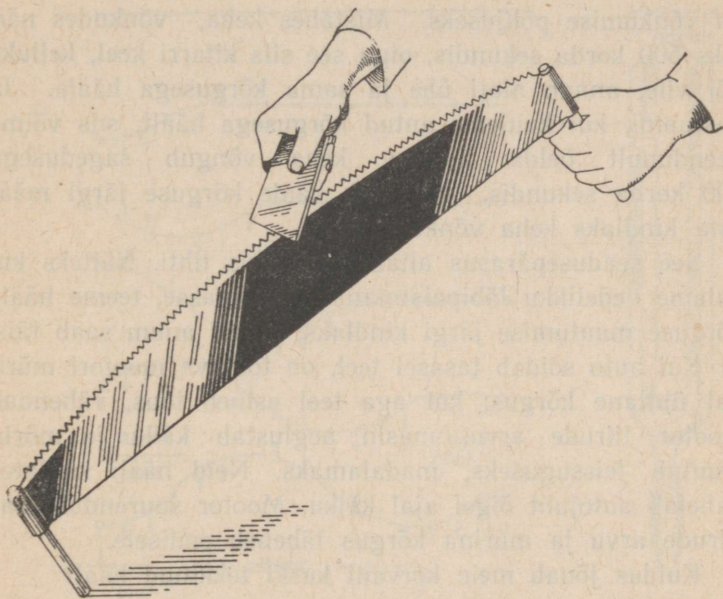
2. Hääle kõrgus.

Niisiis tekib häält kehade võnkliikumisest. Kuid, nagu me juba nägime, kaugeltki mitte igasuguse võnkumisega ei kaasne häält. Keha tekitab kõrvaga tajutava hääle vaid sel juhul, kui ta võngub mitte vähem kui 16 ja mitte rohkem kui 20 000 korda sekundis. Oleks aga ebaõige mõelda, et keha, mis võngub sagedusega ütleme 10 või 30 000 korda sekundis, ei helise. Aeglaselt võnkuv pendel heliseb samuti, nagu helisevad kehad ka saja tuhande võnke puhul sekundis. Me ainult ei kuule neid hääli. Häält, mille võnkesagedus on vähem kui 16, nimetatakse *infrahääleks*, häält võnkesagedusega üle 20 000 — *ultrahääleks*. Selles raamatus kõneleme peamiselt kuuldavast häälest.

Niisiis on häälel ainult võngete teatava sageduse juures teatav omadus — olla meie kõrvaga tajutav. Seejuures muutub hääle kvaliteet sõltuvalt sageduse järkjärgulisest kvantitatiivsest muutusest.

Mille poolest erinevad üksteisest erisuguse võnkesagedusega hääled? Tehke järgmine lihtne katse. Võtke tavaline saag ja õhuke lauatükike. Tõmmake lauatükikest

aeglaselt üle saehammaste (joon. 4); te kuulete üksikuid lööke — lauatükikese lööke vastu saehambaid. Tõmmake veidi kiiremini ja te kuulete madalat häält. Mida kiiremini lauatükikeselega üle saehammaste tõmmata, seda kõr-



Joon. 4. Hääle tekitamine sae ja lauatükikese abil.

gem on hääl. Meenutage, kui läbilõikavalt undab ümmargune elektrisaag halgu lõigates.

Joonisel 2 kujutatud joonlauaga võib katset jätkata. Sulgege kruustangide vahele mitte joonlaua ots, vaid joonlaua keskosa. Nüüd võngub joonlaud suurema sagedusega; tekkiv hääl on teissugune, kõrgem kui esimese katse puhul. Mida lühem on kruustangide vahelt väljaulatuv joonlaua ots, seda kõrgem on hääl tema võnku-

misel. Kõik see veenab meid selles, et mida suurem on sagedus, s. o. mida rohkem teeb keha sekundis võnkeid, seda kõrgem on tema poolt tekitatav hääl.

On huvitav märkida, et teatava kõrgusega hääle tekimisel on täiesti ükskõik, milline keha võngub või mis on võnkumise põhjuseks. Mistahes keha, võnkudes näiteks 500 korda sekundis, olgu see siis kitarril keel, kelluke või vile, annab alati ühe ja sama kõrgusega hääle. Ja vastupidi, kui kuuleme antud kõrgusega häält, siis võime veendunult öelda: helisev keha võngub sagedusega 500 korda sekundis. Nii võib hääle kõrguse järgi määrata kindlaks keha võnkesagedust.

See seadusepärasus aitab meid elus tihti. Näiteks kui valame vedelikku läbipaistmatusse anumasse, teeme hääle kõrguse muutumise järgi kindlaks, millal anum saab täis.

Kui auto sõidab tasasel teel, on töötava mootori müri-
nal ühtlane kõrgus; kui aga teel esineb tõus, vähendab mootor tiirude arvu, masin aeglustab käiku ja müri-
n muutub teissuguseks, madalamaks. Neid hääli kuulates vahetab autojuht õigel ajal käiku. Mootor suurendab taas tiirude arvu ja müri-
na kõrgus läheneb endisele.

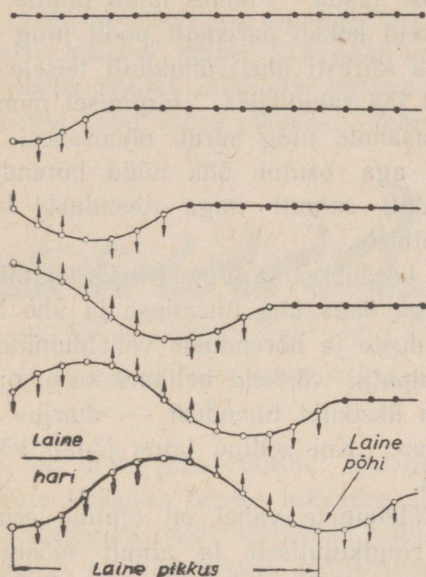
Kuidas jõuab meie kõrvani kuski tekkinud hääl?

3. Häälelained.

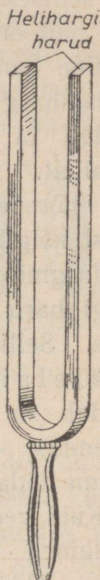
Visake kivi vette. Mööda veepinda levivad kohe ring-
lained, mis üha kaugenevad kivi kukkumise kohast. Esi-
mesel silmapilgul näib, et koos lainega eemalduvad ka üksikud veeosakesed. Kui aga visata veepinnale kerge laast, siis võib näha, et laast kõigub ainult üles ja alla; ta kordab täpselt teda ümbritsevate veeosakeste liikumist. Kui laine tõuseb, kerkib ka laastuke laine harjale; laine möödus — ja laast pöördub taas endisele kohale. Tähen-

dab, ka lainet moodustavad veeosakesed ei lähe lainega kaasa, vaid võnguvad ainult üles ja alla.

Joonisel 5 on näidatud, kuidas veeosakesed hakkavad üksteise järel võnkuma, moodustades laine.



Joon. 5. Veelaine skemaatiline kujutis. Noolekestega on näidatud üksikute veeosakeste liikumise suund.



Joon. 6. Heli-hark.

Hääle levimist võib võrrelda laine levimisega veepinnal. Vette visatud kivi asemel on ainult võnkuv keha, veepinna asemel aga õhk.

Olgu hääleallikaks helihark. See on väike painutatud terasvarb pidemega painde kohal (joon. 6). Heli-harki kasutatakse tihti muusikariistade häälestamisel. Kerge löögiga helihargile võib selle panna helisema. Ole-

tame, et esimesel hetkel pärast lööki kaldub helihargi haru paremale; seejuures tõukab see paremale ka teda ümbritsevaid õhuosakesi. Siis osutub õhk teatud väikeses ruumalas helihargi lähedal tihendatuks. Kuid õhuosakesed ei või sellisesse olekusse jääda. Püüdes laiali minna, suruvad nad oma naabreid kokku paremalt poolt ning tihendumine kandub üsna kiiresti ühelt õhukihilt teisele. Kuid ka helihargi haru ei jää rahulikuks. Järgmisel momendil kaldub ta juba vasakule ning surub õhuosakesi kokku vasakult. Paremial aga osutub õhk nüüd hõrendatuks. See hõrendus kandub samuti nagu tihenduski kiiresti edasi kõigile õhukihtidele.

Järgmisel võnkel kordub sama lugu. Niisiis tekitab helihargi haru iga võnge õhus ühe tihenduse ja ühe hõrenduse. Selliste tihenduste ja hõrenduste vaheldumine ongi häälelaine. Kuipalju võnkeid helihark teeb, niipalju saadab ta õhku ka üksikuid tihendusi — «harju» — ja hõrendusi — «põhju». Kui selline laine jõuab kõrvani, tajume teda häälena.

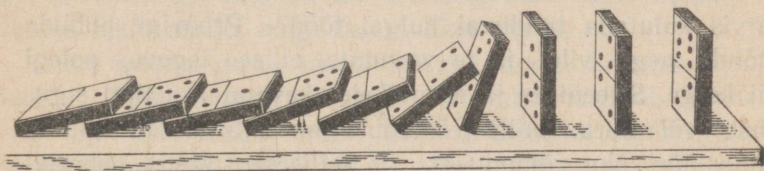
Kuid vee- ja häälelainete vahel on oluline erinevus. Veelained levivad ringikujuliselt ja ainult mööda veepinda. Häälelained aga täidavad kogu ruumi heliseva keha ümber. Peale selle toimub veelaines üksikute osakeste üles ning alla võnkumine risti laine levikusuunale, häälelained aga võnguvad osakesed edasi ja tagasi piki laine levikusuunda. Seepärast nimetatakse laineid veepinnal ristlaineks, häälelaineid aga pikilaineks.

Kuid milline laine ka oleks, võnkliikumisest osavõtvad aineosakesed ei paigutu kunagi ümber koos lainega. Ja laine ise on ainult liikumise ülekanne ühelt võnkuvalt aineosakeselt teisele.

Doomino-kivid aitavad sellest veelgi paremini aru saada. Paigutage need kõik üksteise lähedale ritta ja

lükake esimest kivi (joon. 7). Kukkudes tõmbab see endaga kaasa teise, teine kolmanda jne. Lühikese aja pärast on kõik kivid maas. Igaüks neist jäi oma kohale, üle kogu rea kandus aga edasi ainult liikumine.

Lainelist liikumist võib jälgida ka järgmises katses. Võtke pikk terasvedru ja riputage see niidikeste abil horisontaalse latikese külge. Tõugake vedru äärmist keerdu ja te näete, kuidas liikumine hakkab kanduma ühelt keerult teisele kogu vedru pikkuses. Vedrukeerdude ühetasane



Joon. 7. Langevad doominokivid meenutavad häälelaine levimist.

jaotus on nüüd juba rikutud; ühtedes kohtades on nad üksteisele lähemal, teistes kohtades aga üksteisest kaugemal. Tähelepanelikult vaadeldes võib näha, kuidas need tihendused ja hõrendused paigutuvad ümber piki vedru. Vaatamata sellele, et liikumine kandub kiiresti ühest vedru otsast teise, võnguvad vedru üksikud keerud seejuures ainult kergelt ühele ja teisele poole, oma keskasendist mitte kuigi kaugemale eemaldudes.

Täpselt samuti ei lenda kõneleva inimese suust kuulaja kõrvu mitte võnkuva õhu osakesed, kandub vaid edasi üksikuid tihendusi ja hõrendusi moodustavate osakeste liikumine.

Hääle levimine kaugusele nõuab teatavat töökulu. Et tekiks häälelaine, selleks on tarvis õhuosakesed panna liikuma. Kuid häälelaines on osakeste võnkeulatus

tähtsusetult väike. Rõhumine, mis tekib laine tihenduskohtades, ei ületa isegi kõige tugevama hääle puhul 0,5 grammi ruutsentimeetrile, nõrga hääle puhul aga on see rõhumine palju kordi väiksem rõhumisest, mida tekitab inimese pea peale istunud sääsk! Siit on selge, et ka häälelaine tekitamiseks kulutatud töö on üsna väike. Kui miljon inimest kõneleks üheaegselt poolteise tunni jooksul, siis piisaks miljoni hääle tekitatud häälelainete energiast vaid ühe klaasi vee keema ajamiseks!

Lugeja võib küsida: miks on siis hääle tekitamiseks tarvis kulutada tunduval hulgal tööd? Proovige puhuda mõnda aega vilet ja te veendute, et see tegevus polegi nii kerge. Sireenides ja auruviledes kasutatakse tihti suruõhku või auru, mille rõhumine on mitu korda suurem atmosfääri õhu rõhumisest. Ja sellisest suurest energiakulust hoolimata levib saadud hääl suhteliselt väikesele kaugusele. Osutub, et kõigis hääleallikais muundub hääleenergiaks ainult väike osa kulutatud tööst.

Kui auruvilede ja sireenide kogu energia kuluks ainult hääle tekitamiseks, siis oleks see kuuldav sadade kilomeetrite kaugusele! Enamik muusikariistu muundab hääleenergiaks mitte üle ühe tuhandiku mängimisel kulutatud energiast. Laulmisel või kõnelemisel muundab inimene hääleenergiaks ligikaudu ainult ühe sajandiku kulutatud tööst. Ülejäänud 99 sajandikku läheb kaduma, muundudes peamiselt soojuseks.

4. Häälejuhid.

Häälelaine võib läbida väga mitmesuguseid kaugusi. Nii on suurtükilask kuulda 10—15 kilomeetri, vedurivile — 7—10 kilomeetri, hobuste hirnumine ja koerte haukumine — 2—3 kilomeetri, sosin aga kõigest mõne meetri kaugusele. Need hääled kanduvad edasi õhu kaudu.

Kuid hääle edasikandjaks võib olla mitte ainult õhk. Pange kõrv vastu raudteerööpaid ja te kuulete läheneva rongi mürinat tunduvalt varem ja kaugemalt, kui mürina kandudes teieni õhu kaudu. Tähendab, metall juhib häält paremini ja kiiremini kui õhk.

Metallide heas häälejuhtivuses veenab meid veel üks tähelepanuväärne katse. Kui kinnitada metalltraadi üks ots klaveri külge, teine ots aga viia maja selle osani, kuhu klaverimängu õhu kaudu enam kuulda ei ole, ja ühendada see ots viiuliga, siis on klaverimäng hästi kuuldav. Seejuures tekib mulje, nagu tuleks hääli viulist.

Juba ammu pandi tähele hääle levimist ka maapinna kaudu. Tuntud vene kirjanik Karamzin kirjutab «Vene riigi ajaloo», kuidas vürst Dimitri Donskoi sõitis Kulikovo lahingu eel ise luurele ja, pannud kõrva vastu maad, kuulis tatarlaste lähenevate väesalkade hobuste müdinat*.

Sageli võib näha esimesel hetkel kummalisena tunduvat pilti: masinist või autojuht, võtnud puust kepikese, paneb selle ühe otsa mootori eri osade vastu, teise otsa aga kõrva juurde, vahel aga võtab kepi teise otsa koguni hammaste vahele. Kasutades puidu head häälejuhtivust, kuulatab ta üksikute liikuvate detailide häält masinas ja määratleb, kas need töötavad hästi.

Vesi juhib häält samuti hästi. Sukeldunud vette, võib selgesti kuulda, kuidas kolisevad üksteise vastu kivid, kuidas klõbiseb murdlaineis veerkivi, kuidas töötab auriku masin.

Vee omadust hästi häält juhtida kasutatakse tänapäeval luureks merel sõja ajal, samuti ka meresügavuste mõõtmiseks.

Toodud näited kõnelevad sellest, et häälelaine võib

* „История государства Российского”.

edasi kanduda mitte ainult õhu või üldse gaaside kaudu, vaid ka vedelike ja tahkete kehade kaudu.

Hääle jaoks on olemas ainult üks takistus ja seda on kerge avastada üsna lihtsa katsega. Kui äratuskell üles keerata ja katta klaaskupliga, on helin hästi kuuldav. Kui aga kuplist õhk välja pumbata, helin kaob. Miks? Seepärast, et hääl ei saa tühjuse kaudu edasi kanduda. Ja see on kergesti seletatav. Tühjuses pole ju millelgi võnkuda. Häälelaine — tihenduste ja hõrenduste vaheldumine — nagu katkeb, kui ta kohtab oma teel tühjust.

II. Korrapärased ja korrapäratud hääled.

1. Müra.

Me kuulame meeleldi muusikat, lindude laulu ja meeldivat inimhäält. Vastupidi, vankri mürin, sae vingumine ja võimsad vasaralöögid on meile ebameeldivad ning sageli ärritavad ja väsitavad meid.

Meile avaldatava mõju järgi on kõik hääled jaotatavad kahte rühma: helideks ja müradeks. Mille poolest need teineteisest erinevad?

Helil on alati teatav kindel kõrgus. See oleks nagu korrapärase häälelaine. Vastupidi, müras valitseb täielik korratus. Kuulake näiteks linnatänava päevast müra. Te kuulete selles lühikesi kiiresti kaduvaid kõrgeid hääli, madalat kestvat undamist ning teravat lõginat. Müra on väga mitmesuguste üheaegselt kõlavate häälte suur hulk. Mida kiiremini muutuvad nende kõrgus ja tugevus, seda ebameeldivamalt mõjub meile müra.

Igaüks teie hulgast teeb kergesti vahet klaveriheli ja saapa kriuksumise vahel. Kuid heli ja müra vahele ei saa alati tõmmata teravat piiri. Müras võib üsna tihti tabada helisid. Omakorda seguneb ka helidesse alati müra. Sellest pole vaba isegi kõige meisterlikum muusikaline ettekanne. Proovige tähelepanelikult jälgida klaverimängu ja te kuulete peale muusikahelide ka klahvide klõbinat, sõrmede lööke neile ning pööratavate noodilehtede sahinat. Täpselt samuti seguneb ka laulmisele alati laulja hinga-

mise kahin. Meie aga tavaliselt koondame oma tähelepanu muusika enese helidele ja seepärast ei märkagi seda müra.

Saada teatava kindla võnkesagedusega puhast heli, mida nimetame tooniks, on üsna raske isegi kõrvalmürade täielikul puudumisel, ja nimelt järgmisel põhjusel. Iga võnkuv keha ei anna mitte ainult üht tooni, vaid seda tooni saadavad alatiselt teissuguse sagedusega toonid. Need «kaaslased» on põhitoonist alati kõrgemad ning neid nimetatakse seepärast ülemtoonideks. Kuid ei maksa tunda kibestust nende «kaaslaste» olemasolu pärast. Nimelt need võimaldavadki meile eraldada ühe muusikariista heli teisest ja teha vahet eri inimeste häälte vahel ka siis, kui need on võrdse kõrgusega. Ülemtoonid annavad igale helile omapärase värvingu ehk, nagu öeldakse, tämbri. Ja kui põhitooniga kaasnevad temale kõrguse poolest lähedased ülemtoonid, siis tundub heli meile pehmena, «sametisena». Kui aga ülemtoonid on põhitoonist tunduvalt kõrgemad, siis kõneleme ebameeldivast «metallilisest» häälest või helist.

Ülemtoonide tekkimise põhjus on keeruline. See seisab kehade võnkumise füüsikalises olemuses ning siin ei hakka me seda vaatlema.

Müra mõjub kahjulikult inimeste tervisele ja töövõimele. Inimene võib müras töötada, sellega harjuda, kuid müra kestev mõju põhjustab väsimust, viib sageli kuulmise teravuse kahanemisele, üksikuil juhtudel aga kurtusele. Seepärast on võitlus müraga väga tähtis ülesanne.

Tehnikat arendades püüab inimene asendada oma lihaste tööd masina tööga. Masinate kasutamine, nagu seda vahel kujutletakse, toob aga kaasa müra suurenemise. Kuid on ebaõige arvata, et mida kõrgem on tehnika ja mida rohkem inimene kasutab mehhaanilisi vahendeid, seda rohkem allub ta müra mõjule. Tehnika arenemise

ajalugu näitab, et üksikute mehhanismide töö parandamisega vähendatakse müra nende töötamisel või kõrvaldatakse see hoopis. Koos uute masinate leiutamisega avanevad ka uued teed võitluseks müraga. Tõesti, aurumasin loovutab oma koha müratule turbiinile, vana konstruktsiooniga mürisev lokomotiiv — vähem mürisevale tänapäeva auru- ja elektrivedurile. Seal, kus see on võimalik, asendatakse helisignaalid, auruviled, viled ja kellad valgus-signaalidega. Palju müra tekitavad masinad ja mootorid kaetakse häält summutavate katetega, paigutatakse erilistele alustele jne. Ruumides riputatakse müra nõrgendamiseks seintele vaipu, drapeeritakse uksi ja aknaid. Telefoni-apid vooderdatakse vildiga või pressitud korkplaatidega.

Meie riik kulutab suuri summasid võitluseks müraga. See on arusaadav, sest müra kõrvaldamine tootmises tähendab töölise töötingimuste parandamist ja tervendamist, tema tööjõudluse tõstmist. Kaitsta müra eest elu- ja ühiskondlikke hooneid tähendab töötajatele hea ja täisväärtusliku puhkuse andmist. Seepärast võetaksegi vabrikute ja tehaste tsehhides, reisirongides ja kõikjal, kus võivad tekkida ebameeldivad, ärritavad ja väsitavad hääled, kasutusele abinõud nende kõrvaldamiseks või nende võimalikuks vähendamiseks ja vaigistamiseks.

Käesoleval ajal teevad nõukogude teadlased tõhusat tööd uute häält isoleerivate materjalide loomisel.

Kuid välise müra eest on väga raske täielikult kaitset leida. Hääl tungib ju hoonete sisemusse mitte ainult õhu, vaid ka seinte, veejuhtmete, kanalisatsioonitorude ja ventilaatorite kaudu. Kui on vaja täielikult kõrvaldada iga-sugust müra, nagu näiteks grammofoni või helifilmide heliülesvõtete puhul, ehitatakse erilise vundamendiga spetsiaalsed majad. Üsikusid toad neis majades nagu «ujuk-sid» elastseil aluseil või vedrudel. Kahest omavahel iso-

leeritud kihist koosnevad seinad, kahe- või koguni kolmekordsed aknad ja ukсед, pilude täielik puudumine — selliseid keerulisi abinõusid tuleb kasutada müra täielikuks kõrvaldamiseks.

2. Muusika.

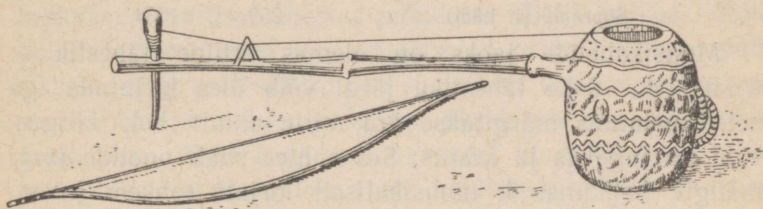
Muusikahelid kutsuvad meis esile väga mitmesuguseid elamusi: rõõmu, reipust, jõu elustumist või, vastupidi, mõtlikkust ja kurbust.

Muusika on vanemaid kunste. Juba kauges minevikus tundis inimene naudingut teatavaist kindlaist muusikalistest kokkukõladest. Muusika mõjus inimesele sellise seletamatu jõuga, et meie kauged esivanemad pidasid teda jumalate anniks.

On olemas suurepärane muinas-kreeka jutustus laulukust Orfeusest. Oma laulude ja lüürahelidega rahustas ta metsloomi, pidas kinni vetevooge ja sundis endale järgnema kaljusid ning metsi.

Ajaloolased oletavad, et esimesed muusikateosed olid mõningate helide lihtsad vaheldumised või loomade häälitsuste ja lindude laulu jäljendused. Muusikariistad tekkisid neist majapidamisesemeist, mida inimesed muinasajal kasutasid. Inimene pani tähele, et noole väljalaskmisel jahivibu nõör heliseb, et tavaline jahisarv võib edasi anda lihtsat meloodiat, et metalli löömisel vastu metalli tekivad sageli meeldivad helid. Muusikaliselt andekad inimesed ei jätnud neid tähelepanekuid kasutamata, ja helisevast vibunöörist arenesid harf, lüüra ja viiul, jahisarvest aga mitmesugused puhkpillid. Tekkisid ka löökpillid: kastanjetid, tamburiinid, trummid — neis kutsutakse helid esile lihtsate löökidega. Vaadake joonist 8; on raske aimata, et see üksik keel ja vibu pea-

vad kujutama viiulit. Enne, kui selline viiul muutus kõige täiuslikumaks muusikariistaks, omandati palju kogemusi ning nähti rohkesti vaeva. Viiuli suuruse ja kuju ning kere ja keelte materjali valik kestis sajandeid. Tänapäeva viiulil on neli keelt. Need valmistatakse lambasooltest; neljas keel — bassikeel — mähitakse ümber traadiga, esimene aga asendatakse nüüd teraskeelega, mis annab selgema heli. Viiulikere ülemine osa — kaas — tehakse



Joon. 8. Aafrika viiul.

kuusepuust, alumine osa ja külglauad aga valgest vahtrast. Ilma kereta annaksid keeled väga nõrku helisid. Kere tugevdab keelte helisid, kordab täpselt nende võnkumist.

On huvitav märkida, et mida rohkem viiulil mängitakse, seda ilusamaid helisid ta hakkab andma. Seepärast hinnatakse vanu viiuleid väga kallilt.

Tänapäeva harf on samuti teinud läbi pika arengutee — primitiivsest ühe keelega neegrite harfist kuni kaasaegse mitmekümne keelega peene muusikariistani.

Pianiino ja tiibklaveri eelkäijad olid samuti vähemtäiuslikud; neil oli kõigest umbes 20 klahvi ja nad võisid anda vaid ühesuguse tugevusega helisid. Alles ligi 200 aastat tagasi ilmusid klaverid, mis olid võimelised andma erisuguse tugevusega helisid ja omasid kuni 90 klahvi.

Vaatamata sellele, et inimese kõrv kuuleb helisid võnkesageduste üsna laias ulatuses (16 kuni 20 000 võnget sekun-

dis), ei kasuta muusika kõiki neid helisid. Näiteks vastab tiibklaveri kõige madalam heli keele 27-le võnkele sekundis, kõige kõrgem aga umbes 4000-le.

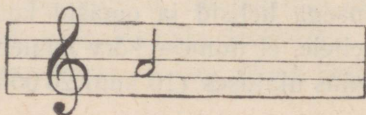
Inimhääle võnkesagedus on veelgi kitsama ulatusega. Näiteks on eri lauljail sageduste piirid järgmised:

Bassil	80 kuni	320
Baritonil	96 „	387
Tenoril	122 „	488
Kontra-aldil (2. hääl)	145 „	580
Sopranil (1. hääl)	259 „	1034

Muusikahelide jaoks on olemas eriline tähestik — noodid. Selle tähestiku järgi võib üles kirjutada iga heli, kusjuures märgitakse ära mitte ainult heli kõrgus, vaid ka tugevus ja kestus. Ses suhtes saab nootide järgi mängiv helikunstnik muusikaliselt kirjalt rohkem juhendeid kui lugeja raamatu lehekülgedelt.

Kõik muusikalised helid jagunevad 8 oktaaviks. Iga oktaav jaguneb omakorda 7 põhitooniks: do, re, mi, fa, sol, la, si. Ühe oktaavi mistahes tooni võnkesagedus on naaberoktaavi sama tooni võnkesagedusest kaks korda suurem või väiksem. Kui näiteks ühe oktaavi tooni mi võnkesagedus on 160, siis eelneva oktaavi mi sagedus on 80, järgmise oktaavi mi sagedus aga 320. On märkimisväärne, et kõigil rahvastel, isegi nendel, kes on arenenud isoleerituna teistest, on muusikalised helid oktaavideks jagatud. See on seletatav erakordse teravusega, millega inimese kõrv tajub hääli.

Muusikariistade häälestamiseks kasutatakse tavaliselt heli la, mille võngete arv on 435. Noodis tähistatakse heli la selliselt:



3. Igapäevased hääled.

Meie ümber tekib igal sekundil väga mitmesuguseid hääli.

Looduses valitseb üsna harva täielik vaikus. Kas lähete tühjale jõekaldale, põllule või metsa, alati tabate kuulatades nõrku hääli: jõekaldal — vaevalt kuuldavast loksumist, põllul — viljapeade kerget sahinat, metsas — kuiva oksa praksumist ja lehtede kahinat. Ainult kuumal keskpäeval valitseb metsas mõnikord täielik vaikus. Kõik palavusest roidunud loomad lähevad peitu tihedasse padrikusse, ning pole siis kuulda ei lindude laulu ega putukate sumisemist ja metsas ei kahise ükski rohukõrs, ei prõksu ükski oks. Kuid isegi neil harvadel tundidel puhub äkki tasa ja aeg-ajalt tuuleke, rohi hakkab sahisema ja lehed puudel kahisema, just nagu loendaks neid keegi, pannes neid paberilehtedena ühelt kohalt teisele.

Kuid loodus on muutlik ja tema rahu pole pikk. Möödub tund, ja vaikusest ei ole enam jälgegi. Juba tuleb kuskilt tume pilv, varjates päikese. Suure hooga ilmub tuulekeeris ja õhk täitub sadadest häälest. Sähvatab väik ning taevas võppub kõmavast kõuemürinast. Esimesed vihmatilgad koputavad katkendlikult, väikeste vasaratena, siledatele puulehtedele. Algul võib neid piiskade lööke loendada, kuid mõne minuti pärast muutuvad nad kose lausaliseks kohinaks.

Kuid pilv möödus, tuul vaikis ja tormihääled annavad uuesti maad vaikusele. Sulisevad ainult enne äikest vaikinud ojakesed, vahutavad ja kannavad kivide vahel lõbusalt edasi oma sogast vett. Nii tekivad looduses lühikese aja jooksul ja kaovad uuesti väga mitmesugused hääled.

Püüame selgitada mõningaid looduse poolt tekitatud hääli.

Mispärast mets tuulega kohiseb?

Tuul liigutab puude lehti; need hõõrduvad ja tõuklevad üksteise vastu. Seejuures tekivad võnkumised, mis kanduvadki edasi õhu kaudu häälelaineretena. Mets kohiseb eri ajal erisuguselt. Kevadel, kui lehed on õrnad, on nende kahin madalatooniline ja pehme; sügise lähenedes muutuvad lehed kõvaks ja nende kahin on karedam ning kõrgematooniline. Nagu helisevad erisuguselt erineva pikkuse ja jämedusega keeled, nii annavad ka erinevad puuliigid erinevat kohinat. Pappel, mille lehed on pikkade varrekeste otsas, sahiseb teistest puudest tugevamini. Okaspuumets oma peenikeste okastega tekitab alati kõrgematoonilist mühinat kui lehtpuumets.

Tõteldes ühelt kivil teisele, voolab oja. Aga kus ja kuidas tekib tema vulisev hääl? Kiiresti voolav vesi moodustab kivide lähedal keeriseid ja neelusid. Vesi nagu neelaks neis keeristes endasse õhku. Õhk võib veest välja pääseda ainult rahulikumas vooluses. Ja vulin tekib juba kivi taga — seal, kus veest väljuvad õhumullikesed. Need mullikesed, põhjustades võnkumisi, tekitavad voolava oja omapärase hääle.

Sageli kuuleme, kuidas tuul «ulub» juhtmetes. Tuul ulub ka raagus metsas. Mis põhjustab seda ulgumist?

Kui tuul on nõrk, siis möödub õhuvoolus oma teel juhete kohates sellest rahulikult ja kulgeb hääletult edasi. Kui aga tuule kiirus on suur, siis tekivad juhtme juures õhukeerised. Puhangulised õhuvoolused mööduvad takistustest kord ühelt, kord teiselt poolt ja panevad ta seega võnkuma. Juhe hakkab võnkuma ja helisema. Kes on sõitnud paadiga, sellele on säärased võnkumised hästi tuntud. Vette lastud aer väriseb paadi liikumisel.

Tõenäoliselt on teist paljud samuti täheldanud, kuidas jõepõhja taotud peenikesed teibakesed või tähised kiires

voolus lakkamatult kõiguvad. Samuti liiguvad tuules puude oksad raagus metsas, kusjuures see liikumine võib toimuda niisuguse sagedusega, et tekib kuuldav hääl.

Sageli öeldakse: «Teekatel juba kohiseb, varsti hakkab keema.» Igaüks teab, et teekatel peab enne vee keema hakkamist kohisema. Kuidas seda nähtust seletada? See toimub järgmiselt. Kõige kuumemaks kohaks on teekatlal põhi ning esmajärjekorras kuumenevad alumised veekihid. Kuumenenud vees tekivad aurumullikesed, mis taluvad vee rõhku oma kõrge temperatuuri tõttu. Kuid kuumenenud vesi on kergem kui külm vesi. Kuum vesi ja koos sellega ka mullikesed tõusevad üles ning annavad külmade veekihtidega segunedes ära osa oma soojusest. Auru temperatuur mullikestes langeb, tähendab, neis langeb ka rõhk. Nüüd ei suuda mullikesed enam vastu pidada vee rõhule ja nad justkui muljutakse puruks. Veeosakesed sööstavad igast küljest mullikeste sisemusse ning kutsuvad üksteisega kokku põrgates esile löögi hääle. Selliste löökide suur hulk tekitabki teekatla «kohisemise».

Sellelaoline nähtus on täheldatav ka aurulaeva või mootorpaadi propellerite juures, kuigi need tekitavad teistsugust häält. Propelleritiibade kiirest pöörlemisest tekiavad vees tühikud, kuhu tungivad kiiresti igast küljest ümbritseva vee osakesed. Üksteisele järgnevad löögid liituvad üldiseks mürinaks. Olgu mainitud, et vee sellised löögid on niivõrd tugevad, et viivad mõnikord propelleri purunemiseni.

Vaatleme veel üht näidet — kuumale pinnale, näiteks kuumale pliidile, langenud vee sisisemist. Sel juhul hakkab alumine veekiht momentaanselt keema, muutudes auruks. Iga veetilk suureneb auruks muutudes mahult umbkaudu poolteist tuhat korda. See aur pritsib laiali

ülejäänud vee, ja selle väikesed tilgad, langedes kuumale pliidile, suurendavad keema hakates oma mahtu samal määral. Veetilkade kiire auruks muutumine põhjustab ümbritsevas õhus tõukeid, mis tekitabki iseloomuliku sise-seva hääle.

III. Kuidas kõrv kuuleb.

1. Kõrva ehitus.

Tutvunud hääle füüsilise olemusega, vaatleme nüüd, kuidas häält tajutakse.

Hääle tabamiseks on inimesel ja loomal eriline organ — kõrv. See on haruldaselt peen aparaat. Me ei tunne teist niisugust mehhanismi, mis reageeriks sellise hämmastava täpsusega äärmiselt väikestele rõhumuutustele õhus. Kõrv kujundab häälelaine võnkliikumise ümber teatavaks kindlaks aistinguks, mida meie teadvus tajubki häälena.

Inimest huvitavad ammust ajast selle imepärase organi ehitus ja töö. Kuid veel käesoleva ajani pole kaugeltki kõik sel alal välja selgitatud.

Inimese kõrva ehitus on näidatud joonisel 9.

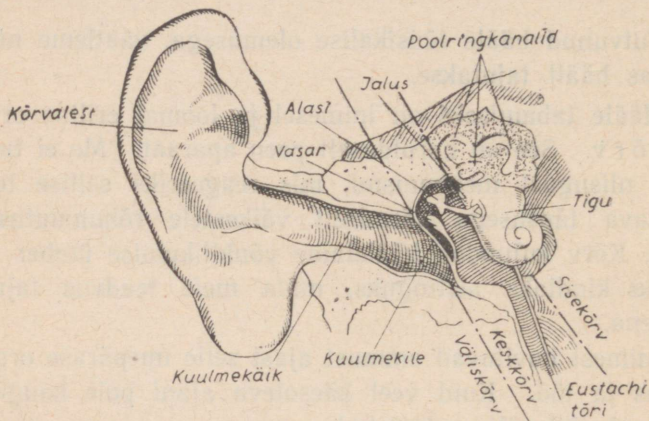
Kuulmisorgan jaguneb kolmeks osaks: välis-, kesk- ja sisekõrv (vt. joon. 9).

Väliskõrv ehk kõrvalest on eri loomadel väga mitmesuguse kuju ja suurusega. Enamikul neist on kõrvalest liikuv. Inimesel on see kõrvalesta omadus peaaegu täiesti kadunud. Tõsi küll, võib kohata inimesi, kes on võimelised kõrvu liigutama, kuid see on harv erand, mis tuletab meelde kõige selle ühtsust, mis maakeral on elavat.

Kõrvalestast lähtub kuulmekäik, mis lõpeb kuulme-

kilega. See on piiriks välis- ja keskkõrva vahel. Kuulmekile on ovaalse kujuga ja sissepoole veidi välja venitatud. Kuulmekile pind on ligikaudu 0,65 ruutsentimeetrit.

Kuulmekile vabaks võnkumiseks on vaja, et õhurõhk sellest mõlemal pool oleks võrdne. Siis hakkab kuulmekile, seestpoolt vastumõju mitte kohates, välisõhu rõhu väiksemategi muutuste puhul kergesti võnkuma.



Joon. 9. Inimese kõrva ehitus.

Tõenäoliselt on igaüks märganud, et pärast tugevat ninanuuskamist lakkame mõneks ajaks kuulmast nõrku hääli. See toimub sellepärast, et niinimetatud Eustachi tõri kaudu (XIV sajandil elanud itaalia arst Bartolommeo Eustachi kirjeldas esimesena seda tõri) satub ninakoopast keskkõrva õhku. Seejuures ummistub tõri ots tihti limaga, õhk rõhub seestpoolt kuulmekilele ning see kaotab oma endise võnkevabaduse. Kuid piisab sülje allaneelamisest, et Eustachi tõri avaneks, liigne õhk väl-

juks (kõrvas on tunda seejuures kergelt naksatust) ning surve kuulmekile mõlemale poolele muutuks võrdseks. Normaalne kuulmine taastub uuesti. Kui ümbritseva õhu rõhk millegipärast äkki muutub, siis kuuleme kõrvades suminat, mis lakkab jällegi sülje allaneelamisel.

Kesk kõrvas asub rida erilisi luukesi: vasar, alasi ja jalus. Need luukesed on saanud oma nime-tuse sarnasuse tõttu vastavate esemetega. Nad on mõõt-meilt üsna väikesed ja kaaluvad kõik kokku ligikaudu 0,05 grammi. Need luukesed asetsevad nii, et moodustavvad kangisüsteemi, mis annab kuulmekile võnked edasi sisekõrva ning samaaegselt kujundab need ümber vähema ulatusega, kuid suurema tungiga võngeteks. Vasar, alasi ja jalus annavad kuulmekile võnkumise kogu energia edasi sisekõrva üsna väikesele ovaalsele aknake-sele. Sel viisil langeb sisekõrvale 50—60 korda suurem rõhk kui kuulmekilele.

Sisekõrva ehitus on üsna keeruline. Kõrva selle osa ülesandeks on ainult nende võngete vastuvõtmine, milliseid saadab kuulmekile. Sisekõrvale ei tohi mõjuda mitte mingisugused teised võnked. Seepärast on sisekõrv ümbritsetud tugevate luudega. Sisekõrvas on kolm poolringkanalit (vt. joon. 9), millel pole midagi ühist kuulmisega. Need on tasakaalu-organid. Peapöö-ritus, mida end kiiresti keerutades tunneme, tuleb neid kanaleid täitva vedeliku liikumisest. Kuulmisorgan aga asub erilises kestas. Vaadelge joonise parempoolset osa. Mida see teile meenutab? Igaüks vastab otsekohe, et see sarnaneb tiguga. Tiguks teda ka nimetatakse. Tigul on ligikaudu $2\frac{3}{4}$ keerdu. Tigu on kogu oma pikkuses jaotatud vaheseinaga kaheks ning täidetud erilise sültja vede-likuga. Tigu sisemuses on kelme — b a s a a l m e m b - r a a n. Sellel asuvad kuulmisnärvi harud — kuulmisärri-

tuse 23 500 väga peent juhet, mis kulgevad seejärel närvitüve kaudu peaaju kooreni.

Sisekõrvas toimuvad protsessid on väga keerulised ja mõningad neist on seni täpsemalt tundma õppimata.

2. Häälte aritmeetika.

Häälelained, mis tungivad kuulmekäiku, panevad kuulmekile võnkuma. Kuulmekile võnkliikumine kandub edasi keskkõrva luukeste-aheliku ja ovaalse akna vetruva membraani kaudu tigus asetsevale vedelikule. Selle vedeliku lainekujuline liikumine antakse omakorda edasi basaalmembraanile. Viimase liikumine toob kaasa kuulmisnärvi otsade ärritumise. Selline on hääle peamine tee oma allikast meie teadvuseni.

Kuid see tee pole ainus. Häälevõnked võivad kanduda ka otse sisekõrva, möödudes välis- ja keskkõrvast. Kuid millisel viisil? Koljuluude kaudu! Need on head häälejuhid. Kui helihark asetada vastu pealage, kõrvatagust nibujätket või hambaid, siis võib kuulda selgesti heli, kuigi kuuldavaid võnkeid ei kandu kõrvani õhu kaudu. See toimub sellepärast, et koljuluud annavad helihargilt saadud võnked otse edasi sisekõrvale, milles tekivad samasugused kuulmisnärvide ärrituse protsessid, nagu kuulmekilegi poolt edasiantud võngetest. Seepärast «kuulatakse» mõnikord üksikute masinaosade tööd, hoides hammaste vahel kepi üht otsa (vt. lehekülj 15).

Samuti on huvitav märkida, et mõnikord on võimelised kuulma, kuigi tunduvalt nõrgemini, ka inimesed, kelledel kuulmekile ja keskkõrva luukesed on operatsiooniga kõrvaldatud. Nähtavasti kanduvad häälelaine võnkumised ka sel juhul vahetult sisekõrva.

Kui kuulmekile võnked on aeglased — kui nende arv

on sekundis vähem kui kuusteist — siis ei saa basaalmembraan võnkeid. Seepärast me ei kuulegi heli, kui keha võnkumissagedus on vähem kui kuusteist korda sekundis.

Nagu juba ütlesime, ei taju meie kuulmisorgan häälena samuti võnkeid sagedusega üle kahekümne tuhande.

Kuid mitte kõik inimesed, isegi normaalset kuulmist omavad, pole võrdselt tundlikud mitmesuguse sagedusega helide suhtes. Nii tajuvad lapsed tavaliselt ilma pingutuseeta helisid, millede sagedus on kuni 22 000. Enamikul täiskasvanuist on kõrva tundlikkus kõrgete helide suhtes juba alanenud 16 000—18 000 võnkeni sekundis. Rauakatel aga piirdub kõrva tundlikkus helidega, mille võnkesagedus on 10 000—12 000. Nad ei kuule sageli üldse sääse pirinat, rohutirtsu ja kilgi sirtsumist ega isegi varblase siutsumist.

Paljud loomad on kõrgete helide suhtes eriti vastuvõtlikud. Koer näiteks tajub võnkeid sagedusega kuni 38 000, s. o. inimesele kuuldamatuid hääli.

Kuidas aga oskab meie kõrv hinnata ühe ja sama kõrgusega helide tugevust? Osutub, et selles suhtes on meie võimed peaaegu võrdsed väikese lapse või ürginimese arenguga matemaatika alal. Samuti nagu väike laps võib loendada ainult kaheni, kui aga esemeid on rohkem, siis ta ütleb, et neid on palju, nii oskame ka meie hinnata ainult heli tugevuse 2—3-kordset suurenemist või vähenemist, edasi aga piirdume ebamäärase väljendusega: «palju valjem» või «tunduvalt tasem».

Kui hääle tugevuse muutumise mõningane hinnang on meie teadvusele veel jõukohane, siis tugevuste liitmine ja ühe tugevuse lahutamine teisest on talle juba lahendamatuks ülesandeks. Pole aga vaja mõelda, et inimene üldse ei suuda tugevuselt lähedasi helisid eraldada. Näiteks

kasutavad muusikud kogu tugevuseskaalat. Selles skaalas on iga järgnev tugevus eelmisest kaks korda suurem, kogu skaalal on aga seitse tugevustaset.

Vaatamata sellele, et meie kuulmisaparaat tabab õhuhõrumise äärmiselt väikesi muutusi, pole me siiski võimalised kuulma üsna nõrku hääli. Kuid seda pole vaja kahetseda. Kujutlege, mis saaks siis, kui meie kõrv osutuks tundlikumaks, kui ta on. Õhk koosneb ju üksikuist molekulidest, mis liiguvad lakkamatult kõigis suundades. Sellise liikumise tõttu võib üksikutes kohtades tekkida hetkeks rõhumise suurenemine või vähenemine. Need rõhumuutused on suuruselt üsna lähedased rõhumuutustele, mis tekivad kõige nõrgema häälelaine tihenduse ja hõrenduse kohtades. Ja kui kõrv tajuks selliseid üliväikesi rõhu muutusi, siis tekitaksid need õhu juhuslikud võnked alatise müra aistingut, ja vaikus oleks meile tundmatu! Loodus nagu peatus õigeaegselt meie kuulmisaparaadi tundlikkuse teataval lävel, jättes sellele võimaluse puhata.

Tavalises elus ei ümbritse meid kunagi täielik vaikus, ja kõrval pole tegelikult täielikku puhkust. Kuid sageli loome endale kunstliku vaikuse — lükkame saadavad hääletajud ajutiseks oma teadvusest kõrvale. Me nagu laseksime mõned hääled «kõrvadest mööda». Ja kuigi me neid «ei kuule», märkab kõrv neid hääli siiski. Täpselt samuti, kui meie poolt «kõrvadest mööda lastavaile» häälele lisandub meid huvitav heli, märkame teda otsekohe isegi siis, kui ta on teistest häältest nõrgem. Ema võib sageli magada suures müras, kuid lapse esimesest hüüdest ärkab ta otsekohe. Reisija võib rongi liikumise ajal rahulikult magada, kuid rongi seismajäämisel ta ärkab.

3. Kui palju helisid inimene kuuleb?

Mitte kõik normaalse kuulmisega inimesed ei kuule ühesuguselt. Ühed on võimelised eraldama kõrguselt ja tugevuselt lähedasi helisid ning tabama muusikas või müras üksikuid toone. Teised aga ei suuda seda teha. Terava kuulmisega inimese jaoks on olemas rohkem helisid kui arenemata kuulmisega inimese jaoks.

Kuivõrd peab siis kahe heli sagedus üldse erinema, et neid oleks võimalik kuulda kahe eri toonina? Kas võib näiteks eristada üksteisest toone, kui sageduste vahe võrdub ühe võnkega sekundis? Osutub, et mõnede toonide juures on see võimalik, teiste juures aga mitte. Nii võib heli võnkesagedusega 435 eristada kõrguse poolest helist võnkesagedusega 434 ja 436. Kui aga võtta kõrgemad helid, siis ilmneb erinevus alles võnkesageduste suure vahe puhul. Helisid võnkesagedusega 1000 ja 1001 tajub kõrv ühesugustena ning tabab erinevust kõrguses alles siis, kui ühe heli võnkesagedus on teise omast 3 võrra suurem (1000 ja 1003). Kõrgemate helide puhul on see erinevus võnkesagedustes veelgi suurem. Näiteks on see sageduste puhul 3000 ümber võrdne 9 võnkega.

Täpselt samuti pole me ühesuguselt võimelised eraldama tugevuselt lähedasi helisid. Võnkesageduse 32 puhul võib selgesti kuulda ainult 3 eri tugevusega heli; sageduse 125 puhul — juba 94, 1000 võnke puhul — 374, 8000 puhul — taas vähem ja lõpuks kuuleme sageduse 16 000 puhul ainult 16 eri tugevusega heli. Üldse võib meie kõrv tabada rohkem kui pool miljonit erisuguse kõrguse ja tugevusega heli. See pool miljonit on ainult lihtsad helid. Lisage sellele loendamatud kooskõlad kahest või rohkem toonist ning te saate mulje selle heli-

maailma mitmekesisusest, milles me elame ja milles meie kõrv nii vabalt orienteerub. Seepärast peetakse kõrva silma kõrval kõige tundlikumaks meeleorganiks.

4. Kas kurdid võivad kuulda?

Kõrva, nagu iga teistki organit, ohustavad mitmesugused haigused. Haiguse liigist olenevalt võib kuulmine nõrgeneda või täiesti kaduda. Inimesed kuulevad mõnikord ainult teatava kõrgusega helisid. On haigusi, mille puhul kõrva kuulemiskõrgus kaotab paindumise ning muutub vähe liikuvaks; siis lakkab inimene kuulmast madalaid helisid. Vastupidi, sageli kaob sisekõrva haigestumise algperioodil võime tajuda kõrgeid helisid. Võib aga olla ka nii, et inimene kuuleb ühe kõrgusega helisid ja ei kuule teis-suguse kõrgusega helisid. Nii on see kuulmisnärvi haigestumisel.

Inimest peetakse kergelt kurdiks, kui talle on tarvilik helilaine rõhu tuhandekordne suurendamine võrreldes normaalsele kõrvale vajaliku rõhuga. Kui kuulmiseks on vaja kümme tuhat korda suuremat rõhku, siis kuulub inimene «kõva kuulmisega» isikute hulka, ta kuuleb halvasti kõnelust. Kui aga heli tajumiseks on vaja suurendada rõhku sada tuhat korda, siis vajab selline kõrv juba erilisi heli tugevdavaid aparate.

Inimene on täiesti kurt, kui ta kõrv nõuab rõhu suurendamist rohkem kui miljon korda. Normaalse kõrv tajub häälelaine sellise rõhu puhul mitte enam häält, vaid valu.

Nõrgenenud, seda enam aga täiesti kaotatud kuulmine on raske haigus ja teadlased töötavad juba ammu selle kallal, et puuduliku kuulmisega inimeste kannatusi kergendada.

Neil juhtudel, kui kuulmist pole võimalik taastada ravimisega, püütakse seda saavutada häälelaine tugevdamisega. Sel eesmärgil kasutatakse tugevdamisaparaate — proteese. Varem piirduti spetsiaalsete ruuporite, lehtrite, sarvede ja kõnetorude kasutamisega. Nüüd kasutatakse sageli elektrilisi tugevdajaid. Sageli on need aparaadid nii väikesed, et mahuvad otse kõrva, kuulmekile ette.

Viimasel ajal tehakse katseid «õpetada» kuulma täiesti kurte. Tõenäoliselt on paljud teist tundnud liiga tugevate häälte puhul kõrvades valu. Selliseid hääli võib kompida naha pealiskihiga, näiteks häälelainele vastu asetatud sõrmedega. Ka meie kõrva võib ju vaadelda omamoodi kompimisorganina, mis on väga peenelt ehitatud. Tekib küsimus, kas ei saa kurtidel teha kõrvade tööd kompimis-meele ülesandeks? Hiljuti teostati vastavaid uurimisi. Tavalised hääled võeti mikrofoniga vastu, tugevdati ja anti võngetena edasi spetsiaalsete telefonide membraanidele. Puudutades neid membraane sõrmedega, tajuvad kurdid kompimisega võngete sagedust ja tugevust, s. o. teiste sõnadega seda, mis määrab kindlaks heli kõrguse ja tugevuse.

Kurdid hakkavad pärast vastavat õppust kuulma mitte ainult üksikuid helisid, vaid ka kõnet!

IV. Hääl ruumis.

1. Hääle kiirus.

Mustade suitsupilvede taustal on näha valge aurujuga. Mõne aja pärast on kuulda vilet. Masinist annab signaali rongi lähenemisest.

Tulesähvatus läbib ööpimedust, mõne sekundi järel kandub nägijani suurtükipauk.

Vaadolge kaugelt puusepa töötamist. Te märkate kergesti, et kui puusepp tõstab kirve järgmiseks löögiks, on kuuldav alles eelmise löögi hääl.

Kõik see veenab meid selles, et valgus ja hääl levivad erineva kiirusega. Valgus jõuab häälest ette ja seepärast enne näeme, pärast aga kuuleme sama sündmust. Valguse kiirus on looduses kõige suurem kiirus: see võrdub 300 miljoni meetriga ühes sekundis. Õhus on hääle kiirus vaid ligi 340 meetrit sekundis, s. o. 900 000 korda väiksem.

On huvitav märkida, et vintpüssi rauast väljalendamisel on kuuli kiirus hääle kiirusest peaaegu kolm korda suurem. Kui kuul lendab sirgjoones, s. o. sama teed mööda, kui levib häälgi, siis jõuab ta lasu häälest ette. Sel juhul ei saa hääl olla hoiatuseks. Teine lugu on haubitsaist või miinipildujaist tulistamisel. Siin lendab mürsk kõverjoont mööda (suurema nurga all maapinnast möötes); seega pikeneb tema tee märgini ja väljalaskepauk võib ennetada mürsku.

Häälelaine liikumist võib jälgida isegi silmaga! Kujutlege, et läheb pikk kolonn inimesi orkestriga eesotsas. Kõik sammuvad muusika taktis. Kui aga vaadata kõrvalt, on kerge märgata, et viimased read ei pea esimestega sammu. See toimub sellepärast, et tagumiste ridadeni kanduvad orkestrihelid hiljem.



Joon. 10. Hääle kiiruse mõõtmine vees. Selles paadis istuv inimene tekitab häält.

Kuid hääle kiirus on muutlik suurus. Isegi ühes ja samas aines pole ta alati ühesugune. Nii läbib hääl õhus 20-kraadise külma puhul 318 meetrit, 20-kraadise soojuse puhul aga 342,5 meetrit sekundis. Erisugustes tahketes kehaes ja vedelikes levib hääl samuti erineva kiirusega.

Hääle kiirust vees mõõdeti esmakordselt 1827. aastal. Ühe paadi pardalt lasti nõõri otsas vette kell (joon. 10).

Teine paat oli esimesest 13 847 meetri kaugusel (joon. 11). Sel momendil, kui esimeses paadis haamer lõi vastu kella, teostati seal samaaegselt ka püssirohu-plahvatus. Teises paadis täheldas inimene plahvatuse momenti ja märkis ära kellaheli saabumise momendi.



Joon. 11. Hääle kiiruse mõõtmine vees. Siin võtab inimene häält vastu.

Sel viisil arvutati välja aeg, mille jooksul häälelaine läbis vees paatidevahelise kauguse. Osutus, et vees on hääle kiirus neli korda suurem kui õhus. Ühe sekundiga läbib hääl vees 1435 meetrit.

Enamikus tahketes kehaes on hääle kiirus veel suurem. Näiteks ulatub see puidus 4800 meetrini, terases 5000 meetrini ja klaasis 5600 meetrini sekundis.

Erineva kõrgusega helid levivad ühes ja samas aines

ühesuguse kiirusega. Kui see poleks nii, siis ei oleks võimalik muusikat kaugelt kuulata. Ühed helid ennetaksid teisi ja orkestrist kaugemal oleks sujuva meloodia asemel kuulda ainult müra.

Mõned suguharud, näiteks ekvatoriaalse Aafrika suguharud, kasutavad veel praegugi häält sidepidamiseks. Selleks on kõige sagedamini tarvilisel erilised trummid. Ühes kohas kuulnud leppelised trummisignaali antakse kohe edasi. Sel viisil saab kogu suguharu mingisugusest sündmusest teada.

See viis nõuab aga palju aega. Arvutame näiteks välja, millise kiirusega võib helisignaali Moskvast Leningradi üle anda. Kaugus nende linnade vahel on 640 kilomeetrit. Võtame arvestuse aluseks, et hääl läbib õhus ühes sekundis 340 meetrit.

Kui suudaksime hüüda nii kõvasti, et hääl kanduks Moskvast Leningradi, siis kuuldaks meid 31 minuti pärast. Kuid kaugusega nõrgeneb hääl kiiresti ning muutub varsti kuuldamatuks. Et anda häält edasi sellisele suurele kaugusele, on vaja teda teel uue jõuga taastekitada sedamööda, kuidas hääl vaibub. Selleks tuleks üksteisest teatavale kindlale kaugusele paigutada inimesed. Igaüks neist, kuuldes Moskvale lähemal seisva naabri signaali, peab selle kohe üle andma naabrile Leningradi suunas. On selge, et selliseks üleandmiseks kulub tunduvalt rohkem kui pool tundi.

Pärast seda, kui leiutati telegraaf, telefon ja raadio, kaotas hääle suurtele kaugustele üleandmise selline viis mõtte.

Tänapäeva sidepidamisviisid on rajatud sellele, et hääl antakse suurtele kaugustele üle elektrivoolu abil kas mööda juhtmeid (telefon) või ruumis praktiliselt silmapilkselt levivate elektromagnetiliste lainete abil (raadio).

Kui inimene kõneleb elektrivoolu ahelasse lülitatud mikrofone, põhjustavad häälained elektrilisi võnkeid. Need võnked liiguvad juhtmete kaudu või ruumis valguse kiirusega. Vastuvõttejaam muudab saadud signaalid uuesti hääleks. Seejuures läbivad häälained üsna lühikese tee: kõnelevast inimesest mikrofonini ja telefonitorust või reprodutorist kuulaja kõrvani. Kogu ülejäänud vahemaa ulatuses hääl nagu «kanduks edasi» elektromagnetiliste lainetena. Tänu sellisele ülekandmisviisile kandub hääl momentaanselt tuhandeile kilomeetreile. (Lähemalt vt. V. D. Ohhotnikovi raamatut «Tardunud helide maailmas», Tallinn—Tartu, 1950).

Kujutlege kaht inimest, kellest üks kuulab kontserti Moskva konservatooriumi saalis, teine aga, asudes kuski Kaug-Idas, raadio kaudu kodus. Kes neist kuuleb muusikat varem?

Kui esimene asub orkestrist 15—20 meetri kaugusel, siis jõuab hääl õhu kaudu temani umbes 0,05 sekundi pärast.

Sama hääl aga, ülekantuna mikrofone kaudu raadiojaama ja seejärel raadiolainete abil maailmaruumi, kihutab kiirusega 300 000 kilomeetrit sekundis ning 0,05 sekundi pärast on ta kuski Vaikse ookeani kohal või Ameerikas. Meie kuulajani jõuab ta ligikaudu poole jooksul mainitud ajast. Ja tuleb välja nii, et raadiokuulaja 7000—8000 kilomeetri kaugusel kuuleb muusikahelid 0,02—0,03 sekundi võrra varem kui kontserdisaalis viibiv inimene.

2. Millal on kuulda kaugele ja millal pole kuulda lähedale.

Et kõnet, laulu või muusikat paremini kuulda, tuleme või istume hääleallikale lähemale, sest igaühele on selge, et lähedal on hääl kuuldavam kui kaugel. Kuid, nii kum-

maline kui see ka on, see pole alati õige! Juhtub ka nii, et hääleallikale lähemal asuvais kohtades ei ole häält üldse kuulda, kaugel aga on kuulda hästi. On teada näiteks selline juhtum. Kord toimus Inglismaal ühes sõjatehases hiiglasuur plahvatus. Tehasest 180 kilomeetri kaugusel oli plahvatus selgesti kuuldav, aga tehasest kõigest 30 kilomeetri kaugusel asetsevate asulate elanikkudel polnud juhtunud tinnetusest vähimatki aimu.

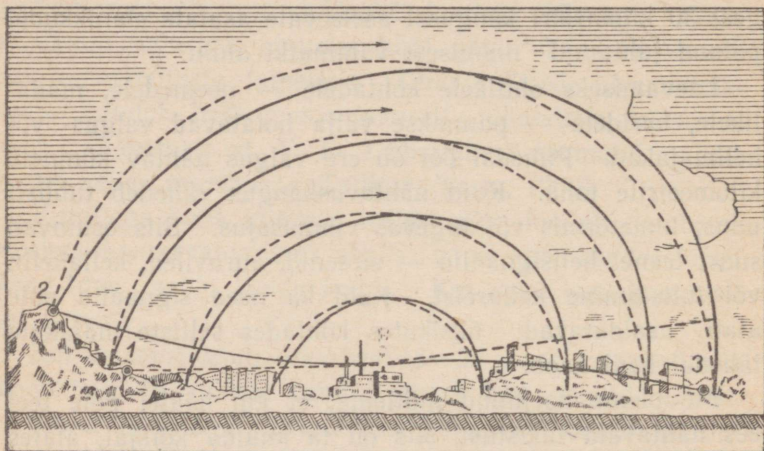
Laevamiseks ohtlikele kohtadele — neemedele, madalikele, karidele — pannakse välja hoiatavad valgus- või helimajakad. Pimedal ööl on ere valgus nähtav kümnete kilomeetrite taha. Kuid nähtavuskaugus väheneb tublisti udus, lumetormis või tugevas vihmajärges. Siis osutavad suurt teenet helisignaaliid — sireenid, auruviid, kellahelin või tulistamine kahureist. Kuid ka need signaaliid pole alati usaldatavad: üksikutes kohtades selliste majakate lähedal hääli kaob.

Me oleme harjunud mõtlema, et kui häälel pole teel ees nähtavaid takistusi, siis on ta kuulda kõikjal, alates hääleallikast ja lõpetades kaugusega, kus häälelaine nõrgeneb niivõrd, et lakkab kõrvale mõju avaldamast. Kuid see pole alati õige. Miks kaob hääli mõnedes kohtades oma teekonnal ning tekivad «vaikusvööndid»?

Osutub, et hääle suhtes pole õhk alati ühesugune. Teatavasti on õhk alatises liikumises. Tema liikumise kiirus eri kihtides pole ühesugune. Maapinnale lähedastes kihtides puutub õhk kokku maapinnaga, hoonetega, metsadega, ning seepärast on õhu liikumise kiirus siin väiksem kui ülal. Seetõttu ei levi ka häälelaine all ja ülal ühesuguse kiirusega. Kui õhuliikumine, s. o. tuul, on hääle levikusuunale päri, siis ajab ta häälelainet ülemistes õhukihtides kiiremini edasi kui alumistes. Vastutuule puhul levib hääli ülal aeglasemalt kui all. Selline erinevus kii-

rustes avaldub häälelaine kujus. Hääel ei levi laine kuju moonutuse tulemusel sirgjooneliselt. PärITUules paindub häälelaine leviku piir allapoole, vastutuules — ülespoole.

Joonisel 12 on kujutatud häälelainete teekondi ja kujusid. Tuul puhub vasakult. Tehasest paremal on auru-



Joon. 12. Vabrikuvile levimine päri- ja vastutuult. Punktirjooned näitavad leviva häälelaine kuju tuule puudumisel; pidevad jooned näitavad häälelaine kuju vasakult paremale puhuva tuule puhul.

vile hääel kuuldav mistahes kohas maapinnal. Kui aga seista vasakul, number 1-ga tähistatud kohal, siis möödub häälelaine pea kohalt ja viilet pole kuulda.

Seda hääle omadust kasutavad sageli jahimehed saagi jälitamisel. Nad püüavad sellele läheneda vastutuult. Siis ei ehmata sammude sahin looma, häälelaine tõuseb maapinnalt üles ja möödub loomast tema pea kohal. Meenu-tage, kuidas metsas kõndides mõnikord lendavad linnud üles otse jalgade alt. Suurele metsloomale või puu otsas

istuvale linnule on aga palju raskem läheneda — ülespoole tõusev laine kannab tunduvalt kaugusele meie lähenemise üsna nõrgadki hääled.

Kui häälelaine kulgeb maapinna lähedal, siis nõrgeneb ta hõõrdumise tõttu üsna tugevasti ning muutub peatselt kuuldamatuks. Tiheda lume või vaigse vee tasane pind tekitab vähem hõõrdumist kui rohuga, põõsastega või ehitistega kaetud maa. Seepärast on näiteks aerulaksatused vee kohal kaugemale kuulda.

Paljud on veendunud, et vastutuult on häääl alati kuuldav vähemale kaugusele kui pärituult. Näitame, et ka see pole alati nii.

Pöördume sama joonise 12 juurde. Asugu üks inimene hääleallikast vasakul, kuid kõrgendikul (umbes 2-ga tähistatud kohal), teine aga seisku paremal samal kaugusel tasasel maal (koht number 3 juures). Vasakul seisjani kanduvad lained ülemiste õhukihtide kaudu, kus häääl nõrgeneb tähtsusetul määral, kuigi kulgeb vastutuult. Paremal pool aga kuuleb inimene nõrgemat hääält, sest hõõrdumine maapinna vastu summutab seda tugevasti.

Hääle kiirusega võrreldes on tuule kiirus selleks liiga väike, et häälelaine leviku kaugust oluliselt mõjustada. Ja tõesti, 20—25 meetrit sekundis — see on tugev tuul, hääle kiirus on aga ligikaudu 340 meetrit sekundis. Nii siis levib häääl isegi vastu kõige tugevamat tuult peaaegu samasuguse kiirusega nagu vaigse ilmaga.

On veel üks põhjus, miks häääl levib õhus ebaühtlaselt. See on eri õhukihtide erinev temperatuur. Maapind soojeneb kuumal päikesepaistelisel keskpäeval tugevasti ning soojendab ka endale lähedasi õhukihte. Ülemised kihid on aga külmemad. Kuid te juba teate, et soojas õhus levib häääl kiiremini kui külmas. Ebaühtlaselt soojenenud

õhukihid muudavad hääle suunda samuti nagu tuul. Päeval paindub häälelaine ülespoole, sest rohkem soojenenud alumistes kihtides on hääle kiirus suurem kui ülemistes kihtides. Öhtul, kui maapind ja ühtlasi ka lähedal asuvad õhukihid kiiresti jahtuvad, muutuvad ülemised kihid alumistest soojemaks, hääle kiirus on suurem ülemistes kihtides ning häälelaine leviku piir paindub allapoole. Seepärast on õhtuti tasasel kohal kuuldavuse ulatus suurem.



Joon. 13. «Vaikusvöönd».

Pilvi vaadeldes võib sageli märgata, kuidas nad erinevates kõrgustes liiguvad mitte ainult erineva kiirusega, vaid mõnikord ka erinevates suundades. Täheleb, et erinevatel kõrgustel maapinnast võib tuulel olla erinev kiirus ja suund. Sellistes õhukihtides muutub kihist kihti ka häälelaine kuju. Kulgegu hääl näiteks vastutuult. Sel juhul peab häälelaine leviku piir painduma ning suunduma ülespoole. Kui aga häälelaine oma teel kohtub aeglaselt liikuva õhukihtiga, siis muudab ta uuesti oma suunda ning võib taas pöörduda maapinnale. Sel puhul tekibki ruumis sellest kohast alates, kus häälelaine tõuseb kõrgusse, kuni selle kohani, kus ta pöördub tagasi maapinnale, «vaikusvöönd» (joon. 13).

3. Millal seinad sosistavad.

Kui teil kunagi on tulnud minna mööda pikka pimedat koridori, siis olete tõenäoliselt pööranud tähelepanu ühele üsna huvitavale asjaolule. Lähenedes koridori lõpule või selle käanakule nagu tunneksite juba kaugusest seinat, mis teie teed tõkestab. Kes teid siis hoiatab tõkkele lähenemisest? Osutub, et selle hoiatuse annab teile teie oma kuulmine. Tuletage meelde, et sellistel juhtudel püüate tavaliselt midagi öelda, kõhida või käies kompsida jalgadega. Kuuldes nende häälte muutumist ja mitte järele mõeldes selle nähtuse põhjuse üle, hindate vahemaad, mis lahutab teid tõkkest.

Kuidas see toimub?

Samuti nagu valguskiir peegeldub peeglist, nii peegeldub oma teel seisvatelt suurematelt pindadelt ka häälelaine. Et hääl jõuaks seinani ja pöörduks peegeldatuna meieni tagasi, selleks kulub teatav aeg. Kui peegeldav pind on kaugel, siis on hääle kulgemise aeg samuti suhteliselt suur; kui see pind aga asub lähedal, pöördub hääl rutem tagasi. Kuulates neid peegeldunud hääli hindamegi vahemaad, mis lahutab meid seinast või muust tõkkest. Eriti tugevasti on see tunne arenenud pimedatel. Sageli määravad esmakordselt ruumi tulnud pimedad inimesed pärast mõnda lauset kuulmise järgi küllaltki täpselt kindlaks ruumi suuruse.

Me eraldame lühikese kestusega üksikuid hääli sel juhul, kui üks hääl järgneb teisele mitte sagedamini kui $\frac{1}{15}$ sekundi järel. Kui üksikute häälte arv on sekundis suurem kui 15, siis näivad need meile ühe katkematu häälena. Põristades trummi nii, et üks löök järgneks teisele sagedamini kui $\frac{1}{15}$ sekundi järel, ei kuule me üksikuid lööke, need liituvad üheksainsaks hääleks. Kui

peegeldunud häälelaine pöörduv meieni tagasi kiiremini kui $\frac{1}{15}$ sekundi järel, siis liitub ta hääleallikast väljuva esmase lainega, muutes viimase tugevust. Seda muutust märgates hindamegi kaugust seinani.

Kui kaugel peab olema sein, et esmane ja peegeldunud hääl liituksid? Seda on kerge arvutada. Hääl läbib ühes sekundis 340 meetrit. $\frac{1}{15}$ sekundi vältel läbib ta $340 : 15 = \text{ca } 23$ meetrit. Et hääl teeb kaks otsa — seinani ja tagasi — siis ei ole sein kaugemal kui $23 : 2 = 11,5$ meetrit.

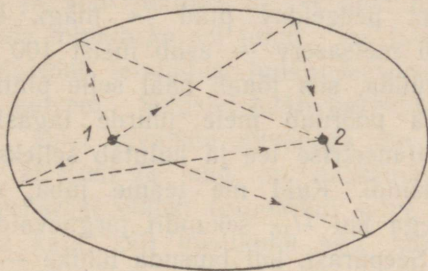
Enne, kui häälelaine täiesti vaibub, peegeldub ta väikeses ruumis sadu kordi seintelt, põrandalt ja laelt. Sel puhul jõuab viimane peegeldatud hääl meie kõrvani mõne sekundi möödumisel. Kogu selle aja kestel on kuulda järk-järgult vähenev kõmin. Sellega seletubki tühjade ruumide kõmisevus. Proovides sellistes tubades laulda või deklameerida, teevad inimesed sageli oma hääle tugevusest ebaõige järelduse. Võrrelge muljet oma häälest, kui te laulate tühjas toas ja seejärel toas, mis on sisustatud rohke mööbliga, üleni kaetud vaipadega ja eesriietega, — ning te veendute selles.

Häälelainete peegeldumist võetakse tingimata arvesse teatrite, kinode, kultuurimajade ja teiste ühiskondlike hoonete ehitamisel. Nii näiteks tehakse hääle mittesoovitavate peegelduste vältimiseks teatrisaalide seinad ja laed mitte siledad ning ühetasased, vaid nad kaetakse häält neelava materjaliga, riputatakse üles kardinaid, eesriideid; neid ruume sisustatakse pehme mööbliga, ehitatakse neisse mitmesuguseid rõdusid ja nišše. Sellised esemed neelavad tugevasti häält ja ei peegelda teda. Suurele orkestrile määratud saal on tavaliselt vähesobiv koosolekuiks. Sellistes saalides muutub kõne kas vähe arusaadavaks või ebaloomulikult kõlatuks. Asjatult püüavad mõned kõne-

lejad neil juhtudel karjuda, soovides olla kõigile kuulda-
vad. See ei anna mingeid tulemusi. Hääle tugevuse suure-
nemisega kasvab ka segavate peegeldunud häälte tugevus.

Hääle mõnedes ruumides peegeldumise nähtus viib
huvitavatele tulemustele. Selle kohta kaks näidet.

Kui Londonis asuva St. Paul'i kiriku sisemise seina
juures sosinal kõnelda, siis võib seda sosinat kuulda mis-
tahes kohas, isegi selle suure hoone teises otsas; seejuu-



Joon. 14. Hääle levimise skeem «Dionysiose kõrva» nimelises koopas.

res on vaja ainult seista seinale küllalt lähedal. Tekib
mulje, nagu sosistaksid seinad ise. See seletub sellega,
et seintel peegeldunud hääle lained kogunevad uuesti
seinte lähedale, jäädes seejuures niivõrd tugevaks, et neid
võib kuulda.

Teine näide. Ühe Itaalia linna lähedal on koobas;
seda nimetatakse «Dionysiose kõrvaks» (joon. 14). Selle
koopa võlvistiku erilise kaju tõttu on temas kaks imestus-
väärset kohta; need on märgitud joonisel numbritega
1 ja 2. Kõik, mis te kohal 1 asudes kõnelete, on nii sel-
gesti kuulda kohal 2, et võib mõelda, nagu kõneldaks
nimelt siin. Vahepealsetes kohtades, mis asuvad kohale 1
tunduvalt lähemal, pole üldse midagi kuulda. Selle esi-

mesel silmapilgul kummalisena näiva nähtuse lahendus on selles, et kohast *I* tulevad häälelained peegelduvad võlvistikult nii, et nad kõik kogunevad uuesti kohta *2*.

4. Nähtamatud tõkked.

Hääle peegeldumine on täheldatav ka vabas õhus, kuigi märksa harvemini kui kinnistes ruumides. See on kõigile tuttav kaja. Kuidas siis kaja tekib?

Oletame, et peegeldav pind — mägi, kalju, suure maja sein või metsaserv — asub meist 100 meetri kaugusel. Kui hüüda, siis jõuab hääle selle pinnani, peegeldub temalt ja pöördub meie juurde tagasi. Seejuures läbib hääle 200-meetrise tee ja kulutab selleks aega veidi üle poole sekundi. Kuid me teame juba, et üksteisele suurema vahega kui $\frac{1}{15}$ sekundit järgnevaid hääli kuuleme eraldi. Seepärast, kui lausuda lühike — ühe-, kahe- silbine sõna, võib kuulda selle täielikku kordamist. Kui aga lausuda pikem sõna, näiteks *b a r r i k a a d i d*, siis jõuavad esimesed kaks silpi meie juurde tagasi sel momendil, kui lausume viimaseid silpe. Et aga peegeldunud hääle on nõrgem, siis me neid ei kuule. Veerand sekundit pärast viimase silbi *d i d* lausumist saabub peegeldunud silp *k a a*, veel veerand sekundit hiljem jõuab tagasi ka silp *d i d*. Tulemusena kuuleme selgesti: — *k a a - d i d*.

Kui peegeldavaid pindu on palju ja nad asuvad mitmesugustel kaugustel, saabuvad kaugematelt pindadelt peegeldunud lained hiljem ning siis võib kuulda mitmekordset kaja. Selline mitmekordne kaja on näiteks müristamine. Elektrilahenduse — välgu puhul kõlab õhus prahvatus; selle mitmekordne peegeldumine mitmesugustelt pindadelt tekitabki grandioosse kaja — kõuemürina.

Kaja oleme harjunud kuulma metsaserval, kaljude või mägede lähedal, s. o. seal, kus hääle teel on nähtav tõke. Kuid kaja tekib ju ka tasandikul, lagedal väljal, kõrves ja merel, kus häälel ei ole kindlaid tõkkeid. Kuidas sele- tada sellist mõistatuslikku kaja?

Selgub, et hääel võib peegelduda isegi õhult! Nii toi- mub sel juhul, kui häälelaine kohtab oma teel teise temperatuuriga või teise kiirusega õhukihte. Kujutleme, et ta kohtab soojemat õhukihti. Otsekohe muutub hääle- laine suund ja võib juhtuda nii, et hääel pöördub lõpuks tagasi. Sama toimub ka sel juhul, kui hääel kohtab õhu- kihti, mis sisaldab teissugust hulka veeauru, s. t. on kas niiskem või kuivem. Sellistel häält peegeldavatel pilvedel pole midagi ühist tavaliste pilvedega või uduga. Õhus leidub neid alatiselt ja nad on nähtamatuiks tõkkeiks häälele. Seepärast võibki tasandikul selge ilmaga mõni- kord kuulda kaja. Nii imelikuna aga, kui see teile ka näib, takistavad vihm, lumi ja udu nende ühtlase jao- tuse puhul õhus üsna vähesel määral hääle levikut.

5. Pimedad luurajad.

Kui hüütakse teie nime, pöörate pea hüüdja poole. Tavaliselt määrate kergesti kindlaks hääleallika asukoha suuna. Normaalse kuulmisega inimene võib selle suuna kindlaks määrata kuni 4-kraadise täpsusega. See tähen- dab, et asudes hääleallikast 100 meetri kaugusel, võib inimene näidata teed hääleallika juurde kuulmise järgi kõigest 6—7-meetrise kõrvalekaldumisega. Kauguse suu- renemisel suureneb ka viga kindlaksmääramises. Kui laskmine toimub näiteks kilomeetri kaugusel, võib kuul- mise järgi määrata kahuri asukoha kindlaks täpsusega

60—70 meetrit paremal või vasakul kahuri tõelisest asukohast.

Suunda üles või alla määrame kuulmise järgi tunduvalt halvemini. Siin avaldab silmanähtavalt mõju praktika puudumine seda liiki tegevuse alal.

Mida on vaja omada, et olla võimeline leidma hääleallikat kuulmise järgi?

Osutub, et on vaja omada kaht kõrva! Inimene, kes on ühest kõrvast kurt, määrab suuna kindlaks suure raskusega ja ebatäpsemalt. Selles on kerge veenduda. Sulgege üks kõrv ja mõlemad silmad ning keerelge veidi aega ühel kohal. Las pärast seda keegi hüüab teid. Silmi avamata näidake käega kutse suunas — ja enamikul juhtudel te eksite rängalt. Meie võimet määrata kindlaks suunda hääleallikale nimetatakse *binauraalseks efektiks* (binauraalne tähendab «kahekõrvaline»).

Seda nähtust seletatakse kahe põhjusega. Kui hääleallikas asub paremal, siis kuuleme parema kõrvaga tugevamat häält kui vasakuga. Pea nagu varjaks vasakut kõrva häälelaine sattumise eest sellesse (see on õige peamiselt ainult kõrgete helide suhtes; madalad helid kulgevad ringi ümber pea nagu ümber igasuguse väikese takistuse ning satuvad vasakusse kõrva peaaegu nõrgendama tuina). Seepärast satub ühte kõrva rohkem häält, teise aga vähem. Ühe kõrvaga kuuleme valjemini, teisega tase mini. See valjuse erinevus töötatakse meie ajus ümber teatava kindla suuna aistinguks. Me pöörame pead seni, kuni mõlemad kõrvad kuulevad ühesuguse valjusega. See moment saabub aga siis, kui hääleallikas on otse meie ees.

Siin on kohane tuua huvitav näide sellest, kuidas madalate helide lained kulgevad ringi ümber takistuste,

mis seisavad nende teel. Tarvitseb vaid suurest kärarikast tänavast pöörduda põiktänavasse, kui müra iseloom korrapealt muutub. Teravad läbitungivad huilged, tilinad, hüüded ja metallilõgin peegelduvad osaliselt majade seinelt, osaliselt neelduvad neis ning sumbuvad, madalad helid aga kulgevad vabalt ümber majade ning pääsevad kitsastesse kõrvaltänavaisse, täites neid ühetasase summutatud müraga.

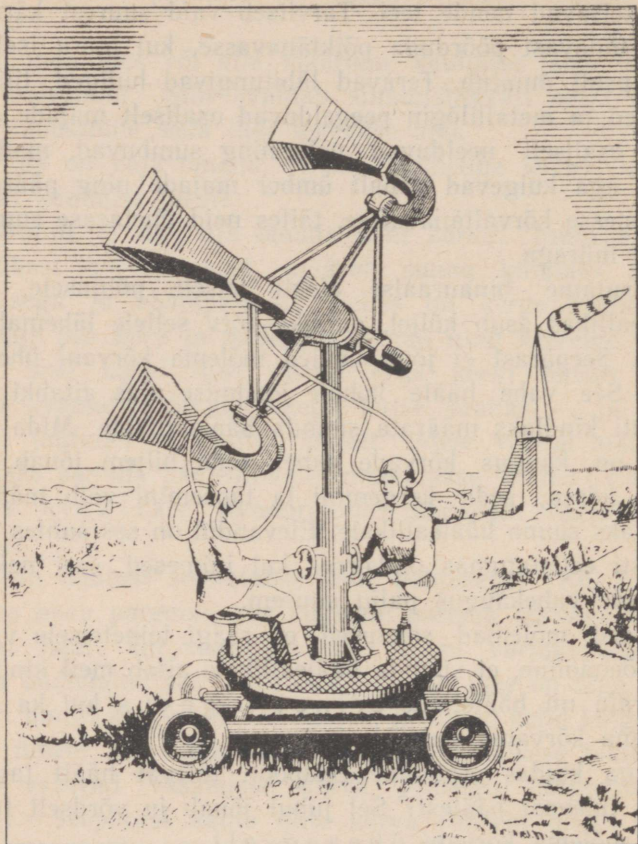
Osutame binauraalse efekti teisele põhjusele. Kui hääleallikas asub küljel, on üks kõrv sellele lähemal kui teine. Seepärast ei jõua hääled mõlema kõrvani üheaegselt. See vahe hääle kohale jõudmise ajas aitabki meil samuti kindlaks määrata suunda hääleallikale. Mida suurem on kaugus kõrvade vahel, seda hiljem jõuab hääl teise kõrva, seda kergemini ja täpsemini võib määrata kindlaks suuna hääleallikale. Elevantid on ses suhtes nähtavasti eelistatumas olukorras kui inimesed, sest neil on kõrvade vahekaugus palju suurem.

Need mõlemad seletused ei räägi teineteisele vastu. On tõenäoline, et suunda hääleallikale aitab meil kindlaks määrata nii häälelaine erinev tugevus kui ka selle mõlema kõrvani jõudmise erinev aeg.

Aga kuidas eraldame eestpoolt tulevat häält tagantpoolt tulevast häälest? Sel juhul jõuab ju võrdselt tugev hääl mõlema kõrvani üheaegselt.

Vaadolge, kuidas inimene midagi kuulab. Eelkõige kalduub ta pea kergelt küljele ja pöördub seejärel veidi kõrvale. Selle asendiga saavutatakse nii erinevus hääle tugevuses kui ka erinevus hääle kõrvade juurde jõudmise ajas, s. o. just see tingimus, mis võimaldab paremini määrata kindlaks suunda.

Eriti täpselt määravad suuna heliallikale kindlaks pimedad. Esimese maailmasõja ajal võeti näiteks Inglise



Joon. 15. Häälepüüdja.

armesse vaenlase lennukite ja suurtükipatareide avastamiseks pimedaid kuulajaid-luurajaid.

Binauraalne efekt on aluseks ka häälepüüdjate ehitusele (joon. 15). Neli paarikaupa ühendatud ruuporit võimaldavad teostada peilimist, s. o. suuna kind-

laks määrast nii horisontaal- kui ka vertikaal-
tasapinnal. Nende tasapindade löikejoon annab suuna len-
dava lennuki asukoha poole.

6. Mittekuuldavad hääled.

Kui mäekristallist ehk kvartsist löigata teataval viisil
välja ühetasane plaadikene, selle vastastikused tahud hõbe-
tada ning raadiosaatjaga ühendada, siis plaadike apa-
raadi töö taktis kord pakseneb, kord õheneb. Plaadikese
tahud võnguvad samuti nagu heliseva helihargi harud.
Plaadikest ümbritsevas keskkonnas tekivad vahelduvad
hõrendused ja tihendused, s. o. nähtus, mida me nimetame
häälelaineks. Kasutades vahelduvvoolu allikaid või suur-
sagedusgeneraatoreid, võib kvartsplaadikese panna ühes
sekundis võnkuma miljoneid ja sadu miljoneid kordi. On
selge, et seejuures tekkiv häälelaine asub meie kõrva
kuulmispiiridest kaugel väljas. Sellise võnkesagedusega
häält me ei kuule, seda nimetatakse ultrahääleks.

Erinevalt kuuldavast ja ühtlases keskkonnas kõigis
suundades levivast häälest kulgeb ultrahäääl kitsa kiirena
ning seda võib hääleallikast saata soovitavas suunas.

Vedelikes ja tahketes kehaes levib ultrahäääl kaugusest
peaaegu sõltumatu tugevusega. Öhus kahaneb tema tuge-
vus kauguse suurenedes kiiresti.

Need ultrahääle märkimisväärsed omadused on võetud
aluseks rea väärtuslike aparaatide ehitamisel. Nende apa-
raatide hulgast on saanud laialdase leviku osaliseks nii-
nimetatud ultrahääle lokaatorid ja defek-
toskoobid.

Ultrahääle lokaator koosneb ultrahääle kiirgajast ja
sellega seoses olevast keerulisest vastuvõtte-seadeldisest.

Kiirgaja saadab teatavate kindlate vaheaegade järel

välja ultrahääle lühikesi signaale. Need signaalid kulgevad otsejoones seni, kuni nad kohtavad oma teel mingisugust takistust. Takistusele sattunud signaalid peegelduvad ja pöörduvad osaliselt tagasi lähtekohani samuti, nagu pöörduvad meie juurde tagasi kaja. Teades ultrahääle levimise kiirust ja aega, mis on möödunud signaali saatmise momendist kuni selle tagasipöördumiseni, on kerge arvutada vahemaad esemeni, millelt ultrahääl peegeldus. Selliseid lokaatoreid monteeritakse tavaliselt laevadele. Nende abil määratakse merede ja ookeanide sügavust, avastatakse madalikke, karisid ja teisi laevamiseks ohtlikke kohti. Sõjaajal otsitakse vaenlase allveelaevu ja miine. Kalapüügilaevadel aitab lokaator «kobades» leida kalaparve.

Ei ole enam kardetav sõita öösel ja udus — aparaat näitab ohutut teed. Kunagi enam ei kordu tragöödia, mis 1912. aastal tabas üht suurimat ookeaniaurikut maailmas — «Titanic'ut», mis jooksis otsa ujuvale jäämäele ning vajus põhja nii kiiresti, et mitmest tuhandest reisi-
jast ja meeskonnast pääses vaid väike osa.

Palju kasu toovad tehnikas prof. Sokolovi leiutatud defektoskoobid, mis võimaldavad ultrahääle kaasabil avastada puudusi metalltoodetes.

Osutame veel ultrahääle kasutamisele arstiteaduses.

Tihti aitab haiget südametegevuse nõrgenemisel kamper. Arstid süstivad sellistel juhtudel kamprilahust tavaliselt naha alla. Kuid häda on selles, et kamper lahustub halvasti ja seepärast viibib tema toime teatavaks ajaks. Mõnikord võib see viivitus saada inimesele saatuslikuks. Kamprit vahetult verre süstida ei tohi: tema lahustumata osakesed võivad ummistada veresooneid ja siis saabub kiire surm. Kuid tarvitseb vaid kampri ja vee segu kiiritada

ultrahäälega, ja kampriosakesed tehakse nii peeneks, et neid võib ohutult süstida haige tõmbsoonde.

Raske on loetleda kõiki neid alasid, kus praegu leiab kasutamist ultrahäääl. Seda kasutatakse üha sagedamini laboratooriumides ja mitmesugustes tootmisharudes. Ja kui veel hiljuti näis, et teaduses häälest on kõik uuritud ja jääb üle võib-olla ainult täpsustada mõningaid seadusepärasusi, siis kerkis ultrahääle avastamisega teaduse ette palju uusi keerulisi küsimusi.

Lõpuks toome ühe huvitava näite ultrahääle kasutamisest loomade poolt.

Ammu paelus bioloogide huvi nahkhiirte lennu iseärasus. Nahkhiir näeb halvasti. Sellest hoolimata võib ta pimedas kiiresti ja vabalt lennata, pörkamata seejuures isegi selliste vähemärgatavate takistuste vastu, nagu ülestõmmatud traadid. Isegi täiesti pimedaks tehtud nahkhiir säilitab võime mööduda oma teel asetsevatest takistustest. Tõsi küll, nahkhiir ei avasta mitte igasugust tõket; näiteks võib ta pörgata vastu juustega kaetud pead, pehmet mööblit, kardinaid, drapeeringuid ja muud. Selle omapärase nähtuse lahendus osutus mõnevõrra ootamatuks. Nahkhiir teeb lennul mitte ainult iseloomulikku käehadat häält, vaid ka veel ultrahäält, mida ta saadab annuste kaupa oma liikumise suunas. Seejuures püüab ta peegeldunud laine kinni oma laiade kõrvalestadega. Kui peegeldunud signaali ei ole, jätkab nahkhiir rahulikult oma lendu. Kui ta aga püüab kinni peegeldunud laine, tähendab see, et teel on ees mingisugune takistus. Mida lähemale nahkhiir takistusele jõuab, seda sagedamini saadab ta välja oma «luurajaid», vahetades seejuures vaba tee otsinguil lennu suunda.

Millisel viisil avastasid teadlased nahkhiire selle saladuse?

Erilise aparadi abil saadeti lendavale nahkhiirele vastu samasuguseid signaale, nagu ta ise välja saadab. Nahkhiir pidas neid signaale omaenese signaalide kajaks ja pöördus kõrvale, lennates ringi ümber olematute takistuste!

Kuid miks ei märka nahkhiir pehmeid esemeid ning pörkab nende vastu? Üsna lihtsalt. Need esemed neelavad peaaegu täielikult neile langeva ultrahääle ja nahkhiir, oma signaale mitte tagasi saades, peab sametit, vatti, juukseid ja teisi pehmeid esemeid tühjuseks.

Lõppsõna.

Hääle ja kuulmise valdkonnas on veel palju huvitavaid. Sageli kohtame elus selliseid häälenähtusi, millistele meil on raske anda õiget seletust. Kõigest sellest ei saanud me jutustada oma väikeses raamatus.

Meie ülesanne seisnes selles, et äratada lugejas huvi loodusteaduse selle tähelepanuväärse ala vastu ja aidata teha selles kõige esimesi samme. Kui lugeja soovib oma teadmisi süvendada, leiab ta rikkalikku materjali seda küsimust käsitlevas spetsiaalkirjanduses.

Nõukogude teadlased teostavad laialdasi uurimisi häälega seotud valdkonnas. Kõik meie teaduslikud tööd on seoses ühe üldise ideega: allutada loodus, kasutada kõiki võimalusi selleks, et töötav inimene elaks paremini, omaks elus võimalikult rohkem mugavusi, võiks paremini töötada ja paremini puhata. Maailmas ei osutata kuski töötingimustele nii suurt tähelepanu kui NSV Liidus. Töökaitsele, töötingimuste parandamisele ja teaduslikule uurimistööle selles suunas kulutab Nõukogude riik määratu suuri summasid. Riiklikust eelarvest selleks määratud summad suurenevad aastast aastasse.

NSV Liidu konstitutsioon kindlustab seadusega kõigi kodanike õiguse tööle. Ja see õigus ei piirdu ainult töösaamisega, vaid garanteerib töötajaile õiguse tervislikule, kultuursele ja ohutule tööle, mille kaitset teostab riik ise. Seepärast on meie maal kuulutatud mürale tõeline sõda.

Müraga võideldakse, tõrjutakse teda kõikjalt välja ja luuakse tervislikke töötingimusi.

Kapitalistlikes maades on esiplaanil midagi muud. Kui mingisuguse uuenduse rakendamine ei too kapitalistile vahetult kasu, siis ta ei hakka tööliste töötingimuste parandamiseks kulutusi tegema. Ettevõtte valdaja ei hakka võitlema müraga, ei hakka hoolitsema tööliste töö tervendamise eest, kui see ei ole talle tulus.

Kodanlikes maades teenib teadus kapitalistlike monopolide huvisid. Teaduse saavutusi kasutatakse inimeste hävitamise uute vahendite väljatöötamiseks, kuritegeliku sõja ettevalmistamiseks demokraatia vastu.

Samal ajal on nõukogude teadus läbi imbunud rahupüüdeist. Nõukogude teadlased uurivad visalt ja kannatlikult loodust kogu selle mitmekesisuses, tungivad tema sügavusse, otsivad seadusepärasusi, avastavad tema saladusi, sunnivad loodust teenima inimest. Selles on tõelise teaduse põhiline ülesanne.

Sisukord.

	Lk.
Sissejuhatus	3
I. Hääle tekkimine	5
1. Eriliiki liikumine	5
2. Hääle kõrgus	8
3. Häälelained	10
4. Häälejuhid	14
II. Korrapärased ja korrapäratud hääled	17
1. Mūra	17
2. Muusika	20
3. Igapäevased hääled	23
III. Kuidas kõrv kuuleb	27
1. Kõrva ehitus	27
2. Häälte aritmeetika	30
3. Kui palju helisid inimene kuuleb?	33
4. Kas kurdid võivad kuulda?	34
IV. Hääle ruumis	36
1. Hääle kiirus	36
2. Millal on kuulda kaugele ja millal pole kuulda lähedale	40
3. Millal seinad sosistavad	45
4. Nähtamatud tõkked	48
5. Pimedad luurajad	49
6. Mittekuuldavad hääled	53
Lõppsõna	57

Vastutav toimetaja H. Marran.
Kaanejoonise valmistanud A. Peerna.
Keeleline toimetaja L. Karu.
Tehniline toimetaja H. Seletus.

Ladumisele antud 13. II 1950. Trükkimisele antud 24. III 1950. a. Trükiarv 2500. Paber 56×79, 1/16. Trükipoognaid 3,75. Arvestuspoognaid 2,52. MB-01677. Trükikoda „Noor-Eesti“, Tartu, Kastani 38. Tellimise nr. 274.

На эстонском языке.
Б. Н. Суслов. Звук и слух.

Hind rbl. 1.—

A-16558

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00498119 9