



ROKASGRĀMATA SKOLOTĀJIEM

AKUSTIKAS APGUVE MŪZIKAS VIDUSSKOLĀ

METODISKAIS MATERIĀLS

**IZSTRĀDĀJA JĀZEPA MEDIŅA RĪGAS MŪZIKAS VIDUSSKOLAS
SKOLOTĀJS ADNĒRS DZENĪTIS**

RĪGA 2011

Satura rādītājs

	LPP.
KAS IR AKUSTIKA?	5
SKAŅAS RAŠANĀS UN TĀS CEĻŠ LĪDZ KLAUSĪTĀJAM	8
Vibrāciju mērīšana	10
Mūzikas instrumentu skaņas vibrācijas	10
Periods un frekvence jeb vibrāciju biežums	11
Skaņas un trokšņi	12
Vienkārša harmoniskā kustība. Sinusoīds	12
Amplitūda	13
Nekustīgs un īslaicīgs skaņas stāvoklis	14
Amplitūdas līkne (envelope)	15
Fāze	15
Komplekso (salikto) vibrāciju analīze	16
Harmoniskais spektrs	17
Neperiodisku skaņu analīze	19
SKAŅAS PĀRRAIDĪŠANA KLAUSĪTĀJAM	19
Skaņu viļņu izplatība gaisā	20
Viļņa garenvirziena kustība un viļņa garums	20
Spiediens skaņas viļņi	21
Skaņas ātrums	22
Skaņa un temperatūra	23
Viļņa garums, frekvence un skaņas ātrums	23
Atstarošana	24
Skaņas izliekšanās (diffraction)	26
Interference (mijiedarbība)	27
Pulsācija (Beats)	28
Doplera efekts	29
DZIRDE UN SKAŅAS	30
Cilvēka auss uzbūve	31
Ārējā auss	31
Virzienu dzirde	32
Vidusauss	33
Skaņas pārraidīšana caur vidusausi	34
Impedance (skaņas caurgājība)	34
Akustiskā refleksija	36
Iekšējā auss	37
Skaņu vienlaicīga dzirdēšana	37
Kohlejas struktūra	38
Bazilārās membrānas kustība	39

Signāli dzirdes nervā	40
Kritiskais diapazons (Critical band)	41
Raupjums, pulsācija un starptoni	43
Skaņas kropļojumi ausī	44
Aurālās virsskaņas un kombinētie toņi	44
Vienkāršie starptoni (simple difference tones)	45
Kubiskie starpības toņi	46
SKAŅAS UZVEDĪBA UN RAKSTURS	47
SKAŅAS AUGSTUMS	48
Subjektīvā skaņas daba	48
Oktāvas, pustoni, centi	49
Skaņu notācija	50
Faktori, kuri ietekmē skaņas augstumu	51
Skaņas augstums oktavās un frekvence	52
Frekvenču koeficienti un citi intervāli	52
Dabisko virstoņu rindas intervālu (just intonation intervals) frekvences	53
Skaņas augstums un amplitūda	54
Kompleksās skaņas un skaņu augstums	55
Izmaiņas skaņu augstumā	56
Absolūtā dzirde	57
SKAŅAS SKAĻUMS	58
Spiediens un intensitāte skaņu vilnī	59
Mūzikas instrumentu skaņas jauda	60
Skaņas jauda un intensitāte	61
Muzikāli dinamiskā skala	62
Decibels	63
Muzicēšana un skaļums ārpus telpām	65
Skaļums un frekvence. Dzirdamības robeža	66
Salīdzinošās skaļuma mērvienības (kontūras) – foni un soni	67
Auss un dinamiskās izmaiņas	68
Maskēšana	69
Komplekso skaņu skaļuma īpašības	70
Skaņas skaļums mūzikas praksē	71
Skaļuma izmaiņu robeža cilvēka uztverē	73
Skaņas skaļums un dzirdes traumas	74
TEMBRS	76
Skaņu viļņa forma nekustīgā skaņas stāvoklī	78
Harmoniskais spektrs	80
Harmoniskais spektrs rezonējošās telpās	80
Dažādas tembra dimensijas	83
Tembra mērījumi. Trijstūra diagramma	84
Formantas	86
Pārejas (transistents)	87

Būtiskākie skaņas tembra faktori	88
Vibrato	89
Kora efekts (Chorus)	91
SKAŅOJUMU PRINCIPI, KONSONANSES – DISONANSES	92
Konsonanse un disonanse	92
Mažora un minora trijskaņi	94
SKAŅKĀRTAS	95
Pitagora skaņkārtā	96
Kvintu aplis	96

KAS IR AKUSTIKA?

Dažkārt tiek teikts, ka mūzika nozīmē spēlēt pareizās notis īstajā laikā. Šis nebeidzamās kombinācijas veido to, ko mēs dēvējam par mūzikas *skaņdarbu*.

Tomēr aiz vienkārša muzicēšanas prieka un nošu virknēšanas slēpjas daudzas jo daudzas likumsakarības, kas liek mūsu instrumentam skanēt, liek tam skanēt labāk vai sliktāk, zemāk vai augstāk, liek skaņu uztvert ar prieku vai ar diskomfortu. Katram mūzikas instrumentam ir sava specifika – ne uz visiem mēs skaņu varēsim iesākt momentāli kā asu dūrienu, daži instrumenti dod ārkārtīgi tīru skaņu citi – gluži netīru, lai kā mēs censtos, kāpēc viena vijole skan izcili lai gan ir simtiem gadu veca, bet cita daudz jaunāka – būtiski atšķiras pēc skaņas?

Galū galā tik vienkārši jautājumi – kāpēc skaņas ir augstas un zemas, kas notiek kad tās maina augstumu, kāpēc vienam instrumentam zemas skaņas ir ļoti spēcīgas, citam – trokšņainas, citam – gandrīz nedzirdamas, kāpēc augstās skaņas dažiem instrumentiem ir grūti iegūstamas, bet, piemēram, pikolo flautai tās ir ļoti spēcīgas un pat apdullinošas? Kādus secinājumus mēs varam izdarīt? Šīs zināšanas un likumības ir mūzikas instrumentu zinību pamatā, to pārzināšana ļauj ikkatram mūziķim labāk iepazīt un valdīt savu izvēlēto instrumentu.

Taču ne jau tikai tas, cik labs vai slikts ir instruments, izpildītājs vai pats skaņdarbs ir faktori, kas nosaka to, vai mūziku klausīties mums ir patīkami.

Būtisks jautājums arī ir telpas kurās vienā mēs lieliski dzirdam kā mūziķis spēlē, bet citur mums liksies ka viņš nespēlē ar pietiekamu spēku. Ir arī ļoti skaistas un, pirmā brīdī pat šķiet – labskanīgas telpas, kurās vispār koncertus rīkot ir neiespējami, jo tajās visa mūzika saplūst nebeidzamā jūklī. Kāpēc? Ne vienmēr arhitekta iecerē ir bijis šīs konkrētās telpas piemērot koncertu vajadzībām, izvēloties par labu skaistam vizuālajam noformējumam. Taču citkārt – telpas kuru izskats nav pats pievilcīgākais, dod mums milzīgu skaņas baudījumu – izvēlētie materiāli, telpas forma, dziļums, augstums, platums, jā, arī klausītāju izvietojums un pat klausītāju krēsliem izvēlētie materiāli spēj radikāli mainīt mūsu priekšstatus par skaņu un, šajā gadījumā arhitektu, konstruktoru un akustiķu kopdarbs ir noteicošais.

Kāpēc gan telpas ir tik kaprīzas? Līdzīgi kā kino vispatīkamāk ir vērot tumsā, jo tieši tumsā visspēcīgāk spēj izplatīties gaismas viļņi un dot mums vispilnīgāko informāciju, arī skaņas viļņiem, kā dzīvām būtnēm ir nepieciešami savi apstākļi.

Turklāt zinot to, ka skaņas vibrācijas ir visspēcīgākās vibrācijas, kādas cilvēks ar savu fizisko būtību (un ne tikai – par to vēlāk) spēj uztvert – redzes aparāts cilvēkam apveltīts ar daudz vājāku izšķirtspēju – varam tikai iedomāties, cik būtiski cilvēka ausīm ir saņemt kvalitatīvu un līdzsvarotu informāciju par katru skaņas niansi, pārmaiņu gan skaļumā gan augstumā gan tembrā.

Jau senās kultūrās – Ķīniešu, Ebreju, bet jo īpaši – Indiešu kultūrās bija pierādīts, ka skaņas vibrācijas būtiski ietekmē ne tikai mūsu emociju dzīvi – labsajūtu un sajūtu baudu klausoties

mūziku, bet arī mūsu fizisko ķermeni un garīgo veselību. Noteikta augstuma skaņas vibrācijas labvēlīgi spēj ietekmēt konkrētus cilvēka ķermeņa enerģētiskos punktus – tā saucamās *čakras*. Katra no tām ir atbildīga par dažādām cilvēka dzīves pamatfunkcijām, orgāniem un garīgo izaugsmi – no viszemākajām, fizikālajām, par cilvēka pamatfunkcijām atbildīgajām, līdz pat ļoti smalkām, kas spēj sniegt garīgu apskaidrotību, kuru sasniegt ir visa mūža darbs un dažkārt to paveikt nav lemts katram. Noteikta augstuma skaņu viļņu vibrācijas, rečitējot vai dziedot tā saucamās *mantras* – svētus, daudznazīmīgus tekstus vienā no pasaules svētajām valodām – sanskritā – spēj iekustināt šos enerģētiskos centrus, tos attīrīt, likt rezonēt skaņas vibrāciju frekvencēs. Ja pat negribam tam ticēt, līdzīgas atbildes un līdzības atradīsim jebkurā pasaules kultūrā, pat latviešu – dziedāšana bija un ir latviskās dzīvesziņas sastāvdaļa. Taču ne jau tikai prieka vai skumju dēļ latvieši dzied – dziedāšana palīdz fiziski smagā darbā, palīdz pārvarēt grūto un auksto ziemu, smagus brīžus dzīvē. Un ne jau tikai ar emocionālo spēku – varam būt pārliecināti, ka dziesmu melodijās un vārdos iekodētās skaņu vibrācijas, frekvences, pozitīvi uzlādē cilvēka nervu sistēmu, pozitīvi ievirza smadzeņu darbību, uzlabo fizisko stāvokli.

Par skaņas fizikālo spēku pretējā – negatīvā nozīmē liecina arī dažādi eksperimenti – otrajā pasaules karā, gūstekņu spīdzināšanas nolūkos tikai izmantoti tā saucamie *zemo frekvenču ģeneratori* – ierīces, kuras radīja tik zemas skaņas frekvences, kas cilvēka dzirdes aparātam ir jau neuztveramas, taču šīs skaņas iespējams „sajust”. Tik zemas frekvences cilvēka smadzenēm dod panikas signālus, rada trauksmes un baiļu sindromu.

Amerikas jūras spēki 21. gadsimta sākumā, jūras dzelmes izpētei eksperimentāli bija radījuši skaļāko skaņu pasaulē – skaņu, kuras skaļums 10 000 reizes pārsniedz reaktīvās lidmašīnas dzinēja skaļumu, ja atrodamies tieši tā tuvumā. Tikai ar lielām pūlēm šo projektu izdevās apturēt – skaņas viļņa spēks būtu tāds, kurš neatgriezeniski paralizētu visu jūras dzīvo radību smadzeņu darbību daudzu tūkstošu kilometru radiusā.

Skaņas spēks tiek izmantots arī tradicionālajā medicīnā – tā saucamā ultrasonogrāfija, mūsu iekšējo orgānu attēlu uzzīmē tieši ar skaņas viļņu palīdzību, skaņai ar dažādiem viļņu garumiem sasniedzot noteiktus mūsu iekšējo orgānu punktus. Tas tieši nozīmē apliecina, ka skaņa *redz* mums cauri un spēj mūs dažādi iespaidot ne tikai dzirdes un emociju līmenī. Bet vai mēs redzam cauri skaņai?

Varam teikt ka akustika ir zinātne par skaņas dabu, savdabīga skaņas un tās īpašību anatomija. Līdzīgi kā gleznotāji, lai perfekti uzgleznotu cilvēka ķermeni, ar dažādām emocijām viesojas anatomikumā, lai izpētītu mirušu cilvēku ķermeņus, to uzbūvi, sastāvdaļas, preparē un ielūkojas reālās detaļās, mums – mūziķiem, blakus mūzikas estētiskajam baudījumam, būtu jāizpēta no kā sastāv pati skaņa – galvenais izejmateriāls, kas nepieciešams mūzikas radīšanai. To izprotot, daudzas lietas sākam uztvert savādāk, katru skaņu spējām uztvert ar lielāku atbildību un piešķīram tai nozīmi. Tieši tāpat arī labāk izprotam to kā šo skaņu izveidot un pasniegt visaugstākajā kvalitātē

Skaņa ir dabas sastāvdaļa, līdzīgi kā gaisma, elektriskās vibrācijas, nervu sistēmas vibrācijas, tā ir tīrs fizikas fenomens. Tāpat, kā noskaidrojām, dzirde ir viena no mūsu izteiktākajām un būtiskākajām maņām ar savām noteiktām īpatnībām. **Sadarbojoties abām šīm pusēm – dabas likumiem un mūsu dzirdes aparātam, rodas priekšstats par skaņu, par zinātni kas aptver visus šos jautājumus – akustiku.**

Dzirde ir subjektīva maņa un katrs cilvēks tomēr dzird nedaudz savādāk, spēj uztvert skanējumus dažādi. Ir jūtīgākas dzirdes – klausītāji, kuri labi atceras ikkatru skaņas niansi, dažkārt pat saskata skaņas un to kombināciju krāsu, sajūt visniecīgākās intonāciju pārmaiņas, līdz pat tā saucamajai *absolūtajai dzirdei* – spējai noteikt ne tikai muzikālu, bet jebkuru priekšmetu skaņu absolūtos augstumus. Taču ir ļaudis, kuri īpaši nepievērš uzmanību pat tiezgan būtiskām skaņas īpašībām, nespēj noteikt pat skaņas relatīvu augstumu – vai tā ir augsta, zema vai vidēja. Dzirdes īpašības ir arī kultūrvēsturiska parādība – katrā pasaules reģionā mūzikas tradīcijas, skaņojumi, skaņas veidošanas īpatnības ir atšķirīgas, pieradums pie tām rada īpašu klausīšanās kultūru. Iespējams tāpēc mums ar Rietumu *pareizo* (taču tīri fizikāli – gluži nepareizo) skaņojumu, ir grūti klausīties arābu vai ķīniešu vai vēl vairāk – Āfrikas cilšu mūziku, kura mums šķiet *netīra* un nepareiza. Iepējams viņi mūsu mūziku uztver tieši tāpat. **Tomēr pastāv objektīvas skaņas fizikas likumsakarības, kas ļauj skaņu un tās attiecības ar apkārtni apskatīt patiesā un neapstrīdamā gaismā.**

Skaņas fizika, uzbūve, akustikas likumsakarības un likumi pētīti jau senajā pasaulē – Pitagors pētīja stīgas vibrācijas attiecības ar labskanību. Bet jau 3000g.p.m.ē. Ķīnā lietoja tabulu, kurā tika apzīmētas muzikālās konsonances, kuras tikai iegūtas, pateicoties dabiskās virsskaņu rindas pētniecībai. Aristotelis atklāja ka skaņa izraisa gaisa kustību, saraušanos un izplešanos, kas atbilst arī mūsdienu teorijām par skaņas kustību, bet Romas arhitekts Vitruvius 20g.p.m.ē lika pamatus telpu akustikai, aprakstot dažādu amfiteātru parametrus, runājot par atbalsi un izskaņu (reverberāciju). Pētījumus skaņas jomā veikuši arī visiem zināmie zinātnieki Galileo un Ņūtons.

Tomēr kopumā varētu teikt, neticami, bet skaņas pētniecība ir viena no visjaunākajām fundamentāli pētītajām dabas parādībām. Tikai pirms aptuveni 130 gadiem **Hermanis fon Helmholcs** (Hermann von Helmholtz) uzrakstīja pirmo mūsdienu pētījumu par mūzikas akustiku *Par skaņas dabu*, kurā runāja par to kā instrumenti rada skaņu un kā cilvēka auss to uztver. Iespējams šī vēlā pētniecība bija saistīta ar tehnoloģiju trūkumu – skaņas pētīšana lielā mērā saistīta ar dažādām tehniskām ierīcēm. Tā kā skaņa ir dabas parādība, kas ir uztverama tikai zināmā laika periodā, nav fiziski saskatāma un notverama, sagūstāmā dzīvā veidā, tās padziļināta pētniecība ārpus iespējamību teorijām vienmēr bijusi ļoti sarežģīta. Tāpēc šodien neaizstājami skaņas pētniecībā ir datori, lāzeri, citas ļoti sarežģītas ierīces un datorprogrammas. Ir institūti un pētniecības centri, kuri vēl jo projām visas pūles velta vienas no visnoslēpumainākajām un vissarežģītākajām dabas parādībām – skaņas – pētniecībai.

Akustikas zinātne šodien izpletusies jo plaši, aptver dažādas nozāres un pēta atsevišķi dažādas sfēras, kurā skaņai ir primāra nozīme. Akustika pēta -

- 1) skaņas uzbūvi un īpašības (skaņas fizika)
- 2) telpas uzbūves likumsakarības un būvniecības principus (telpu akustika),
- 3) instrumentu uzbūves un darbības principus (instrumentu akustika)
- 4) elektroniskās skaņas, to veidošanas principus, kas tiek izmantoti elektronisko instrumentu būvē un datorprogrammu radīšanā (elektronikas akustika)
- 5) skaņas iedarbību uz cilvēku (psihoakustika).

Tādēļ akustika vienlaikus gan fizikas gan fizioloģijas, gan psiholoģijas nozare. Taču tās principi ar būtiski ietiecas visdažādāko profesiju un pētniecības sfēru lokā – akustikai ir arī ļoti nozīmīga loma

medicīnā (ehokardiogrāfija, ultrasonogrāfija) gan arī navigācijā, jūras pētniecībā (eholots), arī astrofizikā un astronomijā – skaņas viļņu rašanās ceļošana visumā (radioteleskopī).

Akustikas zināšanas ir ļoti svarīgas ja ir nepieciešams kvalitatīvi ierakstīt skaņu, apskaņot koncertu – akustikas likumību pielietošana ir katra skaņu režisora ikdiena. Zināšanas par telpu, mūziķu pareizu izvietojumu, dažādiem ar temperatūru un citām īpašībām saistītiem jautājumiem rada radošu lidojumu, palīdz izvairīties no pierastās improvizācijas ar telpu un apskaņošanu – vislielāko problēmas sakni sliktas koncerta vai ieraksta skaņas gadījumā.

No dzimšanas ar perfektu akustisku jautājumu sajūtu ir apveltīti tikai nedaudzi, daudzām lietām ir nepieciešamas ļoti konkrētas zināšanas un sarežģīta izglītība.

Šajā kursā akustikas jēdzienu izmantosim lai

- 1) Atklātu skaņas dabu, to no kā tā sastāv un kādu ceļu tā noiet no instrumenta līdz klausītājam.
- 2) Cilvēka dzirdes īpatnības un dzirdes aparāta mehānismu
- 3) Galvenās skaņas īpašības – skaļumu, augstumu, tembru
- 4) Skaņojuma, konsonances un disonances pamatojumu

Akustiku varam uzskatīt par eksaktu zinātnei – tā pieder pie tā paša zinību koka, kurā pazīstam algebru, ģeometriju, fiziku, ķīmiju un bioloģiju. Turklāt vēl vairāk – akustika izmanto teju visas no iepriekš nosauktajām zinātnēm.

Akustikas mācība lielā mērā saistīta ar matemātiskām darbībām, formulām, vienādojumiem un diagrammām. Tās apiet nav iespējams – tad skaņas pētniecība zaudē savu jēgu un galvenos darbarīkus. Mūziķi bieži ir izvēlējušies mūziku par savu specialitāti, jo viņiem vairāk attīstīta emocionālā nevis racionālā domāšana. Ņemot vērā to, esmu šajā materiālā mēģinājis darīt neiespējamo – vienkāršot, samazināt matemātisku darbību izmantošanu līdz minimumam, galveno uzsvaru liekot uz pašu pamatprincipu izskaidrošanu. Ja akustikas apguve radīs interesi – katru no šiem jautājumiem varēsiet pētīt padziļināti, izmantojot visus tiem nepieciešamos atribūtus un darbības.

SKAŅAS RAŠANĀS UN TĀS CEĻŠ LĪDZ KLAUSĪTĀJAM

Visa mūsu apkārtnē, pasaule, Visums kopumā sastāv no dažādām vibrācijām, dažādiem vibrāciju viļņiem. Tie ir gaismas viļņi un vibrācijas kas uz mums atstāj noteiktu vizuālu iespaidu, veido attēlu mūsu acs tīklenē, dažādas fizikālās vibrācijas – zemes vibrācijas, kuras rada dzīvību un pateicoties kurām mainās zemes cikliskums. Mūsu ķermenī sastāv no neskaitāmām vibrācijām, kuru vidū būtiskas – smadzeņu un nervu radītie impulsi un vibrācijas ķermenī. Interesanti, ka visas šīs vibrācijas, lai cik atšķirīgus galarezultātus tās neradītu (piemēram skaņa un gaisma) ir savā pamatbūtībā ļoti līdzīgas un saskaņotas.

Varam šīs vibrācijas saukt arī par dažāda veida kustībām. Pasaules pamatprincips ir nepārtraukta kustība. Mēs visi atrodamies nepārtrauktā kustībā un transformācijā. Kustības pamatdzinulis, ļoti

iespējams bijis tā saucamais *lielais sprādziens* – nebeidzams enerģijas izvirdums, kurš radījis visu mums apkārt. Kamēr visumā pastāv kustība, jeb vibrācija, tikmēr pasaule pastāv. Grūti pat iedomāties kas notiktu, ja pilnīgi visa veida kustība un vibrācija reiz apstātos. Jo pasaulē kādā dzīvojam šobrīd, tas šķiet nemaz nav iespējams – pat mirušas lietas un būtnes pārtop citās vielās, procesos, tātad kustība – vibrācija turpinās.

Arī skaņa saistīta ar kustību dažādos parametros. **Skaņa ir kustība, enerģija.**

Tā var būt diriģenta roka, aktivitāte, kas liek mūziķiem izdarīt savas kustības – locīņa kustības, elpas ievilkšanu, taču gavenais mūs interesējošais ir fakts, ka skaņa rodas tikai no šīs kustības – locīņa vilkšanas pa stīgu, vālītes atsietiena pret bungu membrānu, balss saišu iekustināšanas un citām.

Šo kustību sauc par **vibrējošo kustību** (vibratory motion – turpmāk vietām došu angļu terminu oriģinālus, ņemot vērā ka atbilstoša terminoloģija latviešu valodā līdz šim ne vienmēr ir valodnieciski saskaņota).

Tas nozīmē **objekta vibrāciju no vienas puses uz pretējo apkārt pozīcijai kādu tas ieņem miera stāvoklī.**

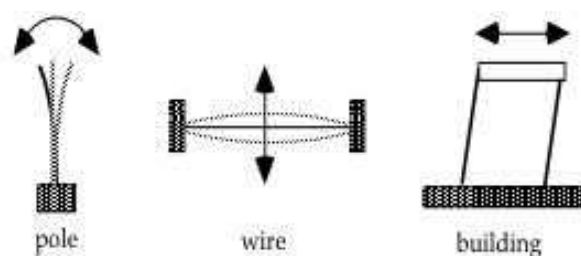


Figure 12.26 Other Types of Vibratory Motion

Jebkurš mūzikas instruments, to spēlējot intensīvi vibrē, to ir sajutis katrs kas tos centies ieskandināt.

Piemērs.

Elastīga bungu membrāna, bungu vālītes sitienā tiek iesista iekšā, taču tā nevar turpināt doties vēl dziļāk par vietu cik tālu tā iespiesta ar vālītes palīdzību – elastīgums un inerce to spiež atpakaļ. Taču sitiens ir bijis tik stiprs, ka membrāna nespēj apstāties uzreiz sākuma pozīcijā un pēc atgriešanās sākumpozīcijā, bet izliecas uz otru pusi.

Kad vibrācija pēc kustības lejup un augšup vai otrādi pirmoreiz atgriežas sākumpozīcijā, mēs to saucam par **vienu vibrāciju ciklu**. Taču parasti inerce liek bungu membrānai turpināt kustēties augšup un lejup pakāpeniski samazinot vibrācijas intensitāti.

Vibrācijas ciklu daudzums nosaka mums skaņas garumu.

Līdzīgi ir ar stīgu instrumentiem, kuros vibrējošais elements ir stīga – stingri nostiepta stīga vai nu paraušanas, iesišanas pa to vai vilkšanas rezultātā veido šo pašu izliekšanos uz abām pusēm no pamatsāvokļa. Pūšaminstrumentos savukārt vibrācijas rada gaiss – pūšot instrumentu, tajā iekļautais gaisa stabs, meklējot izeju no instrumenta regulāri un vienmērīgi atsitas pret instrumenta korpusa iekšējām sienām, tādējādi radot instrumenta vibrāciju.

Lieli objekti, resnas stīgas ļauj mums šīs vibrācijas pat saskatīt, tomēr, piemēram, augstu klavieru stīgu vai pūšaminstrumentu gadījumā pašu vibrāciju mēs saskatīt nespēsim. Taču to var sajust, pieliekot instrumentam roku.

Vibrāciju mērīšana

Lai saprastu instrumenta darbību ir jāspēj izmērīt un noteikt tā vibrācijas īpašības. Senākos laikos to izdarīt bija grūti vai neiespējami. Viena no metodēm ir infrasarkanais stars, kurš novirzīts uz vibrējošo efektu – vibrējot, objekts pienāk tuvāk vai tālāk, līdz ar to infrasarkanais starojums tiek atstarots vairāk vai mazāk, no tuvāka vai lielāka attāluma. Rezultātā šādi iespējams mērīt vibrāciju biežumu vai intensitāti pat ar parastu kustību detektoru. Infrasarkanā stara un šīs kustības mērījumu precizitāte ļauj iegūt informāciju pat par ļoti sīkām un biežām vibrācijām, kuras savādāk nav noteicamas.

Svarīgākais mēraparāts skaņas vibrāciju mērīšanai šodien ir **oscilogrāfs**. Tas sastopams gan kā atsevišķa ierīce gan kā datorprogramma. Šī ierīce papildus dod iespēju mērīt arī skaņas vibrācijas noteiktā laika periodā ja vienlaicīgi tiek ieslēgti skaņas vibrācijas un laika mērīšanas parametri. Ja tie ir izslēgti, vibrācijas parādās vien kā vertikāla, viļņota līnija.

Oscilogrāfa darbība ir līdzīga kā zīmējot ar roku uz papīra viļņotas līnijas – jo roka kustās ātrāk (vibrācijas ātrums) jo viļņu ir vairāk. Laika mērīšanas parametri ļauj noteikt attēlojamo (nevis reālo) vibrāciju biežumu, tādējādi lietojot dažādus koeficientus lai noteiktu matemātisko vibrāciju biežumu, toties to samazinājums ļauj mums vibrācijas apskatīt. Piemēram ja ekrāns oscilogrāfam ir 10cm plats, tad ar kustību 10m sekundē vibrāciju līkne šķērsos ekrānu sekundes simdaļā. Reducējot attēlojamo ātrumu, piemēram tā, ka aparāts izvēlās ātrumu 1m sekundē, rezultātā mēs uz ekrāna iegūstam vibrācijas 10 cikli sekundē, ko ar acīm jau var saskatīt. To reizinot ar 10 savukārt mēs iegūsim pareizo vibrācijas biežumu.

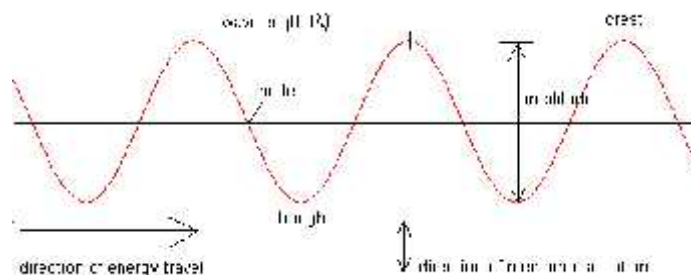
Mūzikas instrumentu skaņas vibrācijas

Ar neapbruņotu aci aplūkojot stīgas vibrēšanu, varam saskatīt tikai izplūdušu, it kā miglainu stīgas kustību, nekādus secinājumus no tā izdarīt nevar, tāpēc jāapskata, kādus rezultātus iegūsim šo skaņu analizējot ar mērierīcēm.

Attēls ko iegūstam ar oscilogrāfu šajā gadījumā ir saucams par **stīgas kustības un laika novirzes līkni** vai **vibrāciju nobīdes – laika līkni**. Vertikālā ass ir stīgas novirze no izejas stāvokļa, horizontālā – laika intervāls. Šajā attēlā varam novērot strauju kustību augšup, lēnāku lejā sasniedzot pretējo punktu lejā un šī kustība turpinās nemainīgi gadījumā ja spēlēt tiek lociņu stīgu instruments, kura skaņu iespējams spēlēt ar nemainīgu dinamiku ļoti ilgi. Strinkšķināmā stīgu instrumenta,

piemēram ģitāras gadījumā šī kustība pakāpeniski samazināsies, izdzīstot, atstājot nekustīgu, taisnu līniju – klusumu.

Stīgas vibrācijas kustību apkārt pamatstāvoklim sauc par **transverso vibrāciju** jo noteikta stīgas daļa vibrē krusteniski, sadalot visu stīgas garumu vienādās daļās.



Periods un frekvence jeb vibrāciju biežums

Vibrāciju var saukt par **periodisku** ja kustība pati sevi precīzi atkārto noteiktā laika intervālā. Šo laika intervālu mēs saucam par **vibrācijas periodu**. Laiku mēs apzīmējam ar burtu **T**.

Laika līkne, lai izpildītu vienu augšup un lejupejošu kustību apkārt pamatpozīcijai, ko mēs saucam par **vibrācijas ciklu** ir atbilstoša attālumam starp zemākajiem vibrācijas līknes punktiem, taču tikpat labi – starp augstākajiem vai starp vienādiem punktiem uz ass, kurā stīga atrodas miera stāvoklī. Ja vibrācija ir periodiska, nemainīga visā skaņas garumā, šiem attālumiem vajadzētu būt pilnīgi identiskiem.

Visbiežāk izmantotā mērvienība kādā mēra skaņas vibrācijas pēc to atkārtošanās laikā ir milisekundes (ms). (1/1000 no sekundes).

Redzot ka divi **vibrācijas cikli** (mērījums no identiska augšējā punkta līdz nākamajam vai apakšējā vai vidējā) ir apmēram 25ms (40-daļa sekundes) garš, attiecīgi viens cikls ir 12,8ms garš (25/2).

Tomēr mūzikas mērīšanas praksē biežāk izmantota mērvienība ir **frekvence** nevis periodos.

Frekvence (f) ir vibrāciju ciklu skaits vienā sekundē. Starp periodu un frekvenci ir tieša sakarība, ko var izteikt formulā:

$$f = 1/T$$

Šinī gadījumā 1 būs 1000ms (milisekunžu skaits vienā sekundē) dalīts ar viena vibrācijas cikla garumu (12,8ms). Iegūstam skaitli 78. Tātad dotā skaņa šajā augstumā vibrē ar ātrumu 78 cikli (noapaļojot) vienā sekundē.

Pieņemtā mērvienība frekvencei ir herci (Hz).

Taču šo formulu varam apgriezt arī otrādi, ja mums zināma tieši frekvence un vēlamies aprēķināt vibrācijas cikla garumu:

$$T = 1/f$$

Standarta kamertonis zināms vibrē ar frekvenci 440Hz (440 vibrāciju periodi vienā sekundē). Zinot to, varam aprēķināt, ka $T = 1000/440 = 2,3\text{ms}$ tātad viens cikls aizņem nedaudz vairāk kā 2 tūkstošdaļas sekundes.

Taču pats galvenais, ko mūzikas praksē secinām, saskaroties ar skaņas frekvences skaitļiem ir skaņas augstums – jo lielāks frekvences skaitlis, tātad – stīga vai gaiss vibrē ātrāk – jo augstāka skaņa, jo skaitlis zemāks – stīga vai gaiss vibrē lēnāk – skaņa – zemāka.

Skaņas un trokšņi

Periodiskuma nozīme ir zināšanā, ka **tikai vibrācijas ar periodisku uzbūvi rada skaņas ar spēcīgu skaņas augstuma sajūtu un noturību.**

Tomēr nedaudz jāuzmanās ar šo apgalvojumu, jo skaņa kas tika aplūkota iepriekš, ir ierakstīta laboratorijā, tiek apzināti spēlēta maksimāli precīzi, nemainīgi un bez vibrato izpildīšanas. Ikdienas muzicēšanas praksē tas ir ne tikai neiespējami, bet par – nemuzikāli. Patiesībā lielākā daļa skaņas radītāju – instrumenti, balss, veido ne strikti periodiskas dabas skaņas. Vibrācijas laikā pirksts, kurš tur pie grīfa piespiestu stīgu izpilda brīvas kustības uz priekšu un atpakaļ ar rokas plaukstas daļu, kas ievieš brīvas izmaiņas stīgas vibrācijā un līdz ar to – augstumā. Tā kā pirksts vibrē tikai dažas reizes dažās sekundēs, bet pati skaņa – 78 reizes sekundē, šī vibrato ietekme ir fiksējama tikai ilgākā laika periodā. Arī dzirde šo vibrāciju vairāk iztver kā ietekmi uz skaņas kvalitāti nevis augstumu.

Šādu vibrāciju tipu, kurš it kā uzrāda periodiskumu, taču ilgākā laika periodā uzrāda nelielas izmaiņas, sauc par **kvazi – periodisku vibrāciju.**

Tātad priekšstats par skaņas augstumu rodas no periodiskām vai kvazi periodiskām vibrācijām.

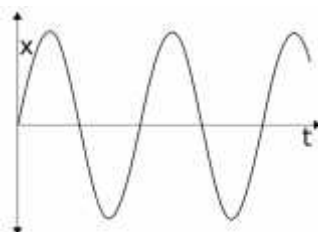
Vibrācijas, kurās nav novērojams periodiskums, bez noteiktas regularitātes vairāk rada trokšņiem līdzīgas saskaņas kā tīras, muzikālas skaņas, atkarībā no vibrāciju haotiskuma pakāpes. Protams, daudziem mūzikas instrumentiem piemīt arī neperiodisku vibrāciju skaņa, piemēram šķīvji vai citi sitaminstrumenti.

Tāpat – jebkuram melodiskam mūzikas instrumentam piemīt tā saucamās tehniskās skaņas – korpusa, lociņa švīkstoņa, gaisa šņākoņa, vārstu troksnis – skaņas, kas ievieš zināmas, nelielas korekcijas jebkuras skaņas frekvenču periodiskumā.

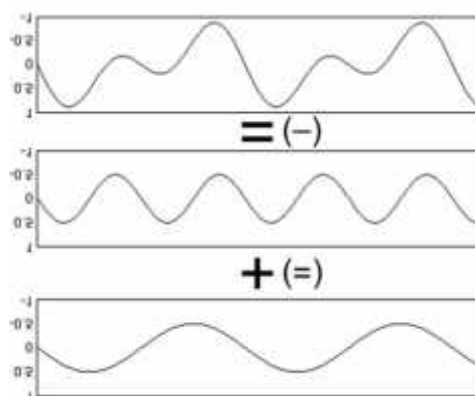
Vienkārša harmoniskā kustība. Sinusoīds

Kamertonis ir viens no instrumentiem, kurš mērījumos dos mums ļoti noapaļotu un precīzu, vienādu vibrāciju kustību, vilni bez jebkādām niansēm un mainīgām Alpu virsotnēm līdzīgiem papildus izliekumiem zīmējumā. Vienkārša viļņa forma matemātikā ir pazīstama kā **sīnusa līkne, jeb**

sinusoīds un tā ataino visvienkāršāko iespējamo periodisko vibrāciju, sauktu arī par **vienkāršu harmonisko kustību**.



Tāda skaņa mūzikā sastopama tikai kamertoņa skaņā, to iespējams radīt elektroniski un vienkāršu harmonisku kustību pārveidi ir pamatā jebkuram elektroniskam mūzikas instrumentam. Taču tuvu vienkāršai harmoniskai kustībai skaņas līkne ir līdzīga arī atsevišķos metāla sitaminstrumentos. Lielākajai daļai citu mūzikas instrumentu vibrācijas ir daudz komplicētākas, to **vibrāciju nobīdes – laika līknes** kas attēlo skaņas vibrācijas ir daudz komplicētākas. Jebkura muzikāla skaņa pārsvarā ir **saliktas, jeb kompleksas vibrācijas**, kuras sastāv no daudzu vienkāršu harmonisko kustību summas un pārklājumiem, kas kopumā rada diezgan sarežģītu skaņu viļņa zīmējumu.



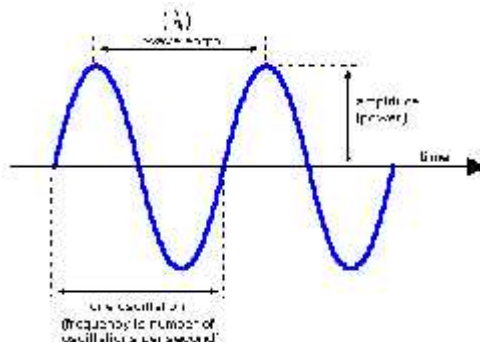
Amplitūda

Vērojot oscilogrāfā, datora ekrānā vai zīmējumā vibrāciju nobīdes – laika līkni, mēs varam iegūt informāciju ne tikai par vibrācijas ātrumu, frekvenci, tātad – skaņas augsumu, bet arī par vibrācijas amplitūdu. Jau zinām, ka stīga kustībā kustas augšup lejuļ no viduslīnijas. Vērojot stīgu miera stāvoklī, vai šīs vibrācijas grafiku, šo nekustīgo viduslīniju sauc par **miera pozīciju**. Vibrācijas amplitūda ir nobīde no miera pozīcijas. Jo lielāka nobīde, augstāki viļņi veidojas, jo lielāka ir stīgas vibrācijas amplitūda. Par amplitūdu varam uzskatīt stīgas nobīdi tikai vienā virzienā no miera pozīcijas.

Ja stīga vibrē simetriski, kopējais attālums no augstākā vibrācijas punkta līdz zemākajam ir divkārtīga amplitūda.

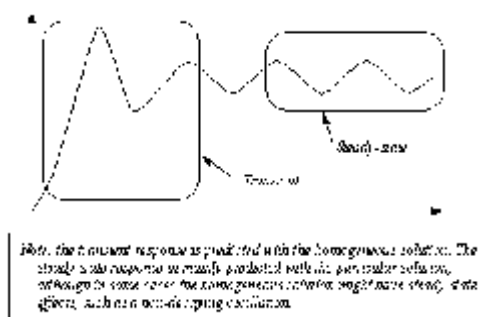
Galvenā informācija, ko mums sniedz amplitūdas novērojumi ir zināšanas par skaņas skaļumu un spēku.

Kamēr neesam runājuši par skaņas skaļuma precīzu mērīšanu un ar to saistītajām īpašībām, amplitūdas mērījumos lietojam vienkāršu metrisku mērvienību – amplitūdu izteiksim milimetros (**mm**).



Nekustīgs un īslaicīgs skaņas stāvoklis

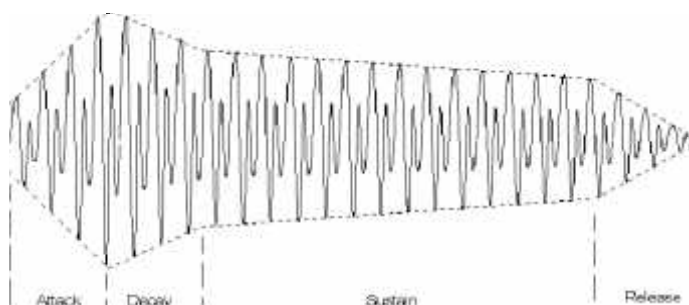
Ja aplūkosim, piemēram, stīgu instrumenta spēlētās skaņas līkni ievērojamā palielinājumā, noklausīsimies to ievērojamā palēninājumā, ievērosim, ka skaņas vibrācijas nesākas momentāli, paiet vairāki vibrāciju cikli līdz tā izaug, līdz stīgas vibrācija nostabilizējas konstantā, stabilā, vienmērīgā amplitūdā. Šo skaņas iesākuma brīdi gan mūziķu valodā gan akustikā sauc par **attaku (attaca)**. Katram instrumentam **attaka ir atšķirīga un ļoti būtiski nosaka instrumenta tembru un spēles tehnikas īpatnības, kas jāparedz spēlējot šo instrumentu. Attaka ir viena no visbūtiskākajām jebkura instrumenta vizītkartēm, kas ļauj mums atpazīt un atšķirt šo konkrēto instrumentu no citiem**. Eksperimentāli klausoties skaņu bez attakas brīža, atsevišķos gadījumos instrumenta atpazīšana var būt pat problemātiska. Studējot jebkuru skaņu, jāņem vērā ka pastāv īslaicīgais skaņas stāvoklis – skaņas iesākums, kā arī nekustīgais jeb stablais stāvoklis, kad skaņa nostabilizējas un amplitūda ir konstanta.



Daudziem instrumentiem vispār nepiemīt šis nekustīgais jeb stablais skaņas stāvoklis. Ja, piemēram, čells, vienu skaņu var vilkt ilgstoši, amplitūdu mainot vienīgi saistībā ar lociņa intensitātes maiņu, tad piemēram klavieru skaņa jau pirmajā sekundes desmitdaļā zaudē 80% tās skaņas amplitūdas un turpina izdzist arī pēc tam, bet bungu sitienu skaņa nokrītas pat līdz 30%. Līdzīgi ir arī ar strinkšķināmajiem stīgu instrumentiem.

Amplitūdas līkne (envelope)

Vērojot dažādus vibrācijas ciklus un to amplitūdas, kuru virsotnes kļūst te augstākas, te zemākas, mēs to augstākos un zemākos punktus grafiski varam savienot ar iedomātu vai reālu līniju. Šo līniju izveidoto grafisko zīmējumu mēs saucam par **amplitūdas līkni** (angliski – envelope). Šajā zīmējumā vairāk uzmanības tiek vērsts nevis uz katra vibrāciju cikla detaļām, bet kopējo kāda noteikta vibrāciju perioda vai visa skaņdarba tendenci kā amplitūda tajā pieaug un samazinās. Šī īpašība ir ļoti svarīga un atšķirīga katra instrumenta skaņas raksturojumā, līdzīgi kā runājot par attaku. Ar šo zīmējumu varam konstatēt un mērīt amplitūdas izmaiņas gan īsākos vibrāciju periodos gan visā skaņas līknē kopumā. Piemēri – čella skaņa ātri izaug līdz nekustīgam, stabilam stāvoklim un tā turpinās (spēlējot bez izteikta vibrato), bungu skaņa petēji – jau pirmās ceturtdaļsekundes laikā izdziest, taču pēc tam vēl lēni turpina izdzist un vibrācijas ir novērojamas pat vēl vairākas sekundes pēc sitiena. Interesanta kopumā ir klavieru amplitūdas līkne. Brīdī kad āmurītis skar klavieru stīgu līkne sākas ļoti pēkšņi un ir visaugstākajā punktā. Nākamajā pussekundē amplitūde strauji krīt, nākamajās divās sekundēs skaņa turpina izdzist, taču mazāk strauji, taču brīdī kad tā šķiet jau izdzisusi, tā sāk atkal pieaugt, pēc kā atkal turpina izdzist līdz pat klusumam.



Fāze

Tāpat nekustīgs skaņas stāvoklis var tikt analizēts ar amplitūdas un vibrāciju cikla palīdzību. Ja amplitūda ir 2 mm un vibrāciju cikls ir 12,9 ms, tad nekustīgs skaņas stāvoklis rodas parametriem vienkārši nemainīgi atkārtojoties daudzas reizes. Taču cita situācija izveidojas, ja vienu un to pašu skaņu spēlē vairāki vienādi instrumenti vienlaicīgi, kā tas ir orķestrī.

Teorētiski, pēc visiem fizikālajiem parametriem, reāltātām vajadzētu būt tam pašam, kas vienam instrumentam, taču jāņem vērā cilvēks ir dzīva būtne, turklāt katra cilvēka refleksi un darbības ir nedaudz atšķirīgas un tāpēc viena un tā pati skaņa vairākiem instrumentiem vai grupai nekad neiesāksies matemātiski sinhroni un tādējādi attakas brīdis ansamblī var atšķirties pat par vairākiem desmitiem ms. Pat ja attakas brīdis precīzi sakristu, tā būtu tikai tīra nejaušība.

Veidojas savdabīgs vibrāciju kanons, kurā noteiktos brīžos noteikti periodiskums sastopas, tad atkal šķiras, atkal sastopas, taču tā nekad neklūst par sistēmu, kuru mēs varētu ievietot kādos likumos vai rāmjos. Šis princips ir līdzīgs polifonam kanonam – melodijas ar dažādiem iestāšanās laikiem.

Vienīgi šīs iestājas klausītājam nav tik viegli konstatējamas – lai arī instrumenti unisonā ietājas ar nelielu kavēšanos, labu izpildītāju gadījumā, mūsu uztverei šī nobīde ir pārāk niecīga.

Piemēram, izvēloties četrus vienādā augstumā un skaļumā spēlējošus instrumentus, mēs konstatējam, ka vibrācijas cikls ir 8ms, kas nozīmē ka pēc 8ms vibrācijas vienība sevi atkārto. Instruments A sāk pirmais, B iestājas pēc 2ms, C un D iestājas no sākuma brīža pēc 4 un 6ms. **Šo nobīdi starp ar līdzīgiem vibrāciju cikliem un amplitūdu spēlējošiem instrumentiem, kuru starpā izveidojas zināma laika un līdz ar to – savstarpēja vibrāciju ciklu nobīde, sauc par fāzi.** Šajā konkrētajā gadījumā A salīdzinājums ar C dod mums rezultātu, kurā abas vibrācijas atrodas pus cikla attālumā viena no otras – kad vienas amplitūda sasniedz augstāko punktu, otra – zemāko. Fāzes nobīdi varam aprēķināt arī matemātiski. Laika atšķirību starp abiem instrumentiem konstatē izmērot attālumu starp augstākajiem viena vibrāciju cikla punktiem. Pieņemsim ka atšķirība ir 2ms. Jāizmēra arī paša cikla garums. Pieņemsim ka tas ir 13ms. Tas nozīmē ka fāzes atšķirība ir 2/13 no cikla. Fāzes atšķirība parasti tiek izteikta grādos kā aplis. Ja fāzes atšķirība būtu pus cikls, tas tiktu aprēķināts kā

$$\frac{1}{2} \times 360^\circ = 180^\circ$$

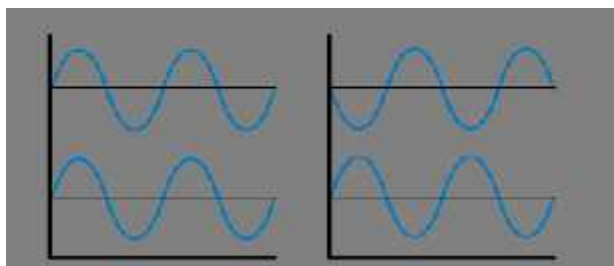
Šajā gadījumā mūsu aprēķins būtu

$$2/13 \times 360^\circ = 55^\circ$$

Tātad abu instrumentu fāzes nobīde ir 55°

Praksē gan vienīgi elektroniski veidotai skaņai ir iespējams izveidot nemainīgu fāžu atšķirību ilgākā laika periodā. Dzīvu cilvēku izpildījumā fāžu atšķirības dažādu individuālu faktoru rezultātā mēdz mainīties nepārtraukti. Tāpēc šādiem aprēķiniem ir neprecīzs un vairāk informatīvs raksturs.

Fāzes nobīdi mēdz saukt arī par **kora efektu**, ko bieži speciāli izmanto arī veidojot elektroniskus efektos un ierakstu tehnoloģijā – dubultojot vai daudzkrāsojot to pašu skaņu ar zināmu laika nobīdi.



Komplekso (salikto) vibrāciju analīze

Viss līdz šim aplūkotais lielākoties attiecināms uz vienkāršu vibrācijas ciklu, kura raksturīgā kustība ir uz priekšu un atpakaļ, atgriežoties miera stāvoklī un tā vibrāciju pamatprincips ir vienkārša harmoniskā kustība jeb sīnusa vilnis. Taču pētījumi ar jebkuru mūzikas instrumentu un visu mūziku kopumā rāda to, ka tā sastāv no daudz sarežģītākas formas viļņiem. Apskatot datora ekrānā jebkura skaņdarba skaņu vilni, reti tajā saskatīsim izteiktu regularitāti un vienkāršai harmoniskajai kustībai raksturīgo vienkāršību. Pat nekustīgā skaņas stāvoklī, lai arī periodiski atkārtojošus, varam novērot

viļņus ar asiem stūriem, dažādiem izliekumiem tikai vienā vai otrā pusē vai arī abās, taču – atšķirīgus, papildus viļņošanas, turklāt dažādos reģistros un dinamikā iegūsim savādākas formas un sastāva viļņus. Šāda izskata skaņu vibrācijas sauc par **kompleksajām vibrācijām**.

Vēl 1822.gadā franču matemātiķis Furjē (Fourier) atklāja ka jebkurš skaņu vilnis, kas atkāro sevi periodiski, lai cik sarežģīts neizskatītos kopumā, ir dažādu vienkāršu harmonisko kustību, jeb sinusoīdu apvienojums. Lai saprastu kādas tieši sīnusa viļņu kombinācijas atbilst konkrētajai kompleksajai vibrācijai, ir jāizdara atsevišķi mērījumi. Piemēram, iepriekšējos aprēķinos bija noskaidrots ka atkārtošana cikls bija 12,8ms (T), tātad frekvence pēc iepriekšējās formula – 78Hz. To, šajā gadījumā, strādājot ar periodiski sevi atkārtotāju skaņu, mēs saucam par **fundamentālo frekvenci**.

Furjē piedāvā vienkāršu veidu kā periodiski atkārtotajam skaņu vilnim izprast un aprēķināt pārējo izliekumu frekvences.

Tātad kompleksais vibrāciju vilnis (līkne) ir ekvivalents sīnusa vilnim ar fundamentālo frekvenci plus vēlvienu sīnusa vilni ar divreiz reizinātu fundamentālo frekvenci plus vēlvienu ar trīs reizes reizinātu fundamentālo frekvenci u.t.t.

Ja kompleksā vibrāciju līkne sastāv no daudziem izliekumiem un virsotnēm, tas nozīmē, ka tas sastāv no liela harmonisko komponentu, jeb vienkāršo harmonisko kustību daudzuma. Taču katrs nākamais komponents, jeb viļņa izliekums būs vilnis, kurā fundamentālā frekvence tiek reizināta ar reizēm, cik izliekumu ir ciklā.

Analizējot komplekso vibrāciju līkni, mums svarīgi noteikt arī katra līknes komponenta amplitūdu atsevišķi, tās attiecības ar citu komponentu amplitūdu (kas rāda komponenta, katas atsevišķās vienkāršās harmoniskās kustības intensitāti), kā arī komponentu fāzes. Fāzes atšķirība diviem it kā vienādiem komponentiem savienojoties kopā dažādos laikos var radīt gluži atšķirīgu, mainīgu zīmējumu, piemēram otrās frekvences izliekums var parādīties tikai cikla vienā pusē vai piemēram, punktā, kur tā šķēro nulles punktu, turklāt katreiz – nedaudz atšķirīgi.

Harmoniskais spektrs

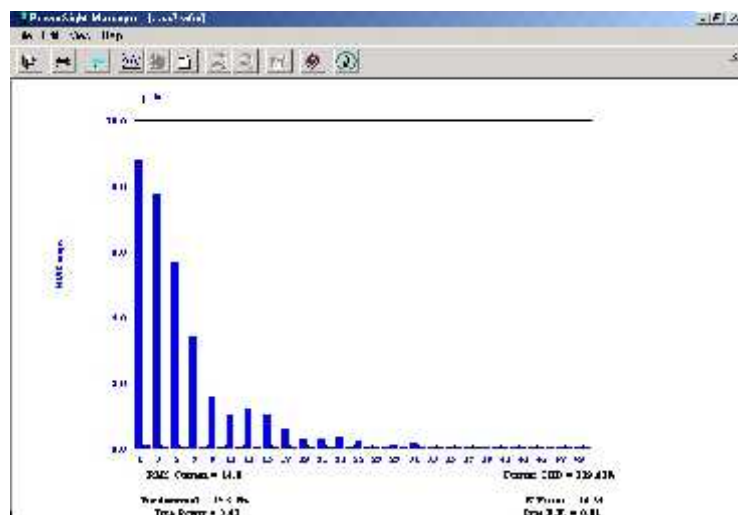
Daudzos gadījumos kompleksās vibrācijas muzikālais skanējums ir atkarīgs gandrīz vai tikai no Furjē komponentu, jeb daudzo, vienā apvienoto vibrāciju amplitūdām un fāžu atšķirībām.

Ja kompleksās vibrācijas atkārtojas periodiski, neatkarīgi no tā vai, piemēram divos atšķirīgos viena instrumenta skaņas ierakstos vibrāciju komponenti vizuāli analizējot atrodas vienā un tajā pašā vai nedaudz citā vietā, bet saglabājas to periodiskums, fāzes un amplitūda, mēs nejutīsim gandrīz nekādas izmaiņas klausoties skaņu. Atšķirību jutīsim tikai tad ja proporcijas starp komponentiem un to raksturīgajiem lielumiem mainīsies ļoti būtiski.

Šādā gadījumā bieži adekvāti ir kompleksās vibrācijas analizēt piefiksējot vienīgi Furjē komponentu amplitūdas. Nupat runājām, ka katra nākamā komponenta frekvences ir 1,2,3,4 u.t.t. reizes reizināta fundamentālā frekvence. Analogiski tās atbilst arī 1,2,3,4, u.t.t. **virsskaņām (virstoņiem) dabisko virsskaņu (virstoņu) rindā.** Tādējādi pirmā virsskaņa atbilst fundamentālajai

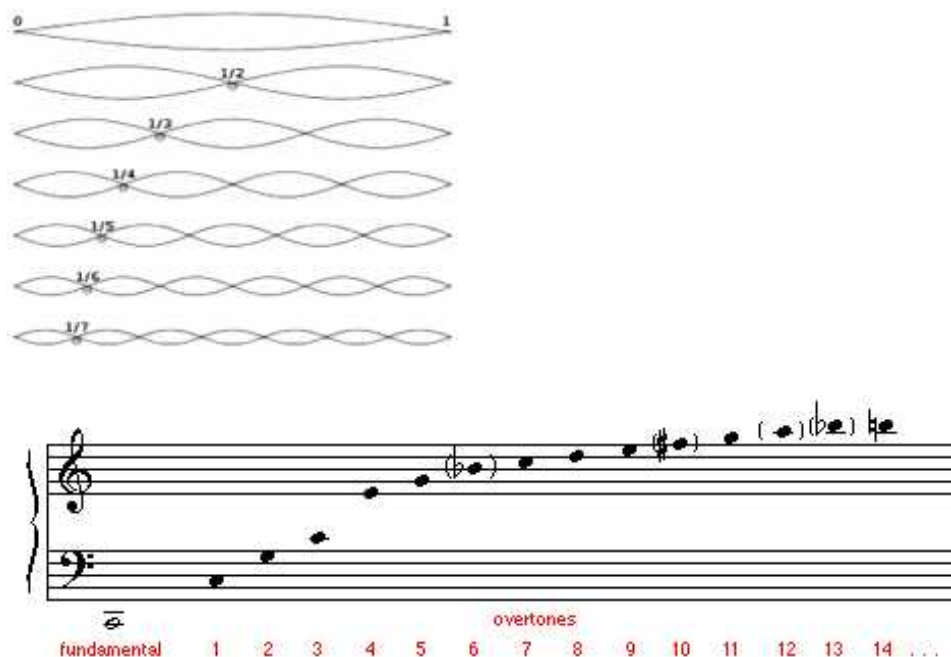
frekvencei, otrā – fundamentālā $\times 2$, $3 - \times 3$ u.t.t. Atšķirties var tikai šo virsskaņu intensitāte, skaļums. Līdzīgi kā attakas moments skaņas iesākumā, noteiktu virsskaņu amplitūdu intensitāte ir īpašība, kas nosaka un raksturo katra konkrēta instrumenta tembru. Ir instrumenti, kuriem ļoti izteiktas, dzirdamas, skaļas ir tieši apakšējās virsskaņas, ir tādi, kuriem – tieši ļoti augstas un attālas virsskaņas, vidū izveidojot tādu kā virsskaņu bedri.

Grafiks, kā attēlot dažādu virsskaņu intensitāti tiek saukts par harmonisko spektru.



To grafiski attēlo ar vertikālām līnijām. Augstums norāda virsskaņas amplitūdu, horizontālā līnija – virsskaņu numurus no kreisās uz labo un skaņas augstums hercos. Kompleksās vibrācijas gadījumā šajā grafikā mēs atzīmējam katra harmoniskā komponenta frekvenci un tā amplitūdu. Apskatot un analizējot dzīvu mūzikas instrumentu skaņu, komponentu šādos gadījumos mēdz būt ļoti daudz. Harmoniskā spektra, virsskaņu veidošanas modelis uzskatāmi novērojams arī akustiski spēlējot flažoletus uz stīgu instrumentiem – tikai stīgai pieskaroties tās vidū pamatskaņa skan oktāvu augstāk. Sadalot stīgu uz pusēm un piespiežot vēl pusē no puses, iegūstam kvintu, tālāk – kvartu u.t.t.

Virsskaņas un to frekvences rodas sadalot stīgu (stīgu instrumentiem) vai gaisa stabu (pūšaminstrumentiem) vienādās, proporcionālās daļās, katreiz stīgas vai gaisa staba pusi dalot par vienu skaitli vairākās daļās (2-3-4 u.t.t.). Šādā veidā rodas tā saucamā dabisko virsskaņu rinda – skaņas DNS modelis, tembra galvenais pamats, viena no nozīmīgākajām un noslēpumainākajām, metafiziskākajām parādībām skaņas fizikā.



Neperiodisku skaņu analīze

Ja nonākam pie sitaminstrumentu bez noteikta skaņas augstuma vai atsevišķu strinkšķināmo instrumentu skaņas analīzes, konstatējam, ka vibrācijām vairs nav raksturīgs viennozīmīgi periodisks atkārtojums. **Šajā gadījumā varam runāt par neperiodiskām skaņu vibrācijām.**

Arī šajā gadījumā lielākoties tomēr iespējams sadalīt šīs neperiodiskās vibrācijas atsevišķos sinusveidīgu vibrāciju komponentos, taču daudzos gadījumos vairs nebūs spēkā frekvenču vienkāršā reizinājāšana ar skaitu.

Komponentus nevaram nosaukt vairs tikai par virsskaņām (harmonics), bet par sastāvdaļām, no kurām grūti secināt kaut ko par frekvenču lielumiem. Harmoniskais spektrs šajā gadījumā tiek aizstāts ar frekvenču spektru, kas rāda daudz sarežģītākas detaļas. Piemēram klavieru skaņas gadījumā frekvenču spektrs būs pat līdzīgs daudz diezgan vienkāršam harmoniskajam spektram, bet daudzi sitaminstrumenti rādīs ļoti daudzas tuvu novietotas inharmoniskas sastāvdaļas, ļoti blīvu un sākotnēji – šķietami neloģisku frekvenču spektru.

Sarežģītāki aprēķini un matemātiski vienādojumi nāk talkā lai izskaidrotu arī šo skaņu anatomiju. Taču tas prasa vēl plašākas un daudzpusīgākas skaņas fizikas un matemātikas zināšanas.

SKAŅAS PĀRRAIDĪŠANA KLAUSĪTĀJAM

Esam uzzinājuši, ka skaņas sastāv no daudziem parametriem un komponentiem, kuri pamatā nosaka skaņas augstumu, skaļumu, ilgumu, tembru – skaņas galveno būtību.

Noskaidrojām ka skaņa ir kustība – instrumenta kustība, stīgas kustība, gaisa kustība, kas rada raksturīgo augstumu pateicoties frekvencei, periodiskumam vai neperiodiskumam, amplitūdai. Tā ir vibrācija, enerģija.

Taču skaidrs ir arī tas ka lai nonāktu līdz klausītājam, skaņai jāpārvar zināms attālums un dažādi šķēršļi.

Skaņas vilnis starp instrumentu un klausītāja ausīm nonāk ar gaisa starpniecību, kas ir ļoti svarīgs skaņas kvalitātes noteikums.

Gaisa likumsakarības un īpašības jāņem vērā gan būvējot koncertzāles, gan instrumentus, gan spēlējot mūziku noteiktos apstākļos.

Skaņu viļņu izplatība gaisā

Skaņai spēj pārvietoties ūdenī, dažādās gāzēs, taču, protams, vistradicionālākais un mums pierastākais veids kā skaņa pārvietojas dabā ir gaiss, atmosfēra.

Visvienkāršāk skaņas kustību iztēloties redzot sitienu pa bungām. Varam iedomāties ka gaiss virs bungu ādas ir sadalīts nosacītos slāņos. Līdzīgos kā maizes šķēles, novietotas viena virs otras vai vēl vienkāršāk – domino kauliņi. Kā mēs jau zinām, iesitot pa bungu membrānu, tā kustas augšup un lejup. Kad membrāna kustās augšup, pirmais gaisa slānis, kas ir virs tās tiek pastumts uz augšu. Bet tā kā tas nav brīvs un neatkarīgs, bet virs tā ir citi gaisa slāņi, tas uz brīdi saspiežas, radot lielāku gaisa spiedienu starp sevi un nākamo gaisa slāni. Ar šī spiediena palīdzību tas iekustina nākamo gaisa slāni, kas līdzīgi sapiežas un iekustina nākamo slāni.

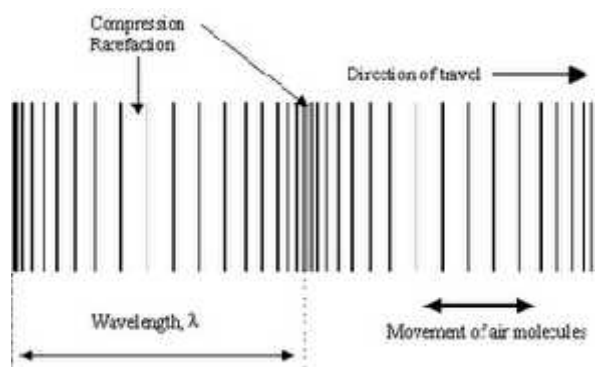
Taču membrānas kustībai augšup seko kustība lejup. Gaisa slāņi rīkojas analogiski – pirmais izplešas, sajūtot zem sevis brīvu papildus vietu, otrais izplešas virsū pirmajam u.t.t. Tādējādi šinī brīdī gaisa slāņu starpā atmosfēras spiediens ievērojami samazinās. Seko visa tā pati kustība augšup u.t.t. Skaņas vibrācijas kustību, pārvietošanos ar šādas saspiešanās un atlaišanās palīdzību mēs saucam par **skaņas vilni**. Šī gaisa kustība ir līdzīga apļu principam ūdenī, kad tajā iemet akmeni. To atklāja jau minētais Romas arhitekts Vitruvius.

Viļņa garenvirziena kustība un viļņa garums

Ja mums būtu iespēja izsekot nelielam gaisa slānim, kurš nonācis skaņas viļņa ceļā, kā iepriekš secinājām – varam novērot ka tas kustas uz priekšu un atpakaļ līdz pašam skaņas vilnim. To mēs saucam par **viļņa garenvirziena (Longitudinal) kustību**. Vēlāk apskatīsim arī citu viļņa kustības veidu, kad gaisa vai citas kādas citas vielas, kas pārraida skaņu, slāņi vibrē virzienā, kurš ir perpendikulārs skaņas vilnim. To sauc par **transverso viļņa kustību**.

Diemžēl gaisa slāņu, un līdz ar to – skaņas viļņu kustību gaisā konstatēt nav viegli, ieraudzīt – neiespējami, jo atšķirībā no bungu ādas vai stīgas kustības, gaiss ir ar acīm neredzama gāze. Tomēr dažādi mēraparāti spēj mums atklāt šo kustības principu un likt to gaisa kustības fizikas pamatā. Iepriekšējā nodaļā minēto gaisa slāņu kustību, kura pārvieto no instrumenta nākošās skaņas vibrācijas virs bungu membrānas vai, tikpat labi pie kāda instrumenta stīgas vai pūšaminstrumenta piluves, lielākos gaisa slāņu posmos varam attēlot ar vienkāršu salīdzinājumu: Iedomāsimies daudzus cilvēkus, kuri stāv sadevušies rokās, precīzi vienādos attālumos viens no otra. Pirmajam rindā nosveroties uz rindas ārpusi, tas ar savu spēku un inerci iekustina arī nākamo, otrais – trešo, trešais ceturto, piekto u.t.t, pats tanī pat laikā, lai pilnībā nenokristu, cenšoties atgriezties

sākuma pozīcijā, taču dabiska kustības inerces, sākumpozīcijā atgriežoties, liek nosvērties arī uz otru pusi, taču pēc tam atkal atkal atgriezties sākumpozīcijā. Jāņem vērā ka katrs no cilvēkiem kustās no vienas puses uz otru neizkāpjot no savas fiksētās atrašanās vietas, pozīcijas. Katrs nākamais posma dalībnieks, saprotami, šo kustību izpilda ar nelielu laika nobīdi, tāpēc atsevišķi ķēdē esoši cilvēki kādā brīdī veiks pat pretējas kustības – viens nosvērsies, otrs – atgriezīsies sākumpunkta, izraisot saduršanos. Tomēr viena likumsakarība ir neizbēgama – pēc noteikta cilvēku skaita ķēdē kādam izdosies atkārtot burtiski to pašu kustību kā pirmajam, iekustinātājam, sākt šo kustības ciklu no gala. Pēc cik cilvēkiem šis cikls atkārtosies, atkarīgs no tā, cik spēcīga ir savēršanās un cik ātra.



Attālumu starp šādiem diviem vienādiem kustības posmiem sauc par **viļņa garumu**. To parasti apzīmē ar grieķu burtu lambda - λ .

Līdzīgi kā piemērā ar cilvēkiem, ir arī ar gaisa slāņiem – katrs no tiem stāv savā nekustīgā pozīcijā pirms viļņa atnākšanas, izpilda savu kustību, ko rada skaņas vilnis, iekustina nākamo gaisa slāni un elastīgi atgriežas sākumpozīcijā, skaņas vilnim aizejot. Pēc zināma kustību – pretkustību daudzuma, šis kustību cikls sākas no gala. Šeit mēs sastopamies ar viļņa garuma jēdzienu.

Šis salīdzinājums ar regulāriem, izteikti periodiskiem viļņa garuma atkārotojumiem vienādā attālumā gan raksturīgs vienkāršajai harmoniskajai kustībai, jeb tīrai bezvirsskaņu skaņai. Jāņem vērā, ka tembrāli bagātīgā skaņā, kurā daudzas skaņai piemītošās virsskaņas skan jo izteikti, katra no šīm virsskaņām arī pati ar savu skaņas vibrācijas spēku iekustinās gaisa slāņus un līdz ar to, šī gaisa slāņu pārvietošanās kompleksajām vibrācijām būs daudz sarežģītāka..

Spiediens skaņas vilnī

Iepriekš ilustrētajā cilvēku ķēdē novērojami posmi, kad blakusesošie cilvēki vai gaisa slāņi saspiež stingri kādu, kurš stāv taisni, kustoties pretējos virzienos, tādējādi radot palielinātu gaisa spiedienu savā starpā, līdzīgi kā arī pretēja tendence – no cita taisni stāvošā blakusesošie stipri nobīdās, radot samazinātu gaisa spiedienu. Šī enerģijas inerces gaisā, spiedienu maiņa, pats spiediens kuru izraisījis mūzikas avots ir būtisks līdzeklis, enerģija, ar kura palīdzību pārvietojas skaņa. Interesanti ka gaisa spiediena maksimums un minimums nav saistīti ar vistālāko nobīdi no sākumpozīcijas, gluži otrādi, parasti vislielāko spiedienu rada posmi, kuri ir vistuvāk nekustīgā sākumpozīcijā stāvošajiem (saspiež taisni stāvošo vai izplešas no taisni stāvošā), bet ne tie kuri gāžas vistālāk uz abām pusēm.

Skaņas ātrums

Blakus citām īpašībām, ļoti liela nozīme ir skaņas ātrumam – noteicošajam lielumam, lai mēs zinātu pēc cik ilga laika skaņa no instrumenta nonāks līdz klausītājam. Fizikas terminoloģijā tas nozīmē – cik ātri gaisa slāņi būs spējīgi izplesties un sarauties, nogādājot skaņas viļņus līdz adresātā.

Skaņas ātrums ir ļoti atkarīgs no gaisa īpašībām. Telpā, sausā gaisā, kur gaisa temperatūra ir 20 grādi pēc Celsija, skaņas ātrums vidēji ir **343 metri sekundē**. Šis skaitlis ir universāli pieņemts kā vidējais skaņas izplatīšanās ātrums normālos apstākļos. Lai piešķirtu šim skaitlim vairāk muzikālu nozīmi, varam lietot dažas formulas, lai saprastu cik ātri skaņa nonāks līdz klausītājam koncertzālē.

Pieņemsim ka **attālums ir d, laiks t un skaņas ātrums c.**

Pirmā formula ļauj mums aprēķināt pašu skaņas ātrumu, ja zinām attālumu no instrumenta līdz klausītājam un laiku, kāds paiet tai ceļojot

$$c = d/t$$

Tātad – ātrums ir vienāds ar attālumu līdz klausītājam dalītu ar laiku ko skaņa pavada.

Varam apgriezt šo formulu, lai aprēķinātu laiku, kāds būs vajadzīgs, lai skaņa nonāktu līdz klausītājam, ja zinām attālumu un skaņas ātrumu:

$$t = d/c$$

Iespējams aprēķināt arī attālumu, šoreiz formulu apgriežot pretējā virzienā:

$$d = c \times t$$

Praktiski aprēķinot kaut vai tikai laika līkni – ja attālums no instrumenta līdz klausītājam ir 50m, ātrums – 343m/s vidējais pie 20 grādiem pēc Celsija, sanāks sekojoši skaitļi

$$t = 50/343 = \sim 0,15\text{sec.}$$

Tātad apmēram 1/7 daļa sekundes kas šķir klausītāju no uz skatuves notiekošā. Ļoti ātrā mūzikā tā pat varētu būt vienas nots atšķirība, taču praktiski tas nav gandrīz jūtams. Šāda tipa kavēšanās var traucēt vienīgi gadījumos, ja kaut kādu iemeslu dēļ mūziķi ir viens no otra ļoti attālināti, kā tas piemēram ir senajā mūzikā – Gabrieli antifonu kora darbos vai mūsdienu mūzikā (K.Štokauzens – *Gruppen*) vai milzīgās, nepārredzamās orķestra vai kora masās (G.Mālera 8.simfonija, dziesmusvētku kopkoris). Tādos gadījumos nepieciešams diriģents vai pat vairāki, jo mūziķi paši kā klausītāji subjektīvi uztver skaņas pienākšanas brīdi no cita mūziķa vai grupas līdz viņu ausīm un spējai laicīgi reaģēt.

Skaņa un temperatūra

Telpas, gaisa temperatūra ir būtisks elements, kas nosaka ne tikai paša spēlētāja komfortu, bet arī skaņas augstumu, kurš, lai cik neparasti tas neskanētu, saistīts ar skaņas spēju pārvietoties. Katrs pūšaminstrumentu spēlētājs zin, ko nozīmē pirms uzstāšanās sildīt instrumentu. Ja pie 20 grādiem pēc Celsija (turpmāk – C) skaņas ātrums ir 343 metri sekundē, tad pie 0 grādiem pēc C tas ir 331 metrs sekundē. It kā atšķirība skaņas ātrumā šķiet neliela, taču, atsevišķos gadījumos tā var spēlēt visai izšķirošu lomu. Piemēram, ērģeles, kuras darbojas līdzīgi pūšaminstrumentiem – ar gaisa pūšanu. Ziemā, maz kurinātās lauku baznīcās, pie diezgan zemas temperatūras, gaiss, kurš nonāk ērģeļu stabulēs ir auksts, to nav iespējams tik vienkārši sasildīt kā pūšaminstrumenta mēlīti vai pašu instrumentu. Gaiss zemā temperatūrā kļūst biezāks, kustas lēnāk un līdz ar to ar pietiekamu jaudu nespēj apgādāt stabuļu mehānismus, kas var radīt atšķirību skaņu augstumos, skaņu pazeminot līdz pat pustonim – instruments netiek apgādāts ar pietiekamu gaisa spiedienu, nespēj vibrēt pietiekami.

Likumsakarība – jo augstāka temperatūra, jo lielāks skaņas ātrums.

Vēlviens svarīgs nosacījums paralēli gaisa temperatūrai ir arī telpas un gaisa mitrums vai pretēji – sausums. Teiktais attiecas uz vidēji sausām telpām.

Šis apstāklis ir par iemeslu arī tam, ka dažādās ģeogrāfiskās klimata joslās mūzika var skanēt savādāk, it īpaši āra apstākļos karstos un mitros reģionos mitrums skaņas pārvietošanos var būtiski palēnināt, neraugoties uz iepriekš teikto likumību, ka augstākā temperatūrā skaņas ātrums ir lielāks. Protams, šodien modernas koncertzāles visdažādākajās klimatiskajās zonās ir apgādātas ar gaisa kodicionēšanas sistēmām, kas telpas mitrumu un temperatūru izlīdzina līdz vēlamajam.

Arī klasiskie pūšaminstrumenti saistīti ar silta un mitra gaisa cirkulēšanu tajos, radot teju tropiskus apstākļus instrumentā, pie jebkādas āra temperatūras. Tādēļ, lai viss instruments normāli funkcionētu un skanētu pareizos augstumos, tam viscaur būtu jābūt vismaz līdzīgā temperatūrā kā gaiss kas ir tajā. Lielākajā daļā instrumentu skaņa rodas no gaisa, kurš ir vidēji 35 grādu pēc C silts, taču pūšot, līdz instrumenta galam – piltuvei, tas atdziest pat līdz 25 grādiem pēc C un zemāk, atkarībā no instrumenta lieluma. Šī gaisa kustībā ārā no instrumenta tādējādi aukstā temperatūrā ir nedaudz lēnāka, karstā – nedaudz ātrāka. Tādējādi ja vēlamies apspriest ātrumu ar kādu pūšaminstrumentos pārvietojas gaiss, mums par skaitli jāņem **vidējais izelpota mitra gaisa radītais skaņas ātrums**, kāds tas izplūst no instrumenta kurš pie 25 grādiem pēc C ir 246 metri sekundē.

Viļņa garums, frekvence un skaņas ātrums

Skaņas sastāvdaļas un īpašības praktiski nav fizikāli atdalāmas viena no otras, jo vairāk mēs zinām par skaņu un apstākļiem kādā tā rodas un skan, jo vairāk datu par skaņu mums ir, jo vairāk papildus informācijas par skaņu mums ir iespējams iegūt, uzzināt par vēl citām skaņas īpašībām. Tādējādi, piemēram, aplūkojot pūšaminstrumentu skaņas rašanās principus, mēs varam runāt gan par **viļņa garuma** ietekmi uz skaņu gan arī no iepriekš apgūtās vielas secināt, ka katras skaņas augstums ir atkarīgs no gaisa vibrācijas **frekvences** instrumentā. Šie lielumi ir savstarpēji cieši saistīti, tāpēc, ja

zinām vibrācijas frekvenci varam uzzināt skaņas viļņa garumu, vai uzzināt frekvenci, ja zinām tikai viļņa garumu.

Piemērs. Ja atceramies salīdzinājumu ar cilvēkiem, kas sadevušies rokās un šūpojas, tad šī kustība dod mums priekšstatu par divām lietām – **viļņa garumu** – pēc cik cilvēkiem kustības cikls atkārtosies, ko mēs apzīmējam ar burtu λ un cik ilgā laikā kustība nonāk līdz cilvēkam, kurš atkārtoti šo identisko kustību – tas būs laika periods, kurā notiek šīs kustība. Ar šiem parametriem iespējams aprēķināt skaņas viļņa ātrumu:

$$c = \lambda / T$$

Piemēram ja skaņas viļņa garums ir 8m ko tas nogājis 4sekundēs, skaņas viļņa ātrums būs 2m sekundē ($8/4 = 2$).

Līdzīgi, jau sen noskaidrojām ka vibrācijas frekvence ir tieši saistīta ar frekvences periodu:

Sasaistot skaņas ātrumu, viļņa garumu un frekvenci, mēs varam iegūt sekojošus aprēķinus:

$$\lambda = c / f \text{ - viļņa garums ir ātrums dalīts ar frekvenci}$$

un

$$f = c / \lambda \text{ - frekvence ir ātrums dalīts ar viļņa garumu}$$

Piemērs. Ja čella skaņa noteiktā augstumā atbilst 78Hz frekvencei, tad tas nozīmē ka skaņas vilnim, ko rada šī frekvence gaisā vajadzētu būt atbilstoši šai frekvencei. Tādējādi lietojot formulu $\lambda = c / f$ mēs secināsim ka :

$$\lambda = 343\text{ms} / 78\text{Hz} = 4,4\text{m}.$$

Tas nozīmē ka nākamais skaņas viļņa sadures punkts, kurā atkārtojas kustība, būs tikai pēc 4,4m ar šādu frekvenci. Jo augstāka skaņa, jo šis punkts būs tuvāk.

Līdz ar to secinām – **jo augstāka skaņa, augstāks skaņas frekvences skaitlis, jo īsāks būs skaņas viļņa garums, jo skaņa zemāka – jo skaņas viļņa garums – lielāks.**

Attiecīgi, otrāda aprēķina rezultātā, pēc formulas $f = c / \lambda$ mēs iegūstam atbilstošu rezultātu –

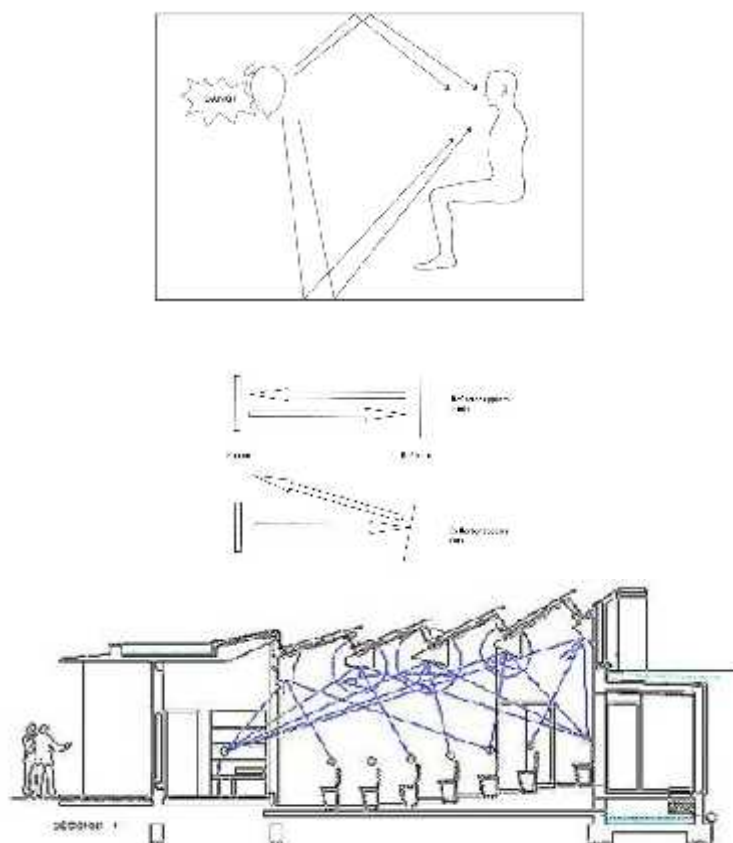
$$f = 343\text{ms} / 4,4\text{m} = \sim 78\text{Hz}$$

Atstarošana

Atgriezīsimies pie bungu ādas ievibrētā gaisa, kurš ceļ augšup gaisa slāņus, kuri spiežot viens otru, gaisā pārvieto skaņu. Pēc iepriekš runātā, rodas iespaids ka viļņi ceļo tikai augšup vai citu

instrumentu gadījumā – skaņas kustības virzienā. Patiesībā skaņu viļņi gaisā izplatās ne tikai uz augšu, bet dažādā intensitātē – uz visām pusēm. Tomēr lielākā daļa skaņas viļņu ceļas augšup vai pārvietojas skaņas kustības virzienā ārā no instrumenta. Šī izstarotā enerģija netiek iztērēta – sasniegusi telpas griestus, sienas, grīdu, tā tiek atstarota atpakaļ telpas izplatījumā un turpina savu ceļu tālāk.

Skaņas daba šajā gadījumā ir līdzīga kā gaismai, kas tiek atstarota spogulī. Ja griesti ir pilnīgi horizontāli, skaņa nāks atpakaļ tieši lejup. Tomēr daudzās koncertzālēs virs skatuves griesti nav pilnīgi plakani, bet ir ieliekti. Tas domāts tam lai skaņa nekristu atpakaļ orķestrī, bet līdzīgi kā spogulī, tiktu starota klausītāju zālē. Tas ir viens no telpas akustikas un koncertzāļu būvniecības pamatprincipiem. Ne velti agrākos laikos brīvdabas koncertzāles cēla gliemežvāku fomā – šāds izliekums veiksmīgi kā vairogs atstaro skaņu tālāk klausītāju virzienā. Šodien šie principi tiek izmantoti daudz sarežģītākās būvniecības tehnoloģijās.



Atkarībā no telpas lieluma, akustiķa un arhitekta ieceres, mēdz būt dažādi telpas izliekumi, kas dod dažādus akustiskus efektus, paredzēti dažāda veida mūzikai. Šeit, neapšaubāmi, papildus telpas izliekumiem un formai, svarīgi arī materiāli, no kādiem būvēta koncertzāle.

Atstarošanas princips nepiemīt vien telpām, kurās tiek atskaņota mūzika, bet arī pašu instrumentu konstrukcijai. Pūšaminstrumentu, it īpaši metāla pūšaminstrumentu konstrukcijā, brīdī, kad skaņas

vilnis sasniedz asus instrumenta izliekumus, vai instrumenta paplašināto galu, daļa tā enerģijas tiek atstarota atpakaļ dažādās instrumenta daļās, kas papildus nosaka katra konkrēta instrumenta skaņas, tembra īpašības.

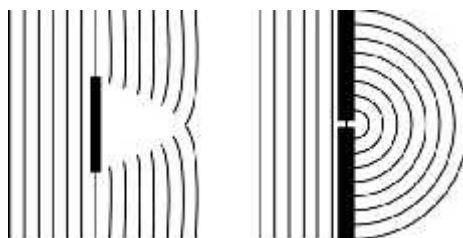
Skaņas izliekšanās (diffraction)

Vēl viena interesanta un būtiska skaņas īpašība ir tās spēja apiet visdažādākos šķēršļus un dažkārt pat – iziet tiem cauri. Koncertā, neveiksmīgi izvēloties vietas un sēžot aiz staba, mēs neredzam mūziķus, taču, ja vien nesēžam aiz biezās sienas vai ļoti liela šķēršļa, dzirdam tos tikpat labi kā citur zālē. Tāpēc jautājums par to, ka šajās vietās arī dzirdamība ir sliktāka, normālos apstākļos, pie nelieliem šķēršļiem ir vairāk psiholoģisks – klausītājs zaudējot acu kontaktu ar uz skatuves notiekošo, zaudē daļu viņam interesējošās informācijas, kas arī rada šo šķietamo iespaidu. Dzirdamība nepaslikinās vien tāpēc, ka skaņa nonāk pie mums daudzu dažādu atstarošanu rezultātā, bet arī tāpēc ka skaņa spēj apņemt, apliekties apkārt stabam.

Piemēram, ja mēs pat sēdētu tikai dažu centimetru attālumā, aiz palielas balkona kolonnas, mums vajadzētu būt pilnīgi piekļāvušamies tai, lai mēs justu pavisam minimālas izmaiņas skaņas stiprumā. Šo vietu, kurā mēs jūtam minimālas izmaiņas sauc par **skaņas ēnas** zonu.

Taču tūlīt pat aiz kolonnas skaņas viļņi atkal savienojas un dod mums to pašu skaņas intensitāti, it kā šīs kolonnas nemaz nebūtu. Šādi šķēršļi skaņas viļņu pārvietošanos ietekmē gluži minimāli, lai kur arī telpā mēs neatrastos.

Līdzīgs šķērslis ir atvērtas durvis. Sākotnēji skaņa atduras pret pretējo sienu, taču tad pa durvīm pakāpeniski ieplūst otrā telpā, atkal izplešoties un ieņemot to pašu intensitāti. Šajā gadījumā skaņas ēnas zona būs abās pusēs tieši aiz durvīm.



Taču ne visos gadījumos tas ir tā. Ļoti būtisks nosacījums ir, ka **viļņa garumam jābūt lielākam kā staba vai cita šķēršļa palatumam. Ja viļņa garums ir īsāks, skaņa apejot šķērslī nesavienojas atpakaļ** – aiziet katra pa savu pusi vai savienojas minimāli, līdzīgi ieejot pa durvīm, paliek durvju līnijas platumā.

Tas ir ļoti līdzīgi kā ar gaismu – tā izplatās pēc ļoti līdzīgiem principiem – jo spēcīgāks prožektors apspīd stabu, jo mums lielāka garantija ka arī aiz staba būs tikpat gaišs, ja maza lampiņa, aiz šķēršļa valda tumsa.

Zinot viļņa garuma attiecības ar frekvenci, varam izdarīt loģiskus secinājumus – **jo zemākas frekvences skaņa, ar zemāku skaņas augstumu, jo labāk tā apiet šķēršļus, jo augstāka jo sliktāk.** Par to mēs varam pārlicināties kaut vai klubos, kur intensīvas, skaļas deju mūzikas gadījumā, atrodoties aiz kluba durvīm, vislabāk mēs dzirdēsim zemās skaņas un basus. Simfoniskā orķestra gadījumā, kurā spēlē dažādu augstumu instrumenti – tas nozīmē – ar dažādiem skaņas viļņa garumiem – skaņas intensitāte nav tik liela kā elektroniski pastiprinātu skaņu gadījumā, lai tā dēļ aiz kolonnas mēs dzirdētu vien čellus un kontrabasus, bet flautas ne. Tomēr ļoti minimālas izmaiņas, akarbā no apstākļiem, dažos gadījumos var būt.

Līdz ar to teorētiski varam secināt ka ja sēdēsim aiz plata, fundamentāla šķēršļa un klausīsimies jauktu instrumentu sastāvu, kurā piemēram būs gan čells gan pikolo flauta, tomēr ne visu mūziku spēsim uztvert pilnvērtīgi un līdzīgi kā sēžot labākā vietā.

Interference (mijiedarbība)

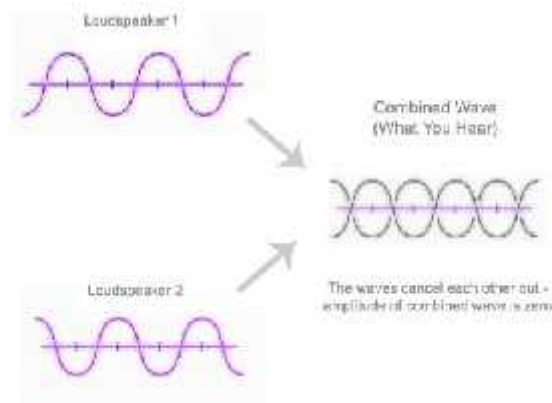
Pierādīts ka viena atsevišķa instrumenta raidīts skaņas vilnis, daudzu kopā spēlējošu instrumentu ansablī nonāks līdz klausītājam kā viena, neatkarīga skaņas vibrācija. Pavadošie vai līdzspēlējošie instrumenti šo vienu konkrēto skaņas vilni nekādā veidā fizikāli neietekmē, arī tie ir neatkarīgas gaisa vibrācijas un viļņi. Skaņas viļņi šādā nozīmē viens ar otru nemijiedarbojas, ir pietiekami neatkarīgi. Tomēr vienā un tanī pašā telpā blakus pastāvot un blakus gaisā ceļojot vairākiem skaņu viļņiem, rodas dažādi ļoti interesanti efekti, par daļu no kuriem runāsim šeit, daļu – vēlākajās nodaļās.

Ar terminu **interference** apzīmē interesantu efektu kas rodas, kad vairākas vienlaicīgas skaņas ir sasniegušas mērķi – klausītāju vai, tikpat labi – mikrofonu ierakstu studijā.

Iedomāsimies divus flautistus, kuri precīzi vienādos attālumos stāv zem griestos iekārta mikrofona, vienādos attālumos no visām telpas sienām un spēlē vienu un to pašu noti. Kādi būs mērījumi ko redzēsim oscilogrāfā?

Pirmkārt, tas ir atkarīgs no abu flautu frekvenes cikla fāzes. Ja viņi spēlē pilnīgi sinhroni, bez fāžu nobīdes, kas dabā praktiski nav iespējams, tad oscilogrāfā redzēsim tieši to pašu vibrāciju līkni tikai ar palielinātu amplitūdu, kas ir rezultāts dubultam gaisa spiedienam, jo divi instrumenti spēlē identiski to pašu, rodas dubults skaļums.

Daudz interesantāks efekts rodas ja abas flautas spēlē ar pus fāzes jeb 180° nobīdi – kad viena līkne atrodas augšā, otra apakšā. Fizikāli notiek savdabīga parādība – brīdī, kad vienas flautas skaņu vilnis saspiež gaisa slāņus, otras flautas – pretēji – izpleš un tas ko mēs redzam oscilogrāfā ir paradokss – līkne ir pazudusi, rādot absolūtu nulli, jo skaņas spiediens viens otru dīvaini neitralizējis.



Šādas situācijas tikpat kā praksē nepastāv, jo lai arī diviem instrumentiem daudz iespējamāk ir spēlēt ar pus fāzes nobīdi, kā identiskā vibrācijas fāzē, tomēr vienmērīga, nemainīgas pus fāzes nobīde dzīvu instrumentu muzicēšanas praksē tikpat kā nav sastopama – dažādu cilvēcisku faktoru dēļ tā nepārtraukti mainās.

Vēl dzīvā muzicēšanas situācijā jāņem vērā, ka diez vai abi flautisti telpā atradīsies līdz milimetram identiskos attālumos no sienas. Kā zināms, siena skaņu atstaro. Turklāt tā flautista skaņa, kurš no sienas atradīsies tālāk, skaņa līdz mikrofonam atstarošanās rezultātā nonāks nedaudz lēnāk nekā tā, kas tuvāk. Tāpēc pat ja apstākļu sakritības dēļ notiktu kas līdzīgs iepriekš aprakstītajai fiziskajai skaņas interferencei, rezultāts nekad nebūtu pilnīga nulle, bet gan vienkārši daudz komplicētāks skaņu vilnis kā katrai no flautām atsevišķi, ar iespējams – samazinātu amplitūdu. Otrs iemesls kāpēc tā nevar notikt ir tas, ka abas flautas nekad nespēlēs tīru sīnusa skaņu, kurā nav papildus vibrācijas. Katra no flautu skaņām noteikti būs kompleksa vibrācija un katrs no skaņas komponentiem veidos savas attiecības ar otras skaņas komponentiem (virsskaņām). Tomēr šāds efekts varam viegli panākt elektroniski ģenerējot skaņu.

Pulsācija (Beats)

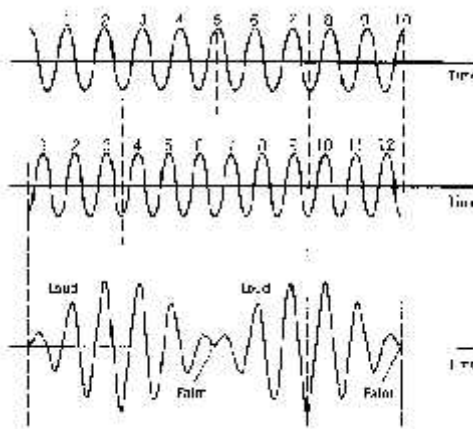
Kāds cits skaņu mijiedarbības efekts, mūziķiem tomēr ir pazīstams. Ja blakus tiek spēlētas divas skaņas, viena no kurām ir pavisam nedaudz atskaņojusies (runa iet par pus toni mazākiem intervāliem – ceturtdaļtoniem, astotdaļtoniem u.t.t.), tad skaņu starpā varam saklausīt tādu kā ritmisku, ciklisku pulsāciju.

Jo skaņas augstuma ziņā atrodas ziņā viena otrai tuvāk, jo pulsācija ir lēnāka, jo tālāk – ātrāka.

Tas notiek, jo abām skaņām ir pavisam nedaudz atšķirīga frekvence un klausītāja dzirdei mainās to relatīvā fāžu nobīde, kā rezultātā ir dzirdams pulss skaņu starpā.

Ja paskatīsimies uz šādu skaņu viļņa grafiku, redzēsim, ka apvienojot divus gluži regulārus skaņu viļņus vienā, vietām amplitūda sasniedz maksimumu, vietām tā ir tuvu nullei. Tas notiek iepriekšējā sadaļā apskatītā efekta dēļ – brīdī kad abi viļņi sakrīt relatīvi vienā fāzē, skaņas amplitūda ir

augstākajā punktā, brīdī kad fāzes ir pretējas, sākas skaņas minētā izspiešana – saraušanās pret izplešanos un amplitūda ir tuvu nullei. Šie fāžu radītie savdabīgie cikli arī rada ritmiskuma izjūtu.



Ja skaņām ir nemainīga frekvence, tad šis zīmējums izdosies regulārs. Tomēr arī tik precīza sakritība muzicējot akustiskiem instrumentiem gadīsies reti.

Pulsācijas ātruma skaitīšana un aprēķināšana ir arī kvalitatīvas mūsdienu klavieru skaņošanas tehnoloģiskajā pamatā. Skaitot pulsācijas vienības, sitienus sekundē, tiek noteikta frekvences atšķirība starp divām blakus skaņām.

Aprēķins ir gluži vienkāršs – sitienu jeb pulsāciju skaits sekundē ir vienāds ar skaitļa atšķirību frekvencē starp divām blakus skaņām – piemēram – 100Hz un 103Hz tās būs 3 pulsācijas sekundē.

Šādus principus ir diezgan grūti, taču ne iespējami pielietot, lai analizētu kompleksos skaņu viļņus, jo tajos visbiežāk sastopami daudzas vienlaicīgas pulsācijas dažādos ātrumos. Pulsāciju pētniecība iedvesmoja jau kursa sākumā minēto zinātnieku Helmholtzu izstrādāt konsonanšu un disonanšu teoriju.

Doplera efekts

Vislabākais piemērs lai ilustrētu šo efektu ir strauji braucošas ātrās palīdzības vai ugunsdzēsēju mašīnas sirēna, tai aiztraucot mums garām. Ko mēs dzirdam? Ja ievērojam, tad tai tuvojoties, skaņa paaugstinās, attālinoties – pazeminās. Sākotnēji šķiet ka tāda ir šīs sirēnas konstrukcija – tā maina augstumu. Taču tie ir maldī. Augstums saglabājas tas pats.

Iemesls tam ir vienkāršs – **kad pats skaņas avots strauji tuvojas un dodas skaņas izplatīšanās virzienā, viļņa garuma distanci, kura jau dodas klausītāja virzienā ar savu noteiktu ātrumu, reducē attālums, kuru pārvar pats skaņas avots tajā pašā virzienā.**

Rezultātā gaisa slāņi tiek vēl ievērojamāk saspiesti un arī pats skaņas vilnis tiek saspiests. Tā kā skaņas viļņa izplatīšanās ātrumu pats objekts iespaidot nevar, skaņa to saspiežot, paaugstinās.

Pretēji notiek kad objekts attālinās. Vilnis tiek izstiepts, viļņa garums pagarinās un skaņas augstums krītās.

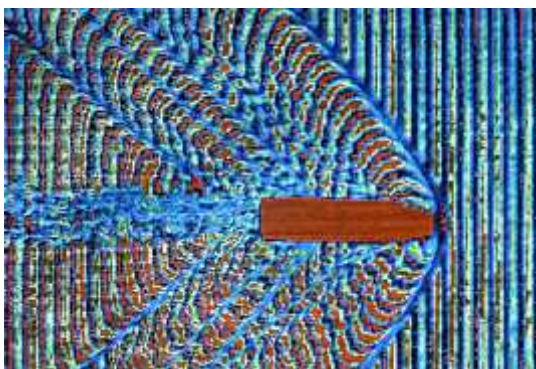
Objektiem, kuri pārvietojas ar ātrumu līdz 160km stundā, skaņas augstuma maiņa hercos atbilst ātrumam. Mašīna, kuras ātrums ir 97km stundā, var izmainīt skaņas augstumu gandrīz par mazu tercu.

Daudz nopietnāk ir ar reaktīvajiem dzinējiem, kuri, kā zināms, pārvar skaņas barjeru, pašiem objektiem pārvietojoties daudzas reizes ātrāk par pašas skaņas ātrumu. Gaiss šajā gadījumā tiek burtiski salauzts, gaisa slāņi sašķelti līdz tādai pakāpei, ka sākotnēji mēs nedzirdam nekādu skaņu, izveidojas savdabīgs tukšuma tunelis, rodas tā saucamie **šoka viļņi**, kas nenāk vis no lidmašīnas, bet no tā ka gāzes, kuras ir gaisā, tiek saspiestas ar milzu spēku un, atbrīvojoties rada sprādzienam līdzīgu skaņu. Šie gaisa slāņi, līdzīgi kā ierakstā koncentrēti uzkrājuši visu skaņas informāciju, kura pēc zināma brīža tikpat koncentrēti sakļaujas, radot šo sprādziena skaņu.

Šoka viļņi nozīmē to, ka viela, kurā ielaužas objekts (gaiss) nav bijusi tam fizikāli gatava un tas tiek burtiski saplēsts.

Mūsdienu aviācijā virsskaņas lidaparāti pārsniedz skaņas ātrumu 5 un vairāk reizes. Vēlāk, pēc krietna laika šoka viļņi var atgriezties un pārvērsties arī par normālas frekvences viļņiem, pēc kuriem varam secināt, ka tā bija lidmašīna.

Līdzīgs efekts novērojams arī ieročiem, lodes izšaušanas brīdī.



DZIRDE UN SKAŅAS

Mums ir skaidrs, ka visa pamatā ir vibrācijas – stīga vai gaisa ievibrēts instruments, kas skaņu viļņa formā ievibrē gaisu un skaņa, sarežģītu gaisa slāņu kustību rezultātā, pārvarot dažādus šķēršļus un atstarojoties no dažādiem objektiem nonāk līdz mūsu ausīm. Kā mūsu auss – viens no jūtīgākajiem cilvēka maņas orgāniem saņem, uztver un tulko tai raidītos skaņas viļņus un kāpēc?

Iespējams, ja mūsu dzirdes aparāta struktūra un darbība būtu savādāka, mēs skaņu pasauli dzirdētu un tulkotu daudz savādāk. Salīdzinot ar atsevišķiem dzīvnieku pasaules pārstāvjiem, cilvēka dzirdes aparāts nav visnevainojamākais un ideālākais – delfīni, sikspārņi, daudzas putnu sugas un daudzi citi faunas pārstāvji spēj uztvert daudz plašāku skaņas frekvenču amplitūdu, spēj dzirdēt tās no daudz lielāka attāluma. Taču tikai dažām dzīvnieku pasaules sugām zinātne spējusi pierādīt to spēju novērtēt cilvēku radītas muzikālas skaņas, izjust tās, ar to palīdzību izraisīt zināmus emocionālus refleksus smadzenēs. Cilvēka fiziskā konstrukcija maņu ziņā nebūt nav izcilākā uz šīs planētas, taču atšķirībā no citām sugām, mums piemīt spēja dažādu maņu radītos impulsus tulkot emociju valodā, pārvērst tās abstraktu tēlu un vīziju formā, kas nozīmīgi spēj ietekmēt mūsu pašsajūtu, noskaņojumu, pat fizisko veselību.

Pārsvārā visas muzikālās un pat nemuzikālās skaņas sastāv no sarežģītiem, saliktiem vibrāciju viļņiem, to kombinācijām, tiem reti ir sakars ar vienkāršu skaņas vilni, vienkāršu harmonisko kustību, kas padara dzirdes uztverei doto uzdevumu daudzkārt sarežģītāku – mūsu dzirdei vienlaikus jāspēj apstrādāt neaptveramu visdažādākās informācijas daudzumu. Pat šķietami vislielākajā klusumā. Mums ir dota iespēja atšķirt katru skaņu atsevišķi, lokalizēt virzienu, no kurienes šī skaņa nāk, atšķirt un identificēt tieši ko mēs dzirdam, sajust un spēt vārdos izteikt šo skaņu augstumu, intonāciju tīrību, pat precīzi noteikti attālumus starp šīm skaņām, raksturot to krāsu un emocionālo paleti. Tas pašu jautājumu – kā cilvēka auss spēj uztvert tik daudz un dinamiskas vibrācijas vienlaikus, kurās nav uzskatāmas loģikas no pirmā acu uzmentiena, padara ļoti interesantu. Šajā nodaļā aplūkosim vienu no sarežģītākajiem cilvēka orgāniem – auss, jeb, daudzo sastāvdaļu dēļ – precīzāk būtu teikt – **dzirdes aprāta** uzbūvi, tā darbības principus, uztveres mehānismu un dažādas neparastas tā īpašības.

Cilvēka auss uzbūve

Ja sakām ka kādam ir lielas ausis, ar to domājam ādas un skrimšļu gabalus kas ir piestiprinātas galvai abās pusēs. Ja pat mums šo skaisto vai mazāk skaisto ķermeņa izciļņu abās galvas pusēs nebūtu, mēs vienalga kaut ko dzirdētu – nozīmīgākās un smalkākās cilvēka auss daļas ir apslēptas dažus centimetrus dziļāk – cilvēka galvaskausā.

Tā ir dabas dota aizsardzība mehānismam, kurš ir viens no vissmalkākajiem visā cilvēka uzbūvē.

Auss aparāts sastāv no daudzām un dažādām daļām, ar visnotaļ sarežģītiem nosaukumiem, taču pamatā visu auss uzbūvi pieņemts dalīt trīs daļās –

- 1) Ārējā auss
- 2) Vidusauss
- 3) Dziļā, jeb iekšējā auss

Ārējā auss

Sastāv no tā saucamās **pinna jeb ārējās auss** – ādas un skrimšļu veidojuma un gandrīz cilindriskā kanāla, kurš ir vidēji 25mm garš un apmēram 7mm diametrā, ko mēs saucam par **dzirdes kanālu** (*auditory meatus*). Šo kanālu tā iekšējā galā noslēdz **bungādiņa** (*tympanic membrane*). Tā ir plāna puscaurspīdīga membrāna ar neredzamu ieliektu, saplacinātu konusa formu. Pretēji daudziem apgalvojumiem – bungādiņas trauslums nebūt nav tik liels, kā mēs iztēlojamies. Dažādu sīku traumu rezultātā, bungādiņai ir spēja atjaunoties, saaugt, tomēr ilgstošas, ļoti skaļas mūzikas iedarbībā, tās elastība palielinās, līdz ar to – dzirdes asums – mazinās. Bet par to – vēlāk.



Kad skaņas vilnis nonāk ārējā ausī, daļa no tās dodas iekšup pa dzirdes kanālu un gaisa spiediena rezultātā, kurš akumulējas, pateicoties pinnai kā savdabīgai taurei, un dzirdes kanālam, kurā, tam sašaurinoties, gaisa un skaņas viļņa spiediens palielinās, rezultātā ievibrē bungādiņu. Līdzīgi kā vienā galā aizvērts cilindrs, dzirdes kanāls rezonē ar apmēram 3800Hz frekvenci, liekot visam auss aparātam rezonēt šajā frekvencē.

Kā jau minēju, ārējā auss – *pinna* darbojas kā savācējs, taure, kas spēj savākt skaņas enerģiju no ļoti lielas platības, novirzot to tālāk auss kanālā. Daļēji aizspiežot ausis, vai tās atlokot, mēs ļoti labi pārliecināties kā samazinās dzirdamība un attālums no kāda mēs saņemam skaņas.

Virzienu dzirde

Pinnai ir arī viena no cilvēka dzirdes aparāta daļām, pateicoties kurai cilvēks spēj saprast no kuras puses nāk skaņa. Daba cilvēka ārējās auss daļu ir izveidojusi ļoti īpašā formā ar dažādiem izliekumiem, skrimšļiem, padziļinājumiem, un tiek apgalvots, ka dažādas *pinna*s daļas atstaro skaņas, kas ir nākušas no dažādiem attālumiem, un līdz ar to tās īpašā, telpiskā veidā nonāk dzirdes kanālā.

Smadzenes tālāk spēj analizēt dažādas laika nobīdes, ar kurām raksturīga skaņas pienākšana, bet tās variējas sakarā ar skaņas viļņa kritiena leņķi (zinātnieka Bato (Batteau) apgalvojums 1967. Gada pētījumā).

Eksperimenti parādījuši arī ka cilvēka spējas noteikt skaņas, kuras avots ir precīzi virs galvas, tās centrā, augstumu un virzienu no kurienes tā nāk ir ievērojami samazinātas, dažkārt neiespējamās. Ja skaņa nāk tieši no priekšas vai aizmugures, abas ausis uztvers neredzamu atšķirīgus signālus, jo neredzams atšķirīgs būs laiks, kādā skaņa sasniegs vienu un otru ausi. Divpusējo dzirdi, jeb spēju informāciju par skaņu apkopot no divām pusēm, divos kanālos sauc par **binaurālo dzirdi** un šo signālu nesakrišana, atšķirības laikā un telpā ļauj cilvēkam saprast no kuras puses nāk skaņa.

Sakarā ar skaņas iedarbību uz abām ausīm un binaurālās dzirdes vienlaicību vai kavēšanos, svaru atkal iegūst skaņas augstums un ātrums. Šajā gadījumā ausis, cilvēka ķermenis izmanto tos pašus principus kā skaņai apejot šķēršļus vai atstarojoties no sienām. Cilvēka galva, pagriežta perpendikulāri skaņas avotam, kalpos kā šķērslis – auss, kura ir pagriežta skaņas virzienā skaņu saņems nekavējoties, taču otra – tikai tad, kad skaņa apklausies galvai kā savdabīgam šķērslim, vai arī atstarosies no pretējās sienas.

Piemēram, zemas frekvences skaņa, kura nāk no kreisās puses, vispirms sasniegs kreiso pinnu, ja viļņa garums ir pietiekams, skaņa aplieksies apkārt galvai un otras auss pinnu sasniegs teiksim pēc 0,7sec.

Ja skaņas vibrācijas frekvence ir virs 1500Hz, starp abām ausīm pienākošo informāciju radīsies neliela fāzes nobīde, kas ir mazāka par vienu vibrāciju ciklu. Tas liek smadzenēm atpazīt to ka skaņa nāk no kreisās puses.

Jo zemāka frekvence, jo ātrāk skaņa radīs iespaidu par virzienu.

Piemēram klausoties stīgu kvartetu, čella skaņa no labās puses sasniegs klausītāja labo ausi ātrāk nekā vijoles, savukārt vijoles skaņa no kreisās kreiso ausi, loģiski, sasniegs ātrāk nekā labo. Šīs skaņu viļņu ātrums un virzieni kopā ar nelielajām fāžu nobīdēm rada klausītāja smadzenēs telpiskuma iespaidu, skaņas ir it kā atdalītas. Tādējādi klausītājs var *redzēt* instrumentu izvietojumu ar ausīm, pat ar aizvērtām acīm.

Lielāku sastāvu ansambļos, kā, piemēram, simfoniskajā orķestrī šis uzdevums kļūst sarežģītāks – ausīm un smadzenēm jāapstrādā ļoti liels telpiskās informācijas daudzums.

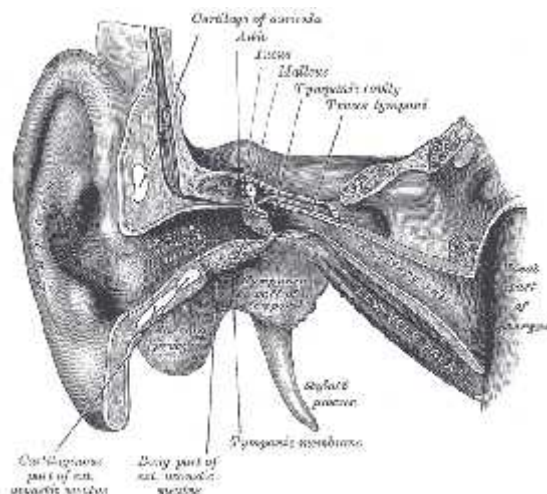
Vidusauss

Starp ārējo un iekšējo ausi galvaskausa kaulā ir neliels ar gaisu pildīts padziļinājums, ko sauc par vidusausi. Tās ārējo sienu veido un pilnībā nosedz bungādiņa.

Iekšējā siena ir divas nelielas atveres kaulā, kuras atdala iekšējo ausi no vidusauss. Savas formas dēļ tās sauc par **ovālo logu** (*fenestra ovalis*) un **apaļo logu** (*fenestra rotunda*).

Bungādiņu ar ovālo logu savieno trīs nelieli, bet ļoti būtiski kauliņi, kuri saņemti ķēdē, viens aiz otra. Šiem trīs kauliņiem ir ar ļoti trāpīgi nosaukumi – **āmurs** (*malleus*), **lakta** (*incus*) un **kāpslis** (*stapes*). Kāpslis ir tikai 3mm garš un tas elastīgi balstās tieši ovālajā, logā, to pilnībā nosedzot. Plāna membrāna nosedz arī apaļo logu.

Vidusauss principā ir pilnīgi slēgta telpa, vienīgais ceļš pa kuru vidusaudī iekļūst gaiss ir tā saucamais **eistahija tunelis** (*eustachian tube*), kas vidusausi savieno ar rīkles galu. Šī uzbūve palīdz uzturēt vienmērīgu spiediena starpību starp vidusausi un ārējo atmosfēru. Tas īsi atveras brīžos, kad cilvēks norij siekalas, žāvājas, arī pie īpašām elpošanas tehnikām. Straujas, nesagatavotas atmosfēras izmaiņas vidusausī izpaužas kā sāpes vai diskomforts, sajūtas atsaucas arī bungādiņā, kā mums zināmā *ausu aizkrišana*. Tas bieži ir izjūtams, piemēram, nolaižoties ar lidmašīnu – atmosfēras spiediens pieaug, pārāk strauji samazinot augstumu. 10m kritiena laikā spiediens mainās par 1 iedaļu no 1000. Tā it kā šķiet ļoti sīka izmaiņa, taču vidusauss ir ļoti jutīga un reaģē pat uz vēl sīkākām atmosfēras izmaiņām kas saistītas ar skaņu viļņiem un šī spiediena maiņa lidmašīnā ausij ir dramatiskā. Par laimi šīs izmaiņas nav neatgriezeniskas. Rīšanas reflekss uz brīdi atver citādi noslēgto eihastija tuneli un tas palīdz mainīt un regulēt spiediena izmaiņas vidusausī.



Skaņas pārraidīšana caur vidusausi

Kad skaņu vilnis atduras pret bungādiņu, spiediena maiņas liek bungādiņai sākt vibrēt. Galvenais vidusauss uzdevums ir mehāniski nogādāt šīs vibrācijas līdz iekšējās auss sākumam, ovālajam logam, kur tālāk notiek skaņas *intelektuālā* apstrāde.

Āmura kauls ir piestiprināts pie bungādiņas iekšpuses, bet tā otrs gals elastīgi un trausli pievienojas **laktas kaulam**. **Kāpšļa kauls**, savukārt, pievienojas laktas kaula tievajam galam ar elastīgu savienojumu. Atsaucoties bungādiņas vibrācijām, āmura kauls novirzās no sava miera stāvokļa, iekusina laktas kaulu, kurš, turpinot savu kustību, iekustina kāpšli un liek tam kustēties iekšā un ārā ovālajā logā.

Lai saklausītu ļoti vājas skaņas, pēc iespējas vairāk skaņas enerģijas jānogādā iekšējā ausī. Vidusauss šo procesu padara efektīvu, strādā kā ļoti jaudīgs, mehānisks pastiprinātājs. Ja skaņa nonāktu pa taisno iekšējā ausī, tikai apmēram 1% skaņas tur paliktu, pārējā tiktu atstarota atpakaļ, ārā no auss. Tieši pateicoties vidusauss mehānismam vairāk kā 50% skaņas nonāk līdz dziļākajai auss daļai. Ar šo daudzumu pietiek, lai uztvertu visas cilvēkam dzirdamās skaņas un to raksturīgāko īpašību izmaiņas.

Impedance (skaņas caurgājība)

Lai saprastu kā vidusauss ievieš dažādas korekcijas skaņas pārraidīšanā tālāk uz iekšējo ausi, jāapskata jautājums par skaņas reflektēšanu jeb atstarošanu, kurai nedaudz jau pieskāriemies un **dažādu materiālu caurgājību**. Lai to izprastu, nedaudz jāatkāpjas no auss uzbūves un jāatgriežas pie akustikas un arhitektūras. Impedances jautājums ir ļoti būtisks akustikas jautājums.

Divi pretēji piemēri – skaņas vibrāciju vilnis, kurš dodas pretīm biežai mūra sienai tiek pilnībā no tās atstarots. Skaņas viļņa spiediens, ceļojot ar gaisa slāņiem, pieliek visus spēkus, lai ievibrētu sienu, taču tā ir pārāk cieta, materiāls – blīvs un biezs, skaņa nespēj ievibrēt visu sienu, bet tikai tās virspusi un nenonāk tās otrā pusē, bet tiek atstarota atpakaļ.

Pretēji iedomāsimies teorētiski izveidotu *gaisa sienu*, kuras sastāvs neatšķiras no parasta gaisa vai arī plānu kādas citas vieglas gāzes sienu. Cauri šādai sienai skaņa izies bez jebkādas pretestības, jo tā ir būtībā neeksistējoša, tās materiāls pilnībā pakļaujas skaņas spiedienam un nekas no šīs skaņas netiks atstarots atpakaļ – ienākošā skaņas viļņa spiediens nesastop nekādu pretestību. Šie ir radikāli piemēri, taču visbiežāk sastopamies ar materiāliem, kuri skaņu daļēji atstaro, taču daļēji uzņem un ļauj tai iziet sev cauri, arī otrā pusē materiālam nododot zināmu daļu informācijas par skaņu.

Arī cilvēks *dzird* ne tikai ar ausīm – materiāls, no kura veidots cilvēka ķermenis daļu skaņas vibrāciju un informāciju par tām uzņem gluži fiziski – ar visu savu dažādu materiālu kompumu. Tādēļ pat šķietami pilnīgi kurli cilvēki nedzīvo absolūtā klusumā – viņi skaņas vibrācijas spēj sajūt ar visu ķermeni skaņas vibrāciju impedances rezultātā.

Barjeras pretestību, ar kuru sastopas skaņa, nosaka barjeras kustības, vibrācijas mērījumi, ņemot vērā skaņas spiediena amplitūdu, kas uz tās krīt.

Ja spiediena amplitūda ir **P**

Barjeras vibrācijas maksimālais ātrums **V**

Specifiskā akustiskā impedance vai pretestība ir **z**

Veidojas formula **$z = P/V$**

Pareizi jāizprot specifiskās akustiskās impedances sapratne, ja lietojam apzīmejumus – *augsta pretestība* vai *zema pretestība*.

Piemēram cieta koka plāksne no no dotās spiediena amplitūdas vibrē nedaudz, tās specifiskā akustiskā impedance jeb pretestība būs augsta.

Bungu membrāna vibrēs daudz aktīvāk, tādējādi tās akustiskā pretestība būs zema.

Vienība kādā mēra specifisko akustisko pretestību ir **reils** (rayl – nosaukta par godu 19.gs. zinātniekam Lordam Reilijam). Piemēram gaisa *sienai*, kas patiesībā ir ne ar ko no pārējās apkārtnes neatšķirīgs gaiss, specifiskā akustiskā pretestība ir 415 reili. Tātad gaisa pretestība skaņai šajā gadījumā ir neliela, faktiski varētu teikt – mūsu izpratnē tās nav. Tātad 415 reili ir skaitlis kas apzīmē gaisa specifisko akustisko impedanci.

Jo vairāk pretestības skaitlis atšķiras no šī, jo lielāks būs objekta atstarotās skaņas daudzums, ko tas nespēj uzņemt un iekustināt sevi.

Atgriezīsimies pie vidusauss mehānisma – iekšējās auss ieejā, tūlī aiz bungādiņas mērot saņas pretestību, specifiskā akustiskā impedance ir apmēram 150 000 reilu. Ar salīdzinoši tik lielu

specifisko akustisko impedanci būtu pilnīgi neefektīvi likt skaņai būt uztvertai tiešā veidā šajā vietā – tā būs vāji saklausāma. Tā vietā skaņa vispirms krīt uz bungādiņu.

Skaņas un gaisa spiediens uz bungādiņu ir analogs gaisa spiedienam apkārtnē, tas nav ne lielāks ne mazāks. Šis skaņas spēks caur trim kauliņiem tiek novirzīts ovālajā logā. Ovālā loga vibrācijas laukums ($\sim 3\text{mm}^2$) ir tikai 1/25 daļa no bungādiņas vibrācijas laukuma (75mm^2), tāpēc vibrācijas spēks kurš nonāk ovālajā logā būs 25 reizes lielāks. Papildus trīs kauliņi palielina šo efektu vēl 2 reizes. Tādējādi spiediens uz ovālo logu ir 50x lielāks kā uz bungādiņu, bet vibrācijas ātruma amplitūda palielinās uz pusi. Vibrācijas spēks un spiediens tātad palielinās ievērojami, pastiprinot ienākošo skaņas signālu.

Bet, runājot par skaņas caurgājību vai impedanci, šajā gadījumā, redzam ka ovālajā logā specifiskā skaņas impedance būs 100 reizes lielāka kā tā, kas nonāk uz bungādiņas. Ja ovālā loga impedance ir 150 000, tad bungādiņas pretestība ir 1/100 daļa no tā jeb 1500 reili, kuru mēs jau varam uzskatīt par diezgan ievērojamu caurgājību – apmēram 3x lielāka pretestība kā gaisa pretestība. Izteikti palielinātais skaņas vibrācijas spēks un spiediens atduras pret ļoti augstu caurgājību, kas vidusauss mehānismā rada labu balansu.

Acīm redzami, ka ne visa skaņas enerģija tiek novadīta vidusausī ar kauliņu starpniecību. Apmēram puse enerģijas tiek atstarota atpakaļ auss kanālā un šī efekta rezultātā izveido skanisko priekšstatu par vidējām skaņas frekvencēm.

Savdabīgs dabas fenomens – frekvenču zem dažiem simtiem hercu un virs 10kHz uztverei, tātad – izteikti zemām un izteikti augstām skaņām, bungādiņas pretestība ievērojami palielinās, kas saistīts ar skaņas masu un bungādiņas elastīgumu. Tas savukārt palielina atstarotās skaņas enerģijas daudzumu.

Akustiskā refleksija

Kad acīs negaidīti iespīd ļoti spilgta gaisma, mēs instinktīvi piemiedzam acis. Līdzīgs aizsargmehānisms, ko sauc par akustisko refleksiju nostrādā, kad skan ļoti skaļas skaņas.

Skaļas dinamikas gadījumā, neliels muskulis vidusausī pavelk kāpšļa kauliņu prom no ovālā loga, kā rezultātā tiek reducēts skaņas enerģijas daudzums, kas tiek tālāk nogādāts traukslajam iekšējās auss mehānismam. Tā kā šis efekts darbojas tikai ar frekvencēm zem 1000Hz, tas galvenokārt strādā kā savdabīgs zemo frekvenču filtrs. Akustiskās mūzikas pieredzē akustiskā refleksija ir maz sastopama, jo reti kad ir sastopamas tik ļoti skaļas skaņas, lai šai *traukmes sistēmai* būtu jānostrādā. Varētu teikt, ka tā drīzāk strādā kā basa atslēgas skaņu efektivitātes samazinātājs, ja mūzika tiek spēlēta pārāk skaļi. Drīzāk šis efekts darbojas apmeklējot deju mūzikas klubus vai ļoti skaļus elektroniskās mūzikas pasākumus. Tanī pat laikā pieņemums, ka dzirdi var zaudēt klausoties skaļu rokmūziku, saistīts ar to, ka lielā skaļumā tiek klausītas ļoti augstas frekvences, pret kurām auss mehānismam šādas aizsardzības nav.

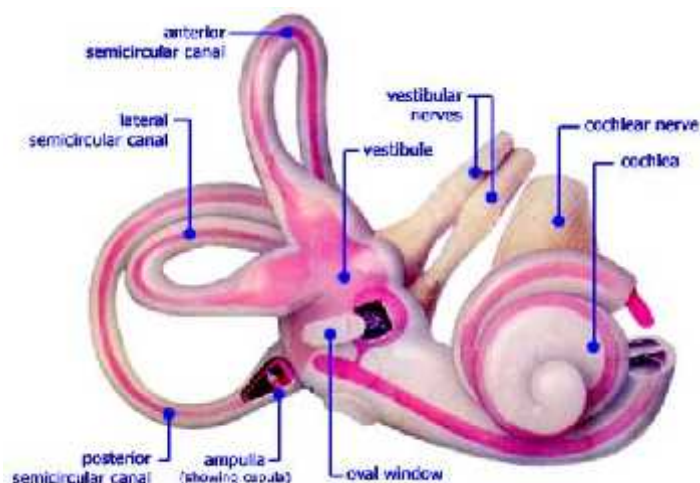
Akustiskā refleksija diemžēl arī nostrādā, ja tai tiek dots nedaudz laika skaņas analīzei. Lai noteiktu skaņas frekvenci, ausij vajadzīga apmēram sekundes desmitdaļa. Tas nozīmē ka nav iespējams ausi pasargāt no pēkšņām, graužošām skaļuma maiņām, kā piemēram pistoles šāviena skaņas, kas ir spējīga traumēt ausi.

Iekšējā auss

Aiz vidusauss mehānisma un ovālā loga, galvaskausā ir vēl viens padziļinājums, ko sauc par **iekšējo ausi**, jeb **labirintu**. Kā jau otrais apzīmējums vēsta – tas ir sarežģītu dažādu kambaru, kanālu, eju savienojums, kurš pildīts ar šķirdumu. Viena daļa šīs uzbūves, kuru sauc par **semicirkulāro kanālu** vai vienkārši – **vestibilāro aparātu**, ir atbildīga par mūsu stabilitātes sajūtu un līdzsvaru. Tajā iekšā esošajiem matiņiem vienmēr atrodies uz leju – zemes pievilkšanas spēka virzienā, tas ļauj mums saglabāt līdzsvaru, jebkurā situācijā un izprast virzienus. Ir situācijas, kurās šīs spējas var būt traucētas. Dzirdi šī iekšējās auss daļa nekā neietekmē.

Otra daļa – **cohlea** (kohleja) atbild par mūsu dzirdes sajūtām.

Kohleja ir apmēram 35mm gara caurulīte ar apmēram 2mm diametru, kura 2 ½ apgriezienos ir savīta nelielā gliemezī. Šajā pavisam nelielajā struktūrā, **vibrācijas, kuras tai nodod vidusauss, tiek pārvērstas elektriskos signālos, kuri tālāk kā elektriski impulsi, ne vairs mehāniskas vibrācijas, tiek nodoti dzirdes nervam un smadzenēm**. Kohleja cilvēka anatomijā aprakstīta jau 17.gs., taču tikai mūsdienās diskusijas ir nonākušas pie tās ietekmes uz cilvēka dzirdēšanas īpašībām. Galvenokārt par tās ietekmi uz mūzikālo dzirdi – tieši kohleja palīdz atšķirt un identificēt skaņas augstumus.



Skaņu vienlaicīga dzirdēšana

Ir skaidrs, ka, lai gan mūsu auss uztver dažādas vienlaicīgi līdz mums nonākošas vibrācijas, kas vienlaicīgi ievibrē bungādiņu un tālāk – iekustina vidusauss aparātu, liekas interesanti, ka mēs, piemēram, spējam ilgstoši atšķirt vairākas vienlaicīgi skanoša akorda skaņas, uztvert šo skaņu augstumu attiecības. Atšķirt un raksturot skaņas atsevišķi, nevis tikai to kopumu – gan ārējā ausī gan vidusausī taču nav tāda mehānisma, kas ienākošo, kopējo skaņu vibrāciju kopumu kādā īpašā veidā sadalītu atsevišķās skaņās un sniegtu par tām izsmelšu informāciju. Kur slēpjas paradokss? Vai iekšējā auss strādā kā komplekso vibrāciju analizators, sadalot skaņu vibrāciju komponentos vai arī kā elektriska ierīce, pārveidojot ovālā loga vibrācijas ekvivalentās elektriskās vibrācijās, kuras tālāk

tiek nodotas dzirdes nervam un smadzenēm? Tas ir interesanti tieši no skaņas augstumu atšķiršanas spējas viedokļa.

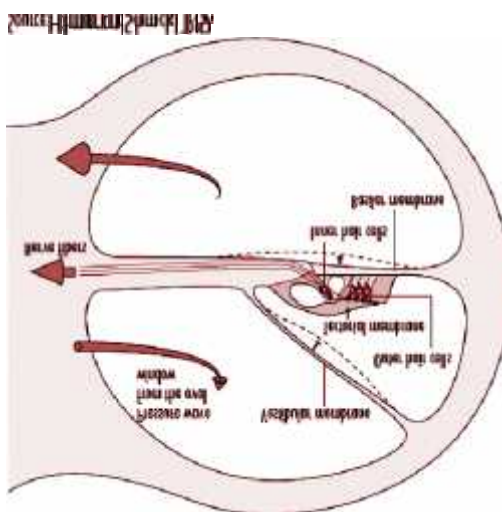
Kohleja ir tika ārkārtīgi jūtīga un nepieejama auss daļa, tā, lai arī ļoti sāka ir tik nozīmīga un jūtīga, ka katra vismikroskopiskākā izmaiņa tajā spētu mainīt mūsu skanisko pasaules uztveri. Tādējādi, traumēta vai nestrādājoša kohleja, cilvēkam liedz jebkādu izpratni par skaņām, to attiecībām visā šajā pasaulē un ne tikai mūzikā.

Ar dzīvu cilvēku kohlejas pētījumus izdarīt ir tikpat kā neiespējami, jo tā atrodas dziļi iekšā galvaskausā, ir ļoti sāka un neaizsniedzama, tāpēc pētījumi izdarāmi tikai ar nedzīviem organismiem, turklāt vajadzīga ļoti sarežģīta mēraparatūra – kohlejā notiekošās vibrācijas ir tik smalkas, ka nav saskatāmas pat mikroskopā un tiek mērītas ar radiācijas palīdzību. Rezultāti rāda ka tieši kohleja ir noteicošā auss daļa, kas atbild par mūsu muzikālo dzirdi un spēju atšķirt skaņu augstumus pat relatīvi – ja pat neesam mūziķi.

Kohlejas struktūra

Ja gliemezī savīto kohlejas caurulīti varētu sadalīt šķēsgriezumā, tad tā ir uzbūvēta it kā trijās pakāpēs, stāvos, kuri tādi ir visas caurulītes garumā. Tikai pašā caurulītes galā šīs sekcijas savienojas vienā kopīgā dobumā, ko sauc par **helikotermu** (*helicotrema*). Augšējo sekciju sauc par **augšējo galeriju** (scala vestibuli), un to no **vidējās galerijas jeb kohleārās ejas** atdala ļoti plāna un elastīga membrāna – **Reisnera membrāna**. Taču kohleāro eju no apakšējās galerijas atdala daudz nozīmīgākā **bazilārā membrāna**.

Bazilārā membrāna uzskatāma par nozīmīgāko kohlejas sastāvdaļu, kas ir daļa no vēl smalkāka, kohlejā ietverta orgāna. Šo orgānu sauc par **organ corti** un pie tā pieder arī starp bazilāro membrānu un tai pieguļošo **tektoriālo membrānu** visas kohlejas garumā izvietoti **smalki matiņi, kas ir kā uztvērēji, kas nodod signālus apmēram 30 000 nervu galu kohlejā**. Tie ir kā vadi, kuri tālāk pārraida elektriskos signālus uz smadzenēm. Lai izprastu kā šie elektriskie signāli rodas, mums jāizpēta kā kustas bazilārā membrāna skaņas laikā.



Bazilārās membrānas kustība

Iedomāsimies, ka pie pašas auss tiek sasistas plaukostas. Skaņas vilnis ar gaisa spiediena un kustības palīdzību nonāk līdz bungādiņai, iekustina to, iespiež iekšā un like tai kustēties, vibrēt iekšā un ārā. Šo spēku, kā jau izpētījām, daudzkārtīgi pavairo vidusauss kauliņu mehānisms un caur ovālo logu vibrācija tiek nodota kohlejas augšējai galerijai.

Šķidrums augšējā galerijā ir tikpat kā nespiežams, tam nav vietas izplesties, un ovālā loga vibrācijas ielaušanās ir par ātru, lai izkustinātais šķidrums ieplūstu helikotremas dobumā. Tāpēc kaut kādām izmaiņām vispirms ir jānotiek turpat, un šķirduma neelastību kompensē **bazilārās membrānas izliekšanās** vispirms galā kas tuvāks ovālajam logam. Membrānas kustības rezultātā izkustinās arī šķidrums un caur helikotermu ieplūst apakšējā galerijā, bet membrāna, kura noslēdz apaļo logu un, kas savienojas ar apakšējo galeriju izliecas uz otru pusi, lai kompensētu iepriekšējo kustību uz otru pusi.

Kustība, kas ovālā loga vibrācijas rezultātā iesākusies bazilārajā membrānā, iekustina daudzos nervu matiņu galus. Tie atrodas starp bazilāro membrānu un tektoriālo membrānu un, šīs vibrācijas rezultātā, sāk kustēties viens gar otru, ar to radot elektriskus signālus, kas tālāk tiek nogādāti dzirdes nervam un tālāk – smadzenēm.

Pētījumi rāda ka arī bazilārā membrāna, skanot ilgstošai skaņai turpina izliekties un kustēties visas skaņas skanēšanas garumā. Kustību amplitūda no ovālā loga izaug, sasniedz augstāko pozīciju un tad atkal nomierinās. Šīs kustības vairāk līdzīgas viļņošanās kustībai, kā klasiskai vibrācijai, kādu to sastopam ārpus auss, bungādiņā un ovālajā logā – viens membrānas posms stumj augstāk nākamo un atpakaļ.

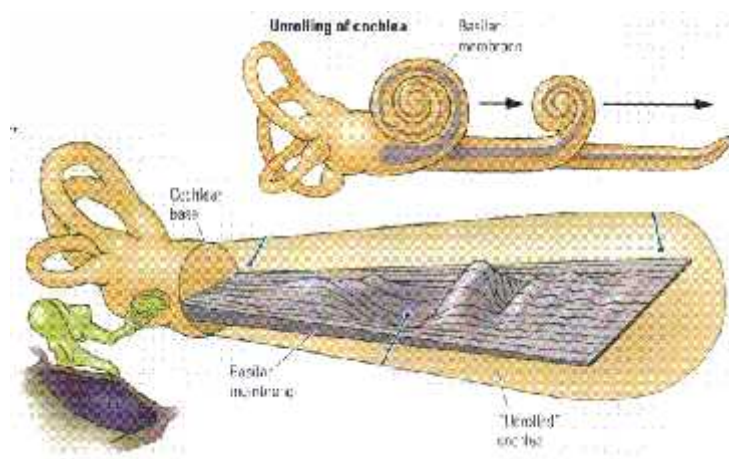
Interesanti, ka viļņošanās augstums vienmēr būs gandrīz vienāds, bet membrānas viļņa periods – līdzīgs.

Īpašība, kas atšķirsies, dzirdot dažādu frekvenču skaņas, ir precīza vieta, kurā bazilārā membrāna iekustas. Jo skaņa augstāka, jo bazilārā membrāna kustēties tuvāk ovālajam logam. Jo zemāka – tuvāk otram kohlejas galam – helikotremas dobumam, kurā savienojas apakšējā un augšējā galerija. Līdz ar to atbildtošie nervu matiņi, analizē precīzu vietu un attālumu no ovālā loga vai helikotermas, lai informētu smadzenes par skaņas augstumu. Turklāt membrānas elastība liek tai kustēties ne tikai garumā, bet arī platumā. Varētu teikt, ka bazilārajai membrānai šādā nozīmē piemīt atmiņa – tā atceras konkrētas kustību vietas un sasaista tās smadzenēs ar noteiktiem skaņu augstumiem. Īpaši būtiski šī atmiņa ir izteikta tā saucamās *absolūtās dzirdes sakarā*.

Interesantākais fakts, ko mūziķiem ir vērts saprast sakarā ar to, ir, ka bazilārā membrāna un līdz ar to visa kohleja šādā veidā darbojas kā sarežģīts skaņas augstumu analizators, kas arī

ļauj mums saprast skaņu augstumus un tos novērtēt. Ar dzirdes nerva un smadzeņu palīdzību kohlejas sūtītie impulsi tiek tulkoti tālāk līdz pat apziņai.

Tātad tā ir īpaša vārdnīca smadzeņu reakcijām – ja bazilārajā membrānā kustība ir stingra un šaura, kustība ir tuvu ovālam logam – smadzenes saka – tā ir augsta skaņa. Ja informācija kas nonāk saka, ka vibrācija ir tuvu helikotremai, tā ir elastīga un plata – smadzenes tulko to kā zemu skaņu. Sakarības, kas saistītas ar šo darbības principu sauc arī par **vietas teoriju (theory of place)**.



Lai gan nervu matiņu gali, kas atrodas starp abām membrānām – bazilāro un tektoriālo, visspēcīgāk saskaras tieši bazilārās membrānas kustības visspēcīgākajā un augstākajā punktā, tā dodot elektrisku informāciju dzirdes nervam, pierādīts, ka tie spēj saskarties un pastāvīgi elektrizēties arī visā pārējā kohlejas garumā pie ļoti vājiem signāliem, vienīgi ne tik spēcīgi un pamanāmi.

Signāli dzirdes nervā

Būtiskākais savienojums starp ausīm un smadzenēm ir dzirdes nervs. Ir iespējams izdarīt pētījumus kas notiek dzirdes nervā, tam pievienojot elektrodus un izdarot mērījumus. Iegūtā informācija vairs nerunā par vienkāršām vibrācijām vai kustībām, bet par ļoti sarežģītiem datiem, par **elektriskām voltāžas pulsācijām** un impulsiem.

Katrā brīdī kad bazilārā membrāna aizskar nervu galiņus, rodas berzei, smadzenēm tiek nodots viens impulss. Interesanti, ka katra no nervu matiņu zonām uztver tikai vienu vai dažas no bazilārās membrānas kustībām šajā konkrētajā kustības vietā, ja paskatāmies grafikos, kuri iegūti no nervu galu reakcijas mērījumiem. Vienlaikus – citi nervu gali saņem citu informāciju. Beigās, ar dzirdes nerva palīdzību, līdz mūsu smadzenēm nonāk visu šo kustību un elektrisko signālu kopums, kas smadzenēs rada kopainu par notikušo skaņas vibrāciju, tās augstākajiem un zemākajiem punktiem, atšķirībām tajos.

Novērojumi liecina ka smadzenēm nav jāsaņem pilnīgi visa informācija no katras kustības detaļas, kas notiek kohlejā, lai noteiktu skaņas frekvenci. Pietiek tikai ar noteiktu signālu,

informācijas kopumu, kas **noteiktā laika periodā** nonāk smadzenēs. Līdz ar to varētu teikt ka smadzenēm ir savs **iekšējais pulkstenis**, kurš nosaka un mēra šo laika periodu, kurā noteikta informācija līdz tām tiek nonāk. To dēvē arī par **atsitiena teoriju** – cik impulsu vienlaicīgi nonāks smadzenēs noteiktā laika periodā.

Cita teorija vēsta, ka frekvenču atšķiršana lielā mērā saistīta ar intervāliem elektrisko pulsāciju starpā. Smadzenēm pietiek šķietami periodiskas skaņas skanēšanas garumā noteikt dažus periodiskus pulsāciju atkārtojumus, vēlāk tās pat vairs var nebūt tik ļoti precīzas, taču smadzenes vienlīdz šīs vibrācijas turpinā uztvert kā periodiskas. Šī īpašība ļauj analizēt un šķirot pašu būtiskāko informāciju, kas tiek saņemta no skaņas vibrācijas, nepievēršot uzmanību fizikāli nenoizmīgām detaļām. Tas ļauj, piemēram, mūziku klausīties, saklausot pašas nozīmīgākās īpašības, nepievēršot būtisku uzmanību īpaši smalkām fizikālām niansēm, kurām skaņas uztverē ir otršķirīga nozīme.

Kritiskais diapazons (Critical band)

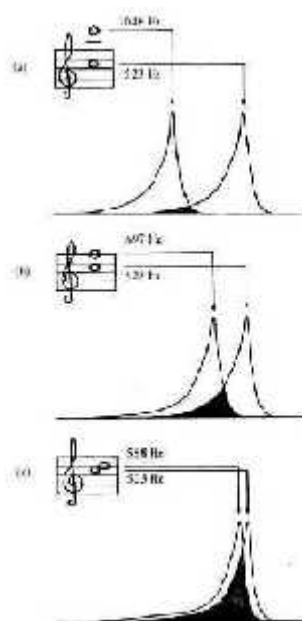
Iepriekš runātais bija attiecināms uz situāciju, kad klausāmies vienu atsevišķu skaņu. Interesanti noskaidrot, kas ar kohleju, nervu galiem un smadzenēm notiek, kā tās darbojas, kad mēs klausāmies vairākas dažādu frekvenču skaņas vienlaicīgi, kā tas parasti arī dabā un mūzikā ir.

Turklāt atcerēsimies, ka katra kompleksā skaņa sastāv no pamatfrekvences un daudzām virsskaņām, katra no kurām, lai arī klusa, ir uztverama kā cita augstuma skaņa un līdz ar to – arī uz bazilārās membrānas kustību iedarbosies, liekot tai kustēties citā vietā. Jebkura skaņa, lai cik komplicēta un salikta tā nebūtu, ir dažādu tīru sīnusa skaņu kopums un līdz ar to – mūsu dzirdes aparāts, vidrīzāk, tās spēj tādā veidā analizēt.

Kā jau to no iepriekš rakstītā varam saprast – dažādas frekvences, vairākas skaņas iekustina bazilāro membrānu vairākās vietās atkarībā no tā, cik atšķirīgi ir skaņu augstumi. Bazilārā membrāna var kustēties daudzās vietās vienlaicīgi – skanot augstai un zelai skaņai vienlaicīgi – divās pretējās vietās, pievienojot vidēja augstuma skaņu – trīs vietās, bet skanot daudzām skaņām vienlaicīgi – daudzās dažādās vietās. Tāpēc ikdienas situācijā tā kustas gandrīz visā tās garumā ar dažādu intensitāti – visapkārt mums dabā visbiežāk vienlaicīgi pastāv un eksistē dažādu frekvenču un augstumu skaņas.

Piemēram, gadījumā ja viena skaņa ir 523Hz un otra – 1046Hz, un tā ir oktāva, viena no skaņām iekustinās bazilāro membrānu tuvāk ovālam logam, otra – tuvāk helikotremai. Šādā oktāvas kustībā, abi kustības viļņi pavisam nedaudz, bet tomēr krustosies to sākumpunktos. Tomēr šo kustību augstākie punkti noteikti būs atdalīti viens no otra. Tas nozīmē ka nervu galu matiņi abām šīm skaņām augstākajā un nozīmīgākajā kustības punktā tiks aizskarti salīdzinoši neatkarīgi.

Taču kas notiek ar bazilārās membrānas kustību un nervu matiņu reakciju, ja skaņu frekvenču atšķirība ir neliela? Jo skaņu frekvences ir tuvākas, tātad – ja runāsim muzikāli – skaņas intervāls ir šaurāks, jo bazilārās membrānas kustības ir tuvāk un to viļņi krustojas spēcīgāk, krustojas pat augstākie kustības punkti. Daudzos gadījumos vairāku skaņu izraisītās membrānas kustības saplūst gandrīz vienā, jo skaņu frekvences ir ļoti tuvas.



Šādu krustošanos, divu bazilārās membrānas kustības viļņu pārklāšanās brīdi sauc par **kritisko diapazonu**. Ja skaņas, piemēram, ir sekundas attiecībās, membrānas kustības abām skaņām būs tikpat kā saplūdušas, radot intensīvu nervu matu galiņu aizskaršanu vienā un tajā pašā vietā.

Kritisko diapazona teorija ir pamatā lielai daļai mūsdienu zinātnes par cilvēka dzirdes īpatnībām un skaņas uztveri.

Pamatā jāsaprot likumsakarība, ka ja skaņu augstumi ir zem 500Hz (vidējas un zemas skaņas), kritiskais skaņas kritiskā diapazonā saskarsies ja starp tām ir apmēram 100Hz starpība. Jo skaņas kļūst augstākas, arī šis skaitis palielinās. Cilvēka ausij saklausāmu skaņu diapazonā, kritiskā diapazona vibrācijas izteiktas metriskajās mērvienībās nepārsniedz 1,3mm.

Lai saprastu vai divas skaņas saskaras kritiskajā diapazonā, vienkārši to aprēķināt zinot abu skaņu frekvences. Secinājumus par kritisko diapazonu varam izdarīt, zinot centra frekvenci

$$\frac{1}{2}(a+b)$$

Ja abu skaņu frekvenču starpība, aprēķināta, atņemot mazāko frekvenci no lielākās (a-b), ir mazāka kā centra frekvences un frekvenču starpības atņemšanas rezultāts (centra frekvence mīnus frekvenču starpība), tad skaņas sakrīt kritiskajā diapazonā. Ja – lielāka – maza iespējamība un mēs skaņas dzirdam vairāk separāti vienu no otras.

Piemēram

Centra frekvence $\frac{1}{2}(523\text{Hz} + 1046\text{Hz}) = 784,5 \text{ Hz}$

Frekvenču starpība $1046\text{Hz} - 523\text{Hz} = 523 \text{ Hz}$

Atšķirība starp centra frekvenci un frekvenču starpību $784,5 - 523 = 261,5\text{Hz}$

Tātad frekvenču starpība ir daudz lielāka kā iespējamais kritiskā diapazona punkts un sastāda 261,5Hz – skaņas diez vai īpaši saskarsies kritiskajā diapazonā. **Ja salīdzinām 261,5Hz ar 523Hz**

Tagad – atšķirīgi aprēķini –

Centra frekvence $\frac{1}{2} (588\text{Hz} + 523\text{Hz}) = 556\text{Hz}$

Frekvenču starpība $588\text{Hz} - 523\text{Hz} = 65\text{Hz}$

Atšķirība starp centra frekvenci un frekvenču starpību $556\text{Hz} - 65\text{Hz} = 491\text{Hz}$

starpība ir 491, tas nozīmē ka skaņas noteikti saskarsies kritiskajā diapazonā ja salīdzinām 491Hz ar 65Hz.

Raupjums, pulsācija un starptoni

Līdzīgi kā jau runājām par ritmiskas pulsācijas efektu, kas rodas vienlaicīgi skanot divām skaņām ar ļoti tuvām frekvencēm, šis pats efekts darbojas arī ausī, bazilārajā membrānā, runājot par kritisko diapazonu. Šajā gadījumā abu skaņu viļņu zīmējumi pārklājas nevis oscilogrāfa ekrānā vai datorā, bet gluži fiziski – uz mūsu bazilārās membrānas.

Jo membrānas viļņošanās ir tuvāka, skaņām atrodoties kritiskajā diapazonā, jo ar savu dzirdes aparātu uztveram lēnāku pulsāciju, ko rada šī membrānas viļņošanās kritiskajā diapazonā. Jo frekvences attālinātākas, jo pulsācija ātrāka.

Skaņas, kuras atrodas ārpus kritiskā diapazona – lielākus intervālus, mēs spējam atšķirt neatkarīgi vienu no otras un uz tām šāds pulsācijas efekts neattiecas.

Otra īpašība, ko, tuvinoties vairāku skaņu frekvencēm auss izjūt ir zināms skaņas kvalitātes raupjums, kvalitatīvas tīrības zudums, tik daudz vairs neļaujot uztvert smalkas skaņas īpašību detaļas. Taču te ir savas īpatnības. Grafiski attēlojot, apmēram ceturtdaļā ceļa no divu skaņu atrašanās kritiskajā diapazonā līdz pilnīgam bazilārās membrānas kustības unisonam, šis raupjuma efekts sasniedz maksimumu. Tieši iepriekš pieminētais pulsācijas ātrums ir atbildīgs par šo fiziski izjūamo raupjuma sajūtu.

Jo tuvāk satuvinās divu skaņu kustība bazilārajā membrānā, jo arī pamazām palēninās pulsācija, zūd arī skaņas raupjuma efekts, galu galā pulsācija sāk uztverties kā neatkarīga vienas skaņas pulsācija. Rezultātā, divām frekvencēm atrodoties ļoti tuvu, mēs dzirdam praktiski vienu skaņu ar frekvenci, kas atrodas kaut kur starp tām abām. Tas ir arī tāpēc ka divi vienlaicīgi viļņi bazilārajā membrānā ir gandrīz apvienojušies un aizskar vienus un tos pašus nervu galu matiņus, savukārt tie nodot līdzīgu informāciju samdzinēm no abiem kustības punktiem.

Interesants dabas fenomens ir, ka tuvojoties frekvencēm, kuras ir zemākas par 200Hz, auss spēja atšķirt divas ļoti tuvu frekvenču **sīnusa** skaņas būtiski samazinās. Piemēram, ja skanēs sinusa skaņas ar frekvencēm 65Hz un 98Hz, mēs atsevišķos gadījumos praktiski tās uztversim kā vienu skaņu ar frekvenci 82Hz neskatoties uz to, ka starpība starp šīm skaņām ir kvinta. Do – sol vietā mēs dzirdēsim mi. Tā ir neparasta īpatnība cilvēka spējās atšķirt skaņu augstumus. Jāatgādina, ka runa gan iet par vienkāršām harmoniskajām kustībām, jeb sinusa toņiem.

Vienlaicīgi interesanti ir ka zem 500Hz robežas cilvēks spēj atšķirt sinusa skaņas, starp kurām ir tikai 2Hz starpība, kas ir apmēram 1/40 daļa no vidējā kritiskā diapazona. Taču interesanti, ka smadzenēm šajās frekvencēs šī jūtība piemīt tikai atšķirt skaņas, kuras skan pēc kārtas, nevis reizē, vienlaicīgi.

Protams saliktu, sarežģītu komplekso vibrāciju gadījumā minētie principi nedarbojas, cilvēks skaņu augstumus atšķirt spēj, ne vienmēr izjūt raupjuma vai pulsācijas sajūtas, taču ļoti daudz kas ir atkarīgs no konkrētā gadījuma – instrumentiem, telpām, dinamikas, uztveres īpatnībām un atsevišķos gadījumos daļa minēto efektu cilvēka dzirdi kaut uz brīdi ietekmē, un tieši tas ir iemesls kāpēc par to runāt.

Skaņas kropļojumi ausī

Līdz tam, kamēr mūsu smadzenes ir iztulkojušas un ļauj mums saprast, ko mēs patiesībā dzirdam, skaņa ir nogājusi ļoti sarežģītu ceļu – no izpildītāja instrumenta, ievibrējot gaisu, apejot šķēršļus, tā atduras pret mūsu bungādiņu, liek strādāt vidusauss kauliņiem, iekustina šķidrumā kohlejas bazilāro membrānu, no kurienes pa nervu galiņiem un dzirdes nervu visa informācija nonāk smadzenēs. Taču vērā vēl jāņem fakts ka īsajā ceļā, ko skaņa noiet no ārējās auss līdz smadzenēm, skaņai papildus rodas dažādi blakus skaņu efekti, kurus rada pati auss uzbūve, tās telpiskās, materiālu īpatnības, nelieli mehāniski trokšņi iekšienē. Tās ir dažādas skaņas transformācijas, kurām dažkārt var būt pat diezgan liela nozīme. Šīs paša dzirdes aparāta radītās skaņas kopā ar ārējo skaņas informāciju nonāk smadzenēs. Parasti šīs skaņas ir ļoti vājas un nav praktiski atsevišķi uztveramas un sadzirdamas, taču ir gadījumi un apstākļi, kad tās var būt ļoti skaidri sadzirdamas un izjūtas, piemēram, pie ļoti augstām, skaļām un griezīgām saskaņām. Interesanti, ka šīs papildus skaņas īpašības ir īpašs tembrāls palīgs uztverot dažādas muzikālas nošu kombinācijas – tas, piemēram ir viens no faktoriem, kas labāk ļauj atšķirt noskaņas un krāsas izmaiņas starp mažora un minora trijskaņiem.

Ilgu laiku tika uzskatīts ka pie šīs īpašības vainojams vidusauss mehānisms – domāja, ka kāpšļa kauliņš no bungādiņas skaņas identiski saņem tikai gadījumos, ja tās ir klusas, skaļu skaņu rezultātā radot auss mehānismā skaņas kropļojumus. Taču tā neizrādījās patiesība – normālās skaļuma robežās kāpšļa kauliņš un – līdz ar to – ovālā loga membrāna pilnībā kopē bungādiņas vibrāciju. Vienlaikus ar to tikai atklāts arī, ka, bazilārā membrāna ne vienmēr reaģē tā kā tai vajadzētu reaģēt pie attiecīgās ovālā loga un kāpšļa kauliņa vibrācijas. Piemēram, kāpšļa kauliņa vibrāciju amplitūda pieaug, taču bazilārās membrānas vibrācijas proporcijas nepalielinās. Tādēļ tika pieņemts ka dažādi skaņas kropļojumi rodas tieši dēļ fizioloģiskiem *pārpratumiem*, kuri rodas bazilārajā membrānā.

Aurālās virsskaņas un kombinētie toņi

Visvienkāršākais piemērs ir salīdzinot ausi ar elektronisku skaņas jaudas pastiprinātāju, kādu lietojam, lai apskaņotu koncertu vai spēlētu kādu elektronisku mūzikas instrumentu, atskaņotu mūziku. Ja pastiprinātāja ieejā pieslēdzam ierīci, kura mums dod sīnusa skaņu ar zemu vibrācijas

apmlitūdu, tātad – pietiekami klusu skaņu, normāla pastiprinājuma rezultātā mēs iegūsim to pašu sīnusa skaņu, skaļāku, taču ne izskropļotu, nevairētu.

Savukārt ja jau pie pašas ieejas sīnusa viļņa amplitūda ir diezgan liela, ir iespējamība, ka izejā, vēl lielāka pastiprinājuma rezultātā skanēs sīnusa skaņa ar izteiktu izkropļojumu, defektu.

Vērtējot šīs skaņas tembru, aplūkojot šo izkropļojumu spektrāli, konstatēsim, ka šai skaņai negaidīti ir parādījušās papildus virsskaņas, frekvences, kuras tai dabiski nepiemīt.

20.gs. sākuma pētījumi uzrādīja, ka šāds efekts piemīt arī cilvēka ausij, un efektu, kas rodas izkropļojot skaņu ar nedabisku skaļumu, jau sauc par **aurālajām virsskaņām**. Tomēr vēlāk pētījumi ir pierādījuši, ka šīs virsskaņas, salīdzinot ar elektronisko pastiprinātāju, pie noteikta skaļuma kropļotajām, ir pārāk klusas, lai atstātu iespaidu uz mūsu dzirdes objektīvo uztveri par skaņu.

Tomēr līdzīgs efekts var rasties ja lielā skaļumā klausāmos divas vienlaicīgas, frekvencēs tuvas sīnusa skaņas. Kā jau iepriekš runājām, ja šīs skaņas nav kritiskajā bazilārās membrānas diapazonā, bet atstatu viena no otras, skaņas viena otru nekā neietekmē, taču jo tās ir tuvāk, jo tās sāk mijiedarboties un kritiskajā zonā rodas mums jau zināmā pulsācija. Šīs savstarpējās pulsācijas rezultātā negaidīti parādās arī dažādas citas, ar šīm konkrētajām skaņām nesaistītas frekvences, virsskaņas, ko sauc par **kombinētajiem toņiem**. Tiklīdz viena no skaņām pārstāj skanēt, šis efekts zūd un otru skaņu mēs dzirdam kā tīru sīnusa skaņu, bez jebkādiem kropļojumiem un papildus frekvencēm.

Vienkāršie starptoni (simple difference tones)

Līdzīgi aurālajām virsskaņām, mūsu dzirdes skaņu uztverē darbojas vēlviens princips, kurš gan tikai pavisam nelielā atstāj iespaidu uz mūsu muzikālo uztveri un ir vāji izteikts.

Ja dzirdam vienlaikus divas sīnusa skaņas ar dažādām frekvencēm, f_1 un f_2 (f_2 – vienmēr augstāka), mēs spēsim uztvert divus papildtoņus ar frekvencēm –

$f_1 + f_2$ (summārie toņi) un

$f_2 - f_1$ (vienkāršie starptoni). Par to vai summārajiem toņiem ir reāla ietekme uz dzirdi vēl tiek nopietni diskutēti, tie ir pārāk nemanāmi, taču satarptonu nozīme un muzikālo dzirdi ir pierādīta.

Ir vairāki priekšnoteikumi, lai vienkāršie starptoni būtu dzirdami. Vispirms – abām skaņām jābūt ļoti skaļām, otrs – tās nedrīkst pārsniegt tīras kvintas intervālu. Tāpat – daudz skaidrāk šie toņi būs dzirdami, ja abas skaņas ir augstā reģistrā, jo tad paši starptoni būs vairākas oktāvas zemāk zem oriģināla. Veidojas interesantas, ar saskaņas oriģinālu nesaistītas harmonijas. Piemēram, gadījumā ja viena skaņa būs 1500Hz un otra 1200Hz augsta, pēc mums vajadzētu dzirdēt papildus skaņu, kura ir 300Hz augstumā.

Zemu skaņu gadījumā, vienkārši tie var atrasties tik zemu, ka ir ārpus cilvēka ausij dzirdamo frekvenču spektra.

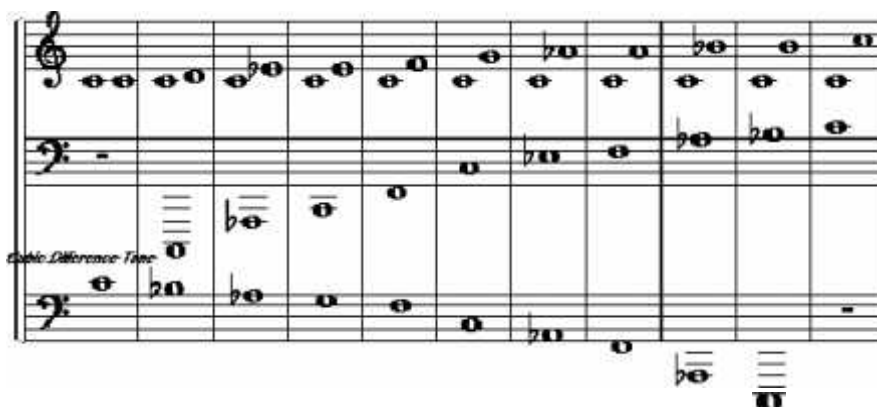
Kubiskie starpības toņi

Vienkāršie starptoņi nav vienīgais *triks*, ko mūsu dzirdes aparāts spēj izstrādāt mūsu uztverē ar divām vienlaikus skanošām sīnusa skaņām.

Pastāv arī tā saucamie **kubiskie starptoņi**, ko cilvēka auss spēj uztvert pat vēl daudz konkrētāk un sajūtāmāk. Frekvenci, kuru dzirdēsim šajā gadījumā, skatot divām vienlaicīgām sīnusa skaņām varam aprēķināt ar vienkāršas formulas palīdzību:

$2 \times f_1 - f_2$, kur f_2 ir augstāks par f_1 .

Piemēram 1300Hz un 1500Hz gadījumā šī frekvence būs 1100Hz. Interesanti, ka vienkāršo starptoņu gadījumā, ja intervāls divu vienlaicīgi skanošu skaņu starpā samazinās, vienkāršie starpības toņi kļūst frekvencēs arvien zemāki, taču gadījumā ar kubiskajiem starptoņiem viss ir otrādi – intervālam samazinoties, kubisko starptoņu frekvence ceļas. Vēlviens atšķirība ir, ka kubiskie starptoņi ir dzirdami arī ne tikai pie ļoti skaļas dinamikas, bet arī diezgan klusām svārstībām. Tādējādi daudzos gluži muzikālos gadījumos šis izkropļojums ir jūtams. Protams, lai tos uztvertu, dzirdei jābūt ļoti jūtīgai un uzmanīgai.



SKAŅAS UZVEDĪBA UN RAKSTURS

Līdzīgi jebkurai parādībai mūsu visumā, skaņa, kā labi saprotams, nav nemainīgs un statisks lielums. Tāpat kā citas lietas, skaņu rašanās, skanēšana un izskaņa ir dažāda, atšķirīga. Lai arī jebkuras skaņas pamatā ir vibrācija, kuras fizikālais princips pēc savas pamatbūtības ir nemainīgs, dažādos apstākļos un pielietojumos, skaņai var piemist nebeidzams daudzums visdažādāko raksturojošo īpatnību, kas šo skaņu padara īpašu un neatkārtojamu. Līdzīgi kā mēs – cilvēki – katrs esam reizē pārsvarā vienādi savā kopējā uzbūvē, taču reizē neparasti atšķirīgi – katram mums ir savs balss tembrs, sava acu unikāla krāsa, galu galā – katram savs raksturs un dzīvesstāsts. Tās mēs saucam par savām raksturīgajām īpašībām. Arī skaņai piemīt daudz visdažādāko īpašību, kuru ir bezgalīgi daudz un katrai no tām ir savas kaprīzes, spēja ietekmēt citas īpašības, taču mēs šajā kursā runāsim tikai par pašām galvenajām un nekādā ziņā – ne nepamanāmām vai apejamām. Šīs īpašības ir tās, kuras mūsos kā klausītājos spēj izraisīt noteiktas emocijas, patiku vai nepatiku, atkarībā no šo īpašību dažādām kombinācijām un likumsakarībām.

Tātad, ja iepriekš runājām par skaņas uzbūvi un pamatdarbības principiem, tad tagad iepazīsimies ar skaņas raksturu.

Galvenie četri jautājumi, par kuriem runāsim ir:

- 1. Skaņas augstums**
- 2. Skaņas skaļums**
- 3. Skaņas tembrs, krāsa**
- 4. sadarbība starp visām trim īpašībām**

Kā arī ļoti būtiski -

jo katru no tām nav iespējams objektīvi analizēt pilnībā izolēti un atrauti no citas.

Skaņu augstumus, skaļumu un tembru mēs varam mērīt ne tikai fizikālu un matemātisku lielumu valodā, bet skaņdarba partitūrā piefiksēt ar gluži reāliem, muzikāliem līdzekļiem. Skaņu augstumam nepieciešamas nošu līnijas, skaļumam – dinamiskās zīmes, tembram – konkrētu instrumentu izvēle un dažādi raksturojoši apzīmējumi.

Talantīga komponista galvā notiek interesantas lietas – tas ir jūtīgs uztvērējs, ierīce, kura būtībā pārvalda augstākās fizikas un matemātikas likumus, veic nepārtrauktus mērījumus, aprēķinus un analīzes, viņam pat tam realitātē nepievēršot uzmanību un par to apzināti nedomājot. Un te nav runa par hipermodernas, integrālas, seriālistiskas vai citas progresīvas un modernas mūzikas komponistiem. Šie procesi norisinās katra romantiķa, klasiķa, etniska mūziķa, katra džeza un popmūziķa galvā, pavēlot izvēlēties tieši tās un ne citas skaņu īpašības – komponists izvēlas instrumentu, izvēlas reģistru kurā tas spēlēs, nošu virknējumu un ilgumus kuros tas spēlēs, skaļumu

un skaļumu maiņas kādās tas spēlēs. Viss tas iespējami detalizēti tiek piefiksēts nošu rakstā vai ieraksta formātā. Kā tas viss darbojas?

Protams, viss nav izskaidrojams tikai matemātisku formulu vai fizikas likumu analīzi un aprēķinu formā – iedvesmas un talanta faktors nav izskaitļojams un diez vai būs – tas ir psiholoģijas, kultūras, personības dzīves pieredzes jautājums.

Tomēr mūsu izvēles lielā mērā ir arī pakļautas mūsu iespējām – mūsu dzirdes robežai – cik augstu vai zemu spējam dzirdēt (un kādas emocijas tas izraisa), cik skaļi spējam klausīties un cik klusu sadzirdēt, kā arī cik patīkamas, komiskas vai neizprotami nepatīkamas sajūtas mūsos rada kādas noteiktas skaņas tembrs.

Visas šo īpašību kopums rada tik ļoti dažādus un atšķirīgus iespaidus un emocijas klausītāja uztverē, jo katra no šīm dažādu skaņu īpašībām, atkarībā no konkrētās situācijas, līdz klausītājam nonāk savā laikā, iedarbina noteiktas dzirdes aparāta daļas, līdz ar to dažādi ietekmē smadzeņu darbību.

Daļēji tāpēc varētu teikt, ka mūzikas spēja cilvēkā izsaukt pārdzīvojumus, dažādas atmiņas, tēlus un priekšstatus ir gluži fizikāli pamatojama ņemot vērā minēto procesu paredzamo iedarbību. Kāpēc rezultāts nav vienāds? Jau teicu – arī mēs neesam vienādi.

Pat nebūdami talantīgi komponisti vai pat vispār – mūziķi, varam skaņas augstuma, skaļuma un tembra kopdarbībā atrast un paredzēt zināmas sakarības pat bez nošu starpniecības ierakstot, izpētot skaņas ar mēraparātiem vai datorizēti.

Kursa noslēgumā pievērsīsimies jautājumiem, kuri saistīti ar muzikālo konsonansi, disonansi, intervāliem, kā arī temperācijām, skaņojuma principiem – jautājumiem, kuri lielā mērā rezumē visu iepriekš runāto un arī ir tieši saistīti ar skaņas rakstura jautājumiem.

SKAŅAS AUGSTUMS

Kā jau teicu – dažādas skaņdarba raksturīgās īpašības mums pašiem ir iespējams noteikt un piefiksēt notīs dažādu apzīmējumu veidā. Tomēr, iedomājieties, kas notiks, ja mēs nosacīti klusam instrumentam – arfaī rakstītu skaņdarbu pārliksim elektriskajai ģitārai vai, piemēram, ērģelēm? Dramatiski mainīsies gan objektīvi iespējamais un reālais skaņdarba skaļums gan vēl jo vairāk – tembrālā krāsa. Vienīgā īpašība, kura saglabāsies nemainīgā formā, neatkarīgi no citu mūzikas raksturlielumu maiņas būs tieši skaņas augstums. Tādējādi mēs varam secināt ka skaņas augstums ir viens no objektīvākajiem un stabilākajiem lielumiem mūzikā, kurš nav pakļauts radikālām uztveres atšķirībām. Ar vienu un to pašu frekvences skaitli, vienu un to pašu skaņas nosaukumu muzikālā terminoloģijā mēs vienmēr objektīvi visi sapratīsim to pašu skaņu. Ar jūtīgāku dzirdes uztveri apveltīti cilvēki, absloūtās dzirdes gadījumā, tās pat sajūtīs identiski. Un tomēr. Ne vienmēr un visos gadījumos šāds apgalvojums ir pareizs.

Subjektīvā skaņas daba

Neapšaubāmi, visas mērvienības, kādas cilvēces vēsturē ir radītas un pielietotas, ir paša cilvēka radītas. Pēdas, metri, kilogrami, minūtes garums, ir mērvienības, kuru pamatojums ir rasts kādā cilvēka apkārtņē sastopamā atskaites punktā vai pieejamā paraugā un tam pakārtota visa mūsu planētas dzīve. Jau 18.gs par metra mērvienību tika pieņemta 1 / 10 000 000 daļa no attāluma no ekvatora līdz ziemeļpolam, bet 20.gs šis standrāts nedaudz mainījās, izmantojot līdzību ar gaismas ātruma noietu ceļu noteiktā laika periodā. Mūsu pulkstenī redzamās minūtes un sekundes būtiski atšķiras no tā sauktā *absolūtā astronomiskā laika*. Tomēr mēs visi esam pakļauti diktātam ko nosaka šāda tipa mērvienības, mums ar tām jāreķinās dzīvē un sadzīvē.

Arī skaņu neviens nevar mūs piespiest dzirdēt tā vai savādāk – cilvēku anatomija ir atšķirīga, līdz ar to atšķiras arī skaņas vibrācijas uztvere. Zinām arī ka dažādas pasaules kultūras skaņu pasauli uztver nedaudz savādāk, atkarībā no dzirdes un kultūras pieredzes.

Izpētīts pat, ka viens cilvēks ar katru ausi atsevišķi vienu un to pašu skaņu var uztvert par ar ¼ toņa starpību. Pat katra cilvēka skaņas virzienu dzirde var individuāli atšķirties, tāpat arī izpratne par skaļumu. Gluži viegli veicams eksperiments – ar datorprogrammu radot un klausoties vienkāršu sīnusa skaņu, harmonisko kustību 440Hz augstumā, skaņai kļūstot skaļākai, dažiem klausītājiem liekas ka tās augstums kāpj, dažiem, ka krīt. Reti kuram liksies, ka tā ir nemainīga savā augstumā. Skaņas uztverē nevar tikt lietots termins *dzirdēt pareizi* vai *nepareizi*. Šādus apzīmējumus varam lietot runājot tikai par konkrētu muzikālo pieredzi, skaņu augstumiem un to uztveri noteiktas mūzikas, klausīšanās kultūras un noteiktu standartu kontekstā.

Oktāvas, pustoņi, centi

Interesanti ka rietumu mūzikā visas muzikālās skaņas ir organizētas stingri noteiktā kārtībā, un starp visām oktāvas 12 skaņām, muzikāli runājot, pamatā ir vienādi attālumi – pustoņi. To gan, tā saucamās *labās temperācijas* gadījumā nevaram teikt par fizisko atbilstību starp pustoņiem kāda tā rodas dabiskas vibrācijas un dabisko virstoņu rindas rezultātā. Daudz savādāk šie principi darbojas citu tautu, it īpaši Āzijas, un senajā mūzikā.

Ja labā mūsdienu korī ar izeili nostādītu intonatīvo kultūru tiek dziedāts unisons la un pēc tam šī pati skaņa dubultota oktāvu augstāk un zemāk, atmetot muzikāli izglītotu sapratni, ka skaņas ir oktāvas vai divu attiecībās, mums tomēr rodas iespaids ka skan viena un tā pati skaņa, vienīgi tās krāsa un spēks ir atšķirīgi.

Arī visās mums zināmajās oktāvās, šo pašu skaņu mēs apzīmējam ar vienu un to pašu burtu A.

Rietumu mūzikā oktāva ir galvenais pieturas, atskaites punkts, vērtējot skaņu augstumus un identificējot to atrašanās vietu.

Daudz šaubīgāka ir situācija ja šo oktāvu dalām intervālos – vispirms toņos un pustoņos. Fizikāli pieņemts ka attālumi starp pustoņiem ir pilnīgi identiski vienādi. Tātad 12 vienādi pustoņi. To sauc

par **Labo temperāciju (equal temperament)**. Veicot tīri fizikālus mērījumus šīs vibrācijas neatbilst dabiskajām skaņas vibrācijām un to radītajiem attālumiem, kādi tie ir dabā, bet tiek iegūti ar algoritmu un noteiktu koeficientu palīdzību. Galvenais uzsvars šeit ir uz oktāvu un pustoņu vienādību.

Runājot par skaņas augstumu un it īpaši – virsskaņu patieso fizikālo intervālu sastāvu, kur visbiežāk sastopam intonācijas, kuras ir vai nu nedaudz augstākas vai zemākas par konkrēto skaņu, mums nākas lietot skaņas augstumu mērvienības, kuras ir mazākas par pustonī.

Vispirms tie ir ceturtdaļtoniem ($1/4$) un astotdaļtoniem ($1/8$), bet vēl sīkām un precīzāk pustonis tiek dalīts **centos**.

Viens labi temperēts pustonis tiek dalīts 100 centos.

Viena oktāva tāad sastāv no 1200 centiem.

Lai arī ir sastopamas vēl sīkākas mērvienības par centu, vienkārša cilvēka dzirde neatšķir mazāk kā dažu centu atšķirību, tāpēc tās muzikālā praksē nav nepieciešams lietot.

Skaņu notācija

Rietumu mūzikā jau izsenis pierasts, ka praktiski visa mūzika tiek pierakstīta uz piecām nošu līnijām. Uz vai starp tām, augstāku vai zemāku skaņu gadījumā lietojot arī palīglīnijas.

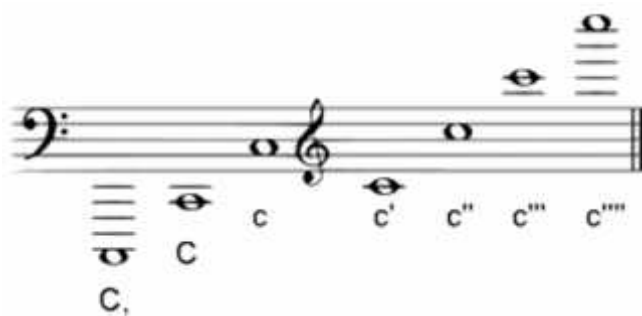
Šis princips nācis no senlaiku modālajiem baznīcas dziedājumiem, kuri izmantoja diatoniskās skaņkārtas bez alterācijām un liekiem hromatismiem.

Tieši tāpēc, lai arī praksē stabili iedzīvojušies, neskatoties uz dažādiem drosmīgiem eksperimentiem un vēlmi ieviest citas pieraksta sistēmas, patiesībā piecu līniju sistēma nekādā gadījumā neatbilst reālajai temperētās oktāvas hromatiskajai intervālikai un nevaram to vairs saukt par vienkāršu un universālu. Tāpēc blakus pašām notīm un piecām līnijām talkā tiek ņemtas dažādas zīmes – bemoli, diezi, vēl sīkāki ceturtdaļbemoli un diezi, palīglīnijas, dažādi citi apzīmējumi (atsevišķos laikmetīgās mūzikas opusos pat – centu skaits pie dažām notīm, norādot to precīzo intonāciju.

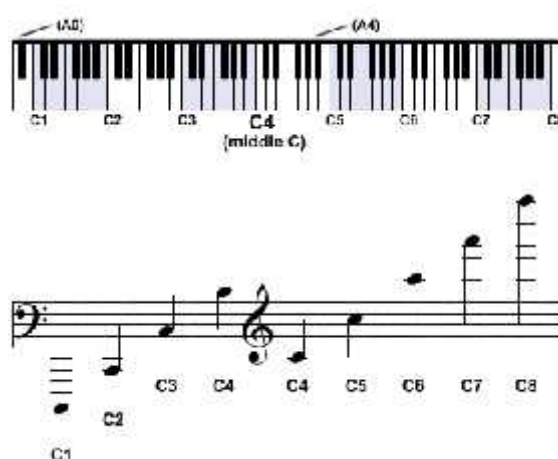
Pierakstā zināma dīvainība pastāv arī attēlojuma un skaniskās realitātes atšķirībā. Piemēram, vijoles atslēgā starpība starp pirmo un otro līniju ir maza terca, basa – liela, vijoles starp pirmo līniju un starpu starp pirmo un otro – pustonis, basa tas pats – tonis. Bet piemēram vijoles atslēgā starp sol un la tas ir tonis, kas savukārt basa atslēgā ir pustonis.

Tāpēc akustikā un skaņas fizikā bieži tiek izmantota grafiskā nošu augstumu attēlošanas sistēma, kur vertikālā skalā oktāva un to piepildošie pustoņi tiek attēloti kā lineāla iedaļas. Protams, neskatoties uz tās precizitāti, mūzikas praksē šādu sistēmu būtu grūti izmantot – tā aizņem pietiekami lielu laukumu, kas nu nekādi nebūtu parocīgi plašu partitūru noformēšanā un to ātrā lasīšanā.

Kā jau ierasts, skaņas oktāvās tiek apzīmētas ar burtiem. Mums pierastā ir Helmholca sistēma, kas izmanto lielos un mazos burtus un svītriņas, kas apzīmē augšējo un apakšējo oktāvu numurus.



Taču ir arī zinātnieka Janga (Young) 1939.gadā radītā sistēma, kuru mēdz saukt arī par *amerikāņu sistēmu*, kurā oktāvas ar skaitļiem tiek numurētas no apakšas un izmantoti tikai lielie burti – t.i. subkontroktāva ir C1. Oktāva un skaitīšana notiek uz augšu. Skaņas, kuras atrodas zem subkontroktāvas pieder oktāvai ar apzīmējumu C0.



Faktori, kuri ietekmē skaņas augstumu

Apzinot pieraksta jeb notācijas attiecības ar reālajiem skaņu augstumiem un izpratni par savstarpējām skaņu attiecībām, attālumiem, intervāliem, varam runāt par faktoriem pašā skaņas vibrācijā, kas rada priekšstatu par skaņas augstumu un tā izmaiņām.

Piemērs. Pirmās oktāvas la spēlēts uz trompetes, mainot dinamiku no pavisam klusas līdz ļoti skaļai un pēc tam šo skaņu atkal pakāpeniski noklusinot līdz ļoti klusai. Klusā dinamikā skaņa šķiet tīra, matēta, pat nedaudz atgādina vienkāršu harmonisku kustību, sīnusa skaņu, taču pieaugot dinamikai, tā kļūst arvien spožāka, spēcīgāka. Šeit runa ir par krāsu, tembru, jaunu virsskaņu parādīšanos. Taču skaņas pamataugstums saglabājas, nevaram runāt par būtiskām tā imaiņām.

Apskatot šos trīs etapus – skaņas sākumu, pieaugumu un skaļāko vietu skaņas viļņa vibrācijas analīzē, vibrāciju – laika nobīdes līknē redzam ka lai arī pieaug vibrācijas amplitūda, vibrācijas

zīmējums kļūst arvien sarežģītāks, likumotāks, taču **vibrāciju ciklu lielums, tiem atkārtojoties, un līdz ar to – frekvence un skaņas augstums paliek nemainīgi.**

Tas nozīmē ka skaņas augstums nemainīsies, kamēr nemainīsies vibrācijas ciklu lielums.

Vēlāk noskaidrosim, ka skaņas augstums pavisam nelielā mērā var mainīties amplitūdas un skaņas viļņa variāciju iespaidā. Tas ir intonācijas jautājums, saistīts ar katra mūziķa spēlēšanas īpatnībām.

Pagaidām galvenais secinājums – fiksēta frekvence, lai arī mainās vibrācijas amplitūda un virsskaņu sastāvs, atbilst vienam noteiktam skaņas augstumam.

Skaņas augstums oktāvās un frekvence

Pat nezinot dažādu skaņas frekvenču lieluma skaitļus, bet zinot vismaz vienas skaņas frekvenci, mums ir iespējams aprēķināt tās pašas skaņas frekvenci dažādās oktāvās.

Šajā jautājumā darbojas gluži vienkāršs princips – reizinot jebkuru frekvenci ar skaitli 2 mēs iegūsim tās pašas skaņas frekvenci oktāvu augstāk. Piemēram, zinot lielumu 440Hz, kas atbilst pirmās oktāvas La, mēs vienkārši varam uzzināt kāda ir otrās oktāvas La frekvenci, reizinot 440Hz ar 2. Iegūtais rezultāts ir 880Hz. Līdzīgi, 3.oktāvas La iegūstam reizinot otrās oktāvas La – 880Hz, kā rezultātā, tās frekvence ir 1760Hz u.t.t. Tieši tāds pats princips darbojas vēloties uzzināt skaņas frekvenci oktāvās, kas atrodas zemāk. Šajā gadījumā frekvence ir jādala ar 2. Tātad 440Hz dalot ar 2, iegūstam 220Hz, kas atbilst mazās oktāvas La, savukārt to vēlreiz dalot, rezultāts ir 110Hz – La lielajā oktāvā u.t.t.

Frekvenču koeficienti un citi intervāli

Ja mums nav pieejama mēraparatūra ar kuras palīdzību analizēt skaņu augstumus ar perioda un laika mērvienībām, varam visnotaļ vienkārši aprēķināt jebkuras skaņas frekvenci, ja zināma vismaz vienas skaņas frekvence.

Katra labi temperēta pušona frekvences koeficients ar blakusesošo skaņu ir praktiski idenisks – 1.06

Piemēram ja zinām ka pirmās oktāvas La ir 440Hz, tad blakusesošo La diez aprēķina sekojoši –

$$440\text{Hz} \times 1,06 = 466\text{Hz}$$

Lai no skaņas La aprēķinātu skaņas Si frekvenci – zinām ka attālums no la līdz si ir 2 pušoni. Tādējādi frekvenci aprēķina sekojoši –

$$1,06 \times 1,06 \times 440\text{Hz} = 494\text{Hz}$$

No pēdējā varam arī izdarīt secinājumu turpmākiem aprēķiniem, ka frekvences koeficients starp la un si, jeb vienu veselu toni būs

$$1,06 \times 1,06 = 1,12$$

Pielietojot šo formulu un zinot vismaz vienas skaņas frekvenci, augšupejošā virzienā varam aprēķināt jebkuru frekvenci.

Piemēram zināms ka liela terca sastāv no 4 pustoņiem.

Tātad koeficients, ar kuru jāreizina pamatskaņa ir

$$1,06 \times 1,06 \times 1,06 \times 1,06 = 1,26$$

Oktāva sastāv no 12 pustoņiem, tādējādi 1,06 reizinot pašu ar sevi divpadsmit reizes, iegūsim skaitli 2 kas arī tika apskatīts iepriekšējā tēmā – oktāva ir ar divreiz lielāku frekvenci.

Intervālu frekvence lejupejošā virzienā varam ar iegūto koeficientu dalot.

Piemēram skaņa fa zem pirmās oktāvas la būs

$$440\text{Hz} / 1,26 \text{ (četri pustoņi)} = 349\text{Hz}$$

Dabisko virstoņu rindas intervālu (just intonation intervals) frekvences

Zinām, ka kompleksās vibrācijas ir daudzu un dažādu vienkāršu frekvenču summa, daudzu vienkāršu harmonisku kustību summa. Kompleksās vibrācijas raksturīgas teju visai mūzikai, sastāv no daudziem komponentiem, virsskaņām – katram instrumentam, katrai situācijai tās ir savas – raksturīgas.

Atcerēsimies, ka mums bija iespēja noskaidrot šo frekvenču komponentu periodiskumu un līdz ar to augstumu un frekvenci. Pēc zināmās Furjē teorijas izdarīt to bija gluži vienkārši – lai iegūtu otrā komponenta, jeb virsskaņas frekvenci fundamentālo frekvenci reizinājām ar 2, lai trešo – attiecīgi ar 3, 4 u.t.t. Rezultātā iegūstam pamatskaņai līdz skanošo virsskaņu frekvences ar ticamu precizitāti.

Ja pieņemam ka fundamentālā frekvence ir 110Hz tad

2 virsskaņa ir 220Hz, 3 – 330Hz, 4 – 440Hz, 5 – 550Hz, 6 – 660Hz.

Iegūtie skaitļi ir pārāk precīzi, tīri un veseli, lai atbilstu daudz aprēķiniem, un daudz sarežģītākiem skaitliskiem rezultātiem, kādus mēs iegūtu lietojot iepriekšējā nodaļā aplūkoto reizināšanas metodi ar koeficientiem.

Piemēram lielās tercās koeficients, kurš precīzu aprēķinu gadījumā, lietojot Furjē teoriju veidojas starp la un dodiez ir 1,25 (izmantojot vienkārši proporcionālas attiecības), taču pēc labās temperācijas aprēķinu principiem tam vajadzētu būt 1,26.

Tomēr šos, ar Furjē komponentu teorijas palīdzību iegūstamos skaitļus varam uzskatīt par objektīviem, jo tie atbilst fizikas likumu proporcionālajai realitātei, nevis cilvēka radītas mākslīgas labās temperācijas principiem, kuras uzdevums ir dot iespēju iegūt vienas un tās pašas skaņas dažādās oktāvās bez būtiskām intonatīvām atšķirībām, kādas tās veidojas dabiska skaņojuma rezultātā.

Šos intervālus, kuri rodas vienkāršu aprēķinu rezultātā reizinot, virsskaņu frekvences ar veseliem skaitļiem sauc par **dabiskajiem, jeb dabiskās virstoņu rindas intervāliem.**

Virsskaņas ko dzirdam un aprakstām klasiskajā mūzikas teorijā (un kuru frekvences tieši rodas Furjē teorijas – pamatfrekvences reizināšanas ar veseliem skaitļiem rezultātā), būtībā neatbilst precīzajiem, mums pazīstamajiem temperētajiem intervāliem. Tādi tie parasti teorijā tiek minēti runājot par virsskaņu rindu – oktāva, kvinta, kvarta, tercās u.t.t., palīdzot mums vieglāk orientēties virsskaņu principos, pietuvinot to lielumu mums pazīstamiem intervāliem. Izņemot oktāvu neviens no tiem nav nospēlējams uz labi temperētiem taustiņinstrumentiem, neatbilst labi temperēto intervālu skaņējumam un proporcijām.

Tomēr ņemot vērā šos aprēķinus mums var rasties priekšstats par patiesajām nevis mākslīgajām – temperētajām konsonansēm un disonansēm.

Skaņas augstums un amplitūda

Ņemot par paraugu kamertoni kā iespējamu vienkāršas harmoniskas kustības bez virsskaņām, jeb sīnusa skaņas radītāju izpētīsim vai skaņai zaudējot amplitūdu jeb vienkārši – skaļumu, kaut kādā ziņā nemainās arī tās augstums.

Pētījumi liecina, ka lielākajai daļai klausītāju sīnusa skaņas uztveri ietekmē gan skaņas amplitūda gan frekvence. Reakcijas var atšķirties individuāli, bet kopīgas īpašības ir novērojamas. Un tās ir stipri kuriozas.

Piemēram, lielai daļai klausītāju šķiet ka zemu skaņu frekvence, jeb to augstums, pieaugot skaļumam krīt. Lielās oktāvas Sol no ļoti klusas dinamikas līdz gandrīz vai fiziski sāpīgam skaļumam var radīt iespaidu par kritienu par veseliem 4 pustoņiem. Toties virs ceturtās oktāvas Do sajūtas ir gandrīz nemainīgas. Secinājums – jo skaņa augstāka, jo amplitūdas maiņa mazāk ietekmē klausītāja skaņas augstuma uztveri.

Vai šīs īpašības iespējamās ikdienas mūzikas praksē? Nē, jo tādā gadījumā lielāko daļu instrumentu nebūtu neiespējams spēlēt ar dažādu dinamiku. It īpaši – zema reģistra instrumentus. Turklāt neviens instruments nespēlē vien tīras sīnusa skaņas, bet gan kompleksas skaņa un tās sastāv no dažādu frekvenču virsskaņām.

Jau zināms, ka katra no virsskaņām ir sīnusa skaņa, kura, pēc būtības pakļaujas šīm, minētajām augstumu maiņām, atkarībā no amplitūdas, taču apvienojoties un summējoties šīm virsskaņām un dažādām to reakcijām uz amplitūdu, tas mūsu skaņas uztveres būtību nemaina. Šo individuālo sīnusa skaņu frekvenču kustības rezultātā var vienīgi mainīties kompleksās skaņas tembrs un krāsa, ko mēs arī dzirdam un uztveram, kā tas bija piemērā ar trompetes skaņu, kura pakāpeniski tikai pastiprināta un pēc tam – noklusināta.

Jāatzīmē, ka daži instrumenti tomēr ir spējīgi radīt sīnusa skaņai fizikāli tuvas skaņas, kā, piemēram, pikolo flauta augstākajā reģistrā. Taču, kā jau izpētījām – augstākajā reģistrā amplitūdas ietekme uz skaņas augstuma maiņu ir minimāla.

Kamertonā gadījumā, gandrīz katrs var pārliecināties ka, ja pēc tā ieskandināšanas mainīsim tā attālumu no auss (un līdz ar to mainīsies skaņas skaļums), skaņas augstums nedaudz izmainīsies. Sītiņa gadījumā tas jau pašā sākumā brīdi būs paaugstināts. Tādēļ, piemēram, kordiriģentam, lai uztvertu pareizu skaņas augstumu, kādu laiku jātur kamertonis nemainīgā attālumā no auss, lai uzdotās skaņas augstums būtu precīzs un nemainīgs.

Ļoti straujas kamertonā kustināšas gadījumā skaņas augstums mainīsies ne tikai dinamikas dēļ, bet arī iepriekš aprakstītā *doplera efekta* dēļ – skaņas avots pārvietojas vienā virzienā ar skaņu, sapiežot gaisa slāņus daudz intensīvāk un paaugstinot skaņu.

Kompleksās skaņas un skaņu augstums

Faktiski visas muzikālās skaņas, kas nav sīnusa skaņas varam uzskatīt par kompleksajām skaņām, jo to viļņa forma nav vienkārša sīnusa līkne un, pieaugot skaļumam, pieaug arī šīs līknes zīmējuma sarežģītība.

Skatot, piemēram, trombona skaņai *fortissimo* dinamikā, mēs šīs skaņas zīmējumā varam novērot apmēram 20 dažādu komponentu, citādi sakot – virsskaņu. Tātad, klausoties šādu trombona skaņu skaļā dinamikā, mēs vienlaikus dzirdam apmēram 20 vienkāršas sīnusa skaņas. Tad kādēļ skaidrāk tomēr mēs dzirdam mamatskaņu, nevis divdesmit vienlīdzīgu skaņu akordu?

Jebkurai skaņai ir pamatvibrācija, fundamentālā vai bāzes vibrācija – visspēcīgāko informāciju par skaņu dodošais materiāls. Virs tās būvētie virstoņi – ne mazāk svarīgi komponenti, tomēr vairāk atbild par skaņas krāsu, tembru. Turklāt virsskaņas, atkarībā no instrumenta, skaņas augstuma un dinamikas, bieži skaidri sāk kļūt dzirdamas tikai dažas sekundes daļas, atsevišķas pat- dažas sekundes pēc skaņas ieskandināšanas. Par sekundes desmitdaļas ir pietiekams laiks, lai mūsu smadzenes kā galvenās frekvences informāciju uztvertu tieši pamatvibrācijas augstumu.

Cilvēka smadzenēm piemīt spēja identificēt skaņas, kuras tikko ir izskanējušas. Tādēļ gluži dabiski, ka dzirdot skaņu oktāvu augstāk, kvintu, kvartu vai divas oktāvas augstāk, mums šīs skaņas rada patīkamas un atpazīstamas sajūtas, ko mēs dēvējam par konsonansēm – pirmās, parasti vislabāk

saklausāmās un sajūtāmās virsskaņas, tomēr ar savu skanējumu spēj atstāt uz klausītāju skaņas augstuma, ne tikai tembra iespaidu.

Virsskaņas atkarībā no instrumenta bieži skaidri sāk parādīties tikai dažas sekundes pēc skaņas ieskandināšanas.

Spējas dzirdēt un atšķirt virsskaņas katram cilvēkam ir savādākas. 17.gs. muzikologs Marēns Mersenns (Mersenne) uzskatīja ka cilvēks pilnīgi noteikti un skaidri var dzirdēt pirmās septiņas virsskaņas virs pamatskaņas.

Daži pētījumi, nedaudz pārspīlēti uzskata, ka cilvēkam piemīt iespēja dzirdēt vienlaicīgi līdz pat 27 virsskaņām. Taču, jāatzīst, ka tas pat teorētiski kļūst iespējami loģiska iemesla dēļ – kritisko diapazonu cilvēka ausī. Līdz sestajai virsskaņai apmēram skaņas vidēji nepārkļājas kritiskajā diapazonā, taču jo šaurāki kļūst intervāli virsskaņu starpā, jo ciešāk tie atrodas bazilārās membrānas kritiskajā diapazonā.

No otras puses, ir atsevišķi instrumenti, kuriem noteiktā skaļumā īpaši izteiktas kļūst tieši ļoti augstas virsskaņas virs pamatskaņas, bet vidējās ir teju nedzirdamas. Šādā gadījumā iespēja dzirdēt no pamatskaņas ļoti attālas virsskaņas ievērojami palielinās.

Izmaiņas skaņu augstumā

Paradoksāli – nedaudz netīra intonācija un ne pilnībā stabils skaņas augstums ir īpašības, kas padara patiesībā jebkuru mūziku par māksliniecisku vērtību. Šeit nav runa par neprecīziem skaņu augstumiem vai intonāciju kas šūpojas pat ceturtdaļtona robežās, bet gan par ļoti sīkiem kļūdas momentiem, kuri piemīt jebkurai dzīvai būtnēi. Panākt matemātiski nemainīgu gaisa plūsmas kustību pūšaminstrumentā, dzelžaini precīzu balss saišu rezonansi, līdz milimetra daļām noteiktā vietā uz stīgas sastingušu mūziķa pirkstu ir fiziski neiespējami. Tādēļ katra, pat visslavenākā mūziķa uzstāšanās ir pilna ar negaidītām, taču ļoti sīkām izmaiņām gan skaņas augstumā gan skaļumā un tembrā.

Katram piemīt savādāka spēja intonēt, gludāk vai mazāk līdzeni pāriet no skaņas uz skaņu. Gadījumos par kādiem te runājam, tan neietekmē izpildījuma vērtību un tehnisko kvalitāti.

Katram cilvēkam arī ir atšķirīgas spējas atšķirt dažādus vienu otram tuvu esošus skaņu augstumus ja runājam par intervāliem, kuri mazāki par pustomi. Vienam tas padodas labāk, citam sliktāk. Jebkurā gadījumā, ir vērojamas zināmas kopējas likumsakarības, saistītas ar spēju atšķirt un sajūst intonatīvas nobīdes.

Vispirms – skaņu intonatīvas atšķirības daudz grūtāk ir noteikt zemā reģistrā – diapazonā zem 500 Hz šī spēja arvien samazinās. Augstākām frekvencēm un skaņām intonatīvās atšķirības, savukārt, konstatēt ir daudz vieglāk.

Jārēķinās arī ar skaņas skaļumu – visos gadījumos sīkas izmaiņas skaņu augstumā ir vieglāk konstatēt dzirdot skaņu nekā klusu. Klusās skaņās, īpaši zemā reģistrā šīs izmaiņas var būt pat gluži nejūtamas pat pie salīdzinoši lielām nobīdēm no skaņas augstuma.

Iemesls tam ir likums, ka komplekso skaņu gadījumā par skaņas augstumu zemā reģistrā galveno priekšstatu nedod vis fundamentālais tonis jeb pamatskaņa, bet gan atsevišķas virsskaņas, kas virs tā skan. Tādēļ pārvietojoties, piemēram, par 20 centiem, mūsu auss uztver izmaiņas skaņas augstumā, taču neļauj īsti konstatēt kā tieši tās ietekmē fundamentālo toni, jeb pamatskaņu.

Augstākām skaņām fundamentālais tonis ir daudz vairāk izteikts un, līdz ar to, lielāka nozīme ir arī izmaiņām paša pamattoņa skaņas augstumā.

Absolūtā dzirde

Daļai mūziķu piemīt spējas noteikt skaņu augstumus bez jebkādas iepriekš dotas informācijas, atšķirti no jebkāda konteksta. To uzskata par īpašu spēju, un, pirmkārt, tas ir saistīts ar cilvēka fizioloģiskām īpatnībām. Šī īpašība piemīt ne tikai mūziķiem – daudzi cilvēki, kuru dzīve pat nav saistīta ar mūziku, nemaz neapzinās, ka viņiem piemīt absolūtā dzirde – tie vienkārši dzirdēto nespēj noformulēt atbilstošā muzikālā terminoloģijā.

Kā esam runājuši, dzirdot kādu skaņu, bazilārā membrāna iekšējā ausī iekustas noteiktā vietā, iekustinot nervu matiņus un nosūtot informāciju uz smadzenēm. **Absolūtās dzirdes gadījumā, varētu teikt, ka bazilārajai membrānai sadarbībā ar smadzenēm ir izveidojusies precīza atmiņa par noteiktu vietu, punktu, apstākļiem kādos notiek vibrācija un bazilārās membrānas kustība un vienmēr tā līdz ar to tiek atsaukta atmiņā, palīdzot salīdzināt ar citām skaņām. Bazilārā membrāna „atceras“ kurā vietā tai kustoties, atroda tas vai cits skaņas augstums.** Absolūtā dzirde nav vien spēja noteikt muzikālu skaņu augstumus – atsevišķos, ļoti izteiktos šī fenomena gadījumos, cilvēks spēj noteikt ļoti abstraktu skaņu, piemēram, zāles plāvējs, sitiens pa metāla katlu vai automašīnas bremžu čīkstoņa, absolūtos skaņu augstumus un to izmaiņas.

Daudz vairāk cilvēkiem piemīt tā saucamā **relatīvā absolūtā dzirde jeb intervālu dzirde** – spēja atpazīt jebkuru citu noti ja kaut viena, zināma, neilgā laika periodā iepriekš tiek dota. Kādu laiku šo noti vairs nedzirdot, cilvēkam šī spēja pazūd, līdz brīdim kad tā atkal tiek atskaņota.

Aktuāls ir jautājums vai absolūtā dzirde ir atmiņas un fizioloģijas fenomens vai arī to iespējams apgūt un uztrenēt? Par to diskusijas turpinās un vienota viedokļa nav.

Septiņdesmitajos gados tika veikti pētījumi, kuru rezultātā tika mēģināts pierādīt ka ar datoram speciāli izveidota skaņu ģenerators programmu ir iespējams šīs spējas *iemācīt* cilvēkiem, kuriem absolūtās dzirdes nav vispār, tomēr vēlāk tika izdarīti nopietnāki secinājumi, ka absolūtā dzirde ir jau dziļā bērnībā iegūta uztveres īpatnība, kuru iespējams tikai attīstīt ar pietiekamām pūlēm. Pat ja tā nav bijusi ļoti izteikta, fizioloģisku pārmaiņu rezultātā, kādā dzīves periodā šīs īpašības var pat nenojaustas pēkšņi parādīties, taču tikai tad ja tās apslēptas kaut kur slēpušās jau kopš bērnu dienām.

Tomēr absolūtajai dzirdei piemīt arī savas nepilnības un iespējas kļūdīties. Pierādīts paradokssāls fakts, ka klausītājiem ar absolūto dzirdi beži iztrūkst spējas noteikt skaņu augstumus oktāvas. Cilvēka dzirde, skaņas noteikšanai galvenokārt analizē divas īpašības – augstumu un krāsu. Absolūtā dzirde primāri ir iespēja dzirdēt toņa krāsu, specifiku, mazāk izteikti – augstumu. Tādēļ dzirdes aparāts šajā gadījumā atšķir Si no Mi, bet dažkārt nav spējīgs pateikt – kurā oktāvā.

Daudziem, turklāt, ir izteiktas spējas atšķirt skaņas augstumus tikai uz klavierēm (ko sauc par *Klavieru absolūto dzirdi*), vai, piemēram iespēja noteikt tikai sīnusa skaņas augstumu, kas bieži daudziem ir neiespējami. Neiespējami tas ir ir tāpēc, ka kompleksajiem toņiem piemīt daudz vairāk informācijas, kura slēpjas virstoņos (jau minētajā skaņas krāsā), kas, savukārt ļauj smadzenēm pēc bagātīgās saņemtās informācijas analizēt skaņu augstumus.

Absolūtā dzirde, neapšaubāmi, var būt palīgs mūziķa ikdienas praksē, bet tā var būt arī traucējoša gadījumos ja tās īpašnieks ir spiests klausīties nenoskaņotu instrumentu vai izpildīt sarežģītu mūziku citos skaņojumos vai ārpus ierastās temperācijas.

Dažādās muzikālās tradīcijās ir dažādi skaņojumi, temperācijas, un gadījumā, ja pēc akadēmiskām studijām, kur absolūtās dzirdes īpašnieka dzirdes aparāts daudzu gadu garumā tiek pieradināts pie skaņojuma, kur pirmās oktāvas La ir 440Hz nonākot autentiskās Baroka mūzikas izpildīšanas tradīcijās, kur šīs skaņas skaņojuma augstums variējas no 360Hz līdz 510Hz, mūziķim var rasties interpretācijas problēmas. Līdzīgi var notikt otrādi, kad senā skaņojumā spēlējošam vijolniekam ar absolūto dzirdi ir jāspēlē kopā ar labi temperētām klavierēm, rodas nedrošības un apjukuma sajūta.

Absolūtās dzirdes īpašības mūža garumā var mainīties. Tas saistīts ar bazilārās membrānas elastību. Noteiktā vecumā, mainoties cilvēka fizioloģijai, bazilārajai membrānai kļūstot mazāk nospriegotai, nedaudz var pārvietoties arī skaņas atpazīšanas punkts uz šīs membrānas. Tā rezultātā cilvēks var pat uztvert tās pašas skaņas pustonī augstāk.

Šādi piemēri, pat ar ļoti slaveniem mūziķiem zināmi pasaules mūzikas vēsturē. Zināms stāsts par kādu diriģentu, kurš mūža nogalē sāka jaukt Bēthovena simfoniju tonalitātes, kad viņam kāds tās jautāja – bija radusies nesakritība starp to ko šis mūziķis dzird un to, kas skan realitātē.

SKAŅAS SKAĻUMS

Ja runājam muzikālā kontekstā, tad skaļuma jēdziens neapšaubāmi ir daudz neprecīzāks un subjektīvāks kā skaņas augstumu apzīmējumi, ar kuriem bezšaubīgi katrs mūziķis vienmēr saprastīs vienu un to pašu. Vienīgais kas ļauj mums orientēties un saptast kādā skaļumā mums mūzika ir jāspēlē ir dinamiskās zīmes. Itāļu apzīmējumi *p*, *f*, *mf* vai *mp* vai *ff* salīdzinoši ar citiem mūzikas izteiksmes līdzekļiem vismazāk izsaka konkrētus lielumus vai piedāvā noteiktu atskaites punktu. Skaņas agstums tāpat kā tembra izvēle, mūzikas instrumenta izvēles ziņā ir tikpat kā neapstrīdami jēdzieni, taču runājot par dinamiku, nereti viena izpildītāja *p* ir cita mūziķa *pp*, bet kāda *f* ir cita *ff*. Turklāt zināms, ka dažādu laikmetu mūzikā ar šiem apzīmējumiem saprata atšķirīgas skaļuma

pakāpes. Tādējādi varam teikt ka skaņas skaļums mūzikas teorijas līmenī ir subjektīvs lielums. Taču kā ir, ja par to runājam no fizikas skapunkta?

Arī zinātniskā līmenī skaļums ir viens no vissarežģītākajiem un visvairāk diskutētajiem jautājumiem. Īpaši – jautājumos, kā skaļums ietekmē citus skaņas komponentus, sastāvdaļas un īpašības un kā mēs uztveram to kopumu.

Pirmais, visvienkāršākai fakts ir, ka jo lielāks skaļums, jo lielāka ir skaņas spiediena amplitūda. Tādējādi ja skaņas augstums bija saistīts ar vibrācijas ātrumu jeb frekvenci un tās periodiskumu, tad skaļums – ar amplitūdu (varam teikt arī – vibrācijas augstumu) un amplitūdas spiediena noturību.

Ja šis likums būtu tik vienkāršs, tad sīnusa skaņa, kurai visu laiku būtu konstants, nemainīgs amplitūdas spiediens, būtu ar nemainīgu skaļumu, neatkarīgi frekvencēm un to maiņas. Tomēr tā nav taisnība – sīnusa skaņas skaļums lielā mērā ir atkarīgs arī no skaņas frekvences un augstuma, tikpat kā no spiediena amplitūdas.

Arī skaņas viļņa forma ietekmē skaņas skaļumu – dažkārt ļoti sarežģīts, bet vidējas amplitūdas skaņas vilnis skan pietiekami skaļi, taču nereti – skaņa ar ļoti lielu amplitūdas augstumu – ir pat ne tik skaļa kā gaidīts.

Arī tas kārtējo reizi apliecina, ka skaņas skaļums netiek izteikts un ieteikmēts ar amplitūdu vien.

Vēlviens sarežģījums ir arī tas, ka skaņas skaļumu spēj iespaidot arī citu skaņu klātbūtne, kas skan ar to vienlaicīgi, pirms vai pēc tās.

Lai izprastu šīs dažādās, neparastās skaļuma īpašības, pētīsim sīnusa skaņu ar vienu, fiksētu frekvenci, lai vēlāk nonāktu līdz sarežģītām skaļuma attiecībām ar muzikālām skaņām.

Spiediens un intensitāte skaņu vilnī

Kā pamatfrekvenci turpmāk analizējamajai skaņai izmantosim 1000 Hz.

Skaņa normālā veidā nonāk līdz mūsu dzirdes aparātam, sasniedzot to no dažādām pusēm, atstarojoties telpas sienās, griestos un citur, tomēr, daudzo parametru dēļ, sākotnēji šādi izmērīt skaņas skaļuma īpašības būs grūti, tādēļ vienkāršojot jautājumu iedomāsimies dabā reti sastopamu situāciju – skaņa nonāk tieši mūsu ausī nekur citur neatdurties un neatstarojoties.

Jau zinām ka nonākot ausī, caur vidusauss mehānismu, kohlejā, sarežģītas viļņošanās rezultātā no skaņas tiek atdalīta enerģija, kura pārvēršas elektriskos signālos kas aizceļ uz smadzenēm, dodot priekšstatu par skaņas īpašībām. Priekšstats par skaņas skaļumu pieaug atkarībā no tā cik intensīvi auss mehānisms uzņem sevī, absorbē skaņas enerģiju. Tādējādi – jo vairāk enerģijas, jo auss vairāk sevī uzsūc skaņas vibrācijas un dod priekšstatu par to ka skaņa kļūst skaļāka.

Lai to vieglāk saprastu jāiedomājas divi lielumi – **spēks, kurš nogādā enerģiju uz konkrētu objektu (F)** - jo lielāks būs spēks, jo lielāks būs piegādātās enerģijas daudzums un **attālums, kādu objekts izkustās spēka iespaidā (d)**

Nododamā enerģija $W = Fd$

Enerģijas lielumu veido arī spēka un kustības ātruma (v) attiecības.

Nododamās enerģijas jauda $P = Fv$

Ja bungādiņas laukums ir **A**, spiediens kas nonāk uz tās ir **p**, tad varam aprēķināt ka **enerģijas spēks**, kas iedarbojas uz mūsu ausi ir

$$F = pA$$

Izdarot šos aprēķinus, jāņem vērā ka spiediens **p** ir saistīts ar lielumu, kurš uz mums iedarbojas tieši paša skaņas viļņa spiediena rezultātā. Tomēr, skaņa nepārvietojas pilnīgā vakuumā, un to neizbēgami ietekmē arī gandrīz nemainīga lieluma atmosfēras spiediens, par kura klātbūtni mums jāiedomājas izdarot šos mērījumus.

Atmosfēras spiediens dzirdes aparātu turklāt ietekmē gan no ārpuses gan no iekšpuses. Gaisa spiediena pretestība ietekmē kustības ātrumu un galējā formā, lai aprēķinātu **nododamās enerģijas pretestības lielumu**, uz mūsu bungādiņas ir

$$R = pAv$$

Mūzikas instrumentu skaņas jauda

Ikdienā pieņemtā elektriskās jaudas mērvienība ir vats W.

Tomēr jaudu vatos mēra ne tikai elektriskām ierīcēm – tā piemīt jebkuram priekšmetam vai dzīvai būtnei, kura spējīga radīt noteiktu enerģijas daudzumu.

Spuldze, kuras jauda ir 100W, to ieslēdzot pārvērtīs elektrisko enerģiju vienlaikus gaismas un siltuma enerģijā ar intensitāti 100 džauli sekundē (enerģijas mērvienība). Mikseris, kurš strādā ar 500W jaudu, patērē 500 džaulus katru sekundi. Daļa šīs elektriskās enerģijas tiek pārvērsta mehāniskā enerģijā, liekot griezties miksera lāpstiņām, tāpat pēc zināma laika mikseris radīs arī siltumu. Un fakts, ka mikseris, darbojoties rada diezgan skaļu skaņu, nozīmē, ka tam piemīt arī trešais komponents, kurā tas rada un patērē enerģiju – skaņa. Protams, miksera skaņa ir tikai miksera lietderīgās enerģijas blakusprodukts, tā, līdzīgi kā siltuma enerģija nekā lietderīgi netiek izmantota. Lielākā daļa enerģijas tiek patērēta tieši motora darbības nodrošināšanai, citi enerģijas veidi aizņem vien tikai salīdzinoši mazu daļu.

Gluži līdzīgi principi darbojas, ja tos attiecinām uz mūzikas instrumentiem. Tikai maza daļa enerģijas, ko izmanto mūziķis spēlējot, tiek pārvērsta skaņas enerģijā, skaņas vilnī vilnī un skaņas jauda (vienā sekundē izdalītā skaņas enerģija) parasti ir tikai maza daļa no vata vai tikai daži vati visspēcīgāko instrumentu gadījumā, pat kad instruments tiek spēlēts ļoti skaļi. Interesanti skaitļi iegūti veicot dažādu mūzikas instrumentu jaudas mērījumus.

Maksimālais dažādu instrumentu enerģijas spēks vatos:

Orķestris (75mūz) – 70W

Flauta – 0,06W

Klarnete – 0,05W

Mežrags – 0,05W

Trompete – 0,3W

Trombons – 6W

Tuba – 0,2W

Lielā bunga – 25W

Kontrabass – 0,16W

Skaidrs arī tas, ka maksimālā skaņas jauda ir atkarīga arī no izpildītāja un konkrētā instrumenta konstrukcijas. Šie mērījumi veikti noteiktā situācijā un nav uzskatāmi par universāliem, taču pietiekoši ticamiem. Tomēr tajos varam novērot teju nenormālas atšķirības, kādas ir dažādu instrumentu radītajā skaņas enerģijā. Trombons rada 100 reizes lielāku skaņas enerģiju, kā mežrags vai desmitreiz kā trompete kad visi spēlē fortissimo. Šajā gadījumā darbojas līdzīgs princips kā miksera gadījumā – katrs instruments savādāk sadala enerģiju ar kādu tas tiek darbināts dažādos komponentos – skaņa, siltums, kustība – kādam no instrumentiem kāds no lielumiem dominē, kādam – tie ir līdzsvarā. Tādēļ, īpaši tiros pūtēju sastāvos bieži iespējams sastapties ar dažāda veida objektīvām balansa problēmām, sevišķi ņemot vērā spēlētāju instrumenta darbināšanai ieliktās enerģijas attiecības ar skaņas spēku.

Mūsu uztvere gan šīs atšķirības tulko ne tik dramatiski. Tāpēc vēlāk noskaidrosim arī to, ka veids, kādā dzirdes aparāts reaģē uz skaņas enerģiju, reducē šīs dramatiskās atšķirības.

Skaņas jauda un intensitāte

Ja runājam par skaņas jaudu, aplūkojot iepriekš norādītos skaitļus, un iedomājamies gluži reālu situāciju – ja mēs pieliktu ausi pie pašas trombona vai tikpat labi – klarnetes piltuves brīdī, kad tiek spēlētas ļoti skaļas skaņas, mums būtu visas iespējas pazaudēt dzirdi, jo skaņas jauda, kas nāk no instrumenta šajā vietā ir koncentrēta un ļoti liela. **Skaņas intensitāte ir skaņas jauda, kura tiek mērīta uz noteiktu laukuma vienību.** Tā tiek mērīta, par atskaites punktu ņemot intensitāti uz konkrētu laukuma vienību, kurā tā rodas vai uz ko tā iedarbojas.

Tādējādi trombona piltuvē skaņas intensitāte ir ļoti liela, jo piltuves laukums ir salīdzinoši mazs. Ja tās rādiuss ir apmēram 10cm jeb 0,1m, tad laukums ir

$$A = \pi R^2 = 0,03 \text{ m}^2$$

Lai noteiktu skaņas intensitāti šajā konkrētajā vietā, jādala kopējā izstarotā instrumenta skaņas jauda ar piltuves laukumu.

Aprēķins būs sekojošs:

Jauda maksimālajā skaļumā $P = 6W$

$I = P/A$ (jauda dalīta ar laukumu)

$I = 6/0,03 = 200Wm^2$

Tātad skaņas jauda šajā vietā ir milzīga – 200 vati uz kvadrātmetru, kas notiek pateicoties skaņas milzīgajai intensitātei šajā konkrētā vietā.

Tomēr orķestra mūziķiem, kuru tuvumā sēž tromboni izredzes pazaudēt dzirdi ir nelielas, jo skaņas intensitāte un jauda strauji zūd, palielinoties attālumam no instrumenta.

Tas notiek tāpēc, ka skaņas viļņi neizplatās tikai taisnā leņķī no instrumenta piltuves, bet gan visos iespējamajos virzienos.

Protams šīs īpašības saistītas arī ar skaņas difrakciju jeb izliekšanos instrumentā, izejot dažādus tā līkumus. Tāpat arī ar viļņa garumu, par ko runājām jau agrāk – jo augstākas skaņas, jo viļņa garums īsāks, bet skaņas intensitātē tas nozīmē lielāku skaņas aizkavēšanos instrumentā, atstarojot to dažādās instrumenta daļās, savukārt jo zemākas skaņas jo tās ātrāk un intensīvāk iziet no instrumenta.

Pastāv likumsakarība, ka viļņa garums instrumentā parasti ir ne mazāks kā 3 reizes piltuves diametrs.

Skaņas avotu, kurš vienādā intensitātē izstaro skaņu visos virzienos sauc par izotropisku avotu.

Neviens no pūšaminstrumentiem nav nevainojami izotropisks, turklāt jāņem vērā arī ka skaņa tiek dažādā intensitātē atstarota no sienām un griestiem, kas visdrīzāk ir atšķirīgos attālumos no instrumenta, izjaucot iespējami izotropisku situāciju. Šī atstarošana ievērojami palielina mūsu iespaidu par skaņas intensitāti un spēku, un samazina reālo izjūtu par to, cik ātri skaņas jauda patiesībā zūd, rodoties dažādām atbalsīm (reverberācijai) no telpas sienām un citiem objektiem, kuri rezonē līdz instrumentam. Pieaugot attālumam no instrumenta, skaņa labās koncertzālēs bieži liekas ne tik strauji dziestoša.

Tāpēc bieži vien objektīvāks iespaids par instrumenta skaņas patieso jaudu rodas vaļējās vietās, ārpus telpām, kur instrumentam ir teorētiski iespējams parādīt savu izotropisko dabu, un arī pat tad ne vienmēr – koku un zemes reljefa vai citas klātesošas virsmas klātbūtne šīs īpašības spēj būtiski ietekmēt.

Muzikāli dinamiskā skala

Jauda, intensitāte, spiediens ir skaņu vilnim piemītoši objektīvi lielumi, kas ļauj izdarīt secinājumus par skaņas spēku. Šīs īpašības iespējams izmērīt ar dažādas aparātūras palīdzību. Bet kā šie

objektīvie lielumi ir saistīti ar mūsu subjektīvo skaņas skaļuma uztveri un muzikāli – dinamisko skalu, kuru mūziķi lieto ikdienā?

Visbiežāk dinamiku klasiskā mūzikā apzīmē ar zīmēm no **pp** līdz **ff**. Tomēr mūsdienās, komponistu individuālu ideju dēļ, vēloties ļoti tēlaini un dažkārt – sakāpināti atspoguļot savu izpratni par dinamiku un ar to saistītām emocijām, bieži tiek lietoti arī 5, 6 un vēl vairāk **p** un **f**. Pat jau P.Čaikovska 6.simfonijā tiek lietotas četras **f** un **p** zīmes. Ja mēs šo dinamisko zīmju skalu salīdzinātu ar mums pieejamajiem matemātiskajiem līdzekļiem, redzēsīm, ka pēc būtības dabā šādas ekstremālas skaļuma gradācijas dinamisko zīmju ziņā nav iespējamās, lai izteiktu visu dinamisko krāsu paleti, pietiek ar maksimāli 3 zīmēm.

Ja mēs ņemtu kādu tīru sīnusa skaņu un atskaņotu to dažādās intensitātēs, vienlaicīgi liktu to klausītājiem novērtēt, novērotu ka subjektīvas atšķirības skaļuma vērtējumā būtu lielas. Cilvēka dzirde, teorētiski, kļūst vājāka tuvojoties vecumdienām. Tādējādi, ļoti iespējams, ka skaņas kas 20g. vecumā šķita **f**, 60 gadu vecumā var šķist nu jau **mf**, bet nebūt nepasliktinot klausīšanās kvalitāti, tikai attieksmi pret tām.

Tomēr ir iespējams vilkt zināmas, pietiekami objektīvas paralēles starp skaņas intensitātes parametriem un dinamiskajām zīmēm, kas vismaz teorētiski samērotu šīs mums zināmās zīmes ar intensitātes fizikālajiem skaitļiem

Ja piemēram 1000Hz frekvences skaņas intensitāte uz laukumu būtu 0,01Wm⁻², lielākajai daļai klausītāju tas šķitīs ļoti skaļi, tāpēc tam varētu piemērot dinamiku **fff.**

Dalot šo lielumu ar koeficientu 10, iegūsim skaitli 0,001 Wm⁻², kas atbildīs **ff, vēl ar desmit 0,0001Wm⁻², kas būs **f** un tā tālāk. No tā varam secināt ka klusākām skaņām ir ļoti maza skaņas intensitāte. Sekojošie aprēķini ļauj secināt ka **ppp** dinamikas intensitāte ir 10 miljonus reižu mazāka par **fff** jeb 10Wm⁻⁹ (0,000000001Wm⁻² pret 0,01Wm⁻²)**

Atklājums, ka katrs nākamais solis dinamisko zīmju skalā sakrīt ar reizināšanas vai dalīšanas koeficientu 10, savā ziņā atgādina attiecības starp skaņas augstumu nosaukumiem un frekvenci. Arī šeit katrs nākamais muzikālais solis līdz tai pašai skaņai, jeb oktāva atbilda frekvences reizināšanai ar koeficientu 2.

Šī likumsakarība ļaus mums gan tīri matemātiski aprēķināt skaņas intensitātes un reālā muzikālā skaļuma attiecības gan frekvences un augstuma attiecības, gan šo komponentu savstarpējās attiecības.

Decibels

Vispār pieņemta zinātniska skaņas intensitātes mērīšanas mērvienība ir decibels. Kur tas rodas, ja skaņas intensitāti nupat noteicām vatos uz noteiktu laukumu?

Ja nupat noskaidrojām ka zinot *ff* dinamikas intensitāti, mums pietiek to tikai reizināt ar 10 lai iegūtu *fff* intensitāti (pie 1000Hz skaņas augstuma), vai dalīt ja jepieciešams uzzināt klusāku skaņu intensitāti.

Tātad redzam, ka šo divu dinamisko zīmju attiecības savā starpā ir izsakāmas formulā

$$I1 / I2 = 10$$

- vienas skaņas intensitāte tiek dalīta ar otras skaņas intensitāti uz noteiktu laukumu. Rezultāts šajā gadījumā būtu nosaucams par divu skaņu savstarpējās intensitātes koeficientu. Lai koeficienta kļūtu vienkāršāks aprēķinam logaritmu no tā –

$$\log 10 = 1$$

Tātad 1 ir vienkāršots koeficients, kurš fizikāli, skaņas intensitātes ziņā šķir vienu dinamisko soli no cita, piemēram, *mf* un *f*. Attiecīgi ja tie būs divi soļi, tad koeficients būs 2 un tā tālāk.

Šis viens solis, izteikts koeficienta skaitlī no vienas skaļuma pakāpes līdz nākamajai tiek saukts par 1 belu, par godu telefona izgudrotājam Aleksandram Belam. Sīkāku aprēķinu vajadzībām 1 bels tiek dalīts 10 decibelos jeb dB.

Tādējādi varētu teikt ka viens skaņas intensitātes solis muzikālās dinamikas skalā ir apmēram 10dB.

Saskaņā ar ko (pie 1000Hz):

<i>fff</i>	100dB
<i>ff</i>	90dB
<i>f</i>	80dB
<i>mf</i>	70dB
<i>mp</i>	60dB
<i>p</i>	50dB
<i>pp</i>	40dB
<i>ppp</i>	30dB

Izejot no iepriekš runātā varam aplūkot kādus secinājumus varam izdarīt operējot ar šiem lielumiem – muzikālās dinamikas līmeni, apzīmētu ar mums zināmajiem itāļu terminiem, un skaņas intensitāti, kā arī instrumentu daudzumu.

Piemēram ja divas flautas spēlē vienu un to pašu 1000Hz augstu skaņu vienādā skaļumā – vai un kā tas ietekmē skaņas skaļumu un jaudu?

Pirmkārt, lai izvairītos no interferences radītā iespaيدا uz skaļumu (skaņu viļņi pretfāzē viens otru izspiež par ko runājām iepriekš), svarīgi lai fāzes atšķirības skaņā būtu pastāvīgi mainīgas. Ja

klausītājs atrodas vienādā attālumā no abiem instrumentiem, viņš saņems vienlīdzīgu skaņas intensitāti no abiem instrumentiem. Bet vai abu instrumentu spēks summējas un otrs instruments dubulto skaņas intensitāti? To ir iespējams aprēķināt.

Tā kā instrumenti ir divi, lai izdarītu aprēķinus vispirms mums jāiegūst koeficients, logaritma skaitlis no skaitļa 2 ar ko operēt aprēķinos (3 instrumentu gadījumā – 3, 4 – 4 un tā tālāk), kas ir 0,3. Līdz ar to intensitātes pieaugums būs izsakāms kā

$10 \times 0,3$ (10 decibelu skala reiz skaitļa 2 logaritms) = 3dB.

Tā ir gluži necīga izmaiņa skaņas intensitātē, no kā varam secināt ka ar diviem instrumentiem nepietiek, lai skaņas skaļums izmainītos pat vienas dinamikas zīmes robežās ar nosacījumu, ka abi instrumenti spēlē vienā skaļumā. Tādējādi vienkārši aprēķini ļauj saprast ka, lai skaņa kļūtu skaļāka par vienu dinamisko zīmi būtu nepieciešamas 10 instrumenti divu vietā ($\log 10 = 1$), lai par divām – 100 instrumenti ($\log 100 = 2$).

Tādējādi loģiski liekas, ka koris, kurā ir 300 mūziķi būs spējīgs dziedāt daudz skaļāk par kori ar 30 dziedātājiem. Protams, šī kora skaņa neapšaubāmi būs **intensīvāka**, taču tas nenozīmē ka 30 dziedātāju koris būs desmitreiz skaļāks – tam ir iespējas dziedāt līdzīgā skaļumā, vienīgi tā būs panākama ieguldot lielāku enerģiju, taču ar saviem plusiem pret milzīgiem sastāviem – dziedot ar labāku skaņas artikulāciju, tīrību un skaidrību.

Šajā gadījumā runa šeit iet tieši par skaņas intensitāti un tās objektīviem mērījumiem, kas ne vienmēr saistīsies ar to, cik skaļi vai klusi mēs emocionāli uztveram mūziku, kuru mēs klausāmies.

Vēlāk gan noskaidrosim ka skaņas intensitāte un intensitātes pārejas lielums no vienas dinamiskās zīmes uz citu ir tiešā veidā atkarīgs no skaņas augstuma un pamatintensitātes, kas nepieciešama, lai šo dinamiku šajā augstumā sasniegtu.

Muzicēšana un skaļums ārpus telpām

Jebkurai mūzika, kura tiek atskaņota ārpus telpām atstāj atšķirīgu skaļuma un intensitātes iespaidu uz klausītāju kā ja tā tiek atskaņota telpās.

Liela daļa no šīm atšķirībām saistīta ar **reverberācijas trūkumu** – katra telpa, tajā izmantotie materiāli, atstarošana no tiem, šo materiālu pašu rezonanse rada skaņu pastiprinošu efektu, kā arī piešķir skaņai atbalss, telpiskuma iespaidu. Ārpus telpām varam novērot daudz straujāku skaļuma zudumu, palielinoties attālumam, jo skaņai ir maz punktu pret kuriem atdurties, aizkavēties, tā vietā lai atstarotos atpakaļ telpā un dotu papildus skaņas efektus, skaņa pat atstarojusies pret objektiem, aiziet nebūtībā – nekontrolējamā virzienā. Ārpus telpu robrzām nepastāv arī noteikts, ierobežots laukums un tilpums.

Tomēr arī dažādās atklātās vietās skaņa var būt savādāka – reti sastopamas vietas dabā, kur nebūtu nekādu šķēršļu, objektu, kur pašai zemei nebūtu reljefs, kuram ir sava akustiskā impedance, sava atstarošanas spēja. Līdz ar to reverberācija, ja arī tā pastāv, šeit notiek lielākās distancēs, skaļai

skaņai bieži sastopot ļoti tālus objektus tā pie mums atgriežas kā ļoti tāla atbalss, kamēr mūsu tuvumā savu skaļumu skaņa sen jau ir zaudējusi. Tā tas ir mežā, kur skaņa burtiski aizceļo atsitoties un ceļojot no koka uz koku, tā tas ir klajās ielejās, kur skaņa atsitās pret otru ielejas pusi, atgriežoties pie mums pēc ilga laika. Taču skaņa metru vai divus no mums zūd zibenīgi – tai nav aiz kā aizķerties un uzkavēties.

Ja pieņemam ka skaņa ir perfekti izotropiska un izplatās pilnīgi vienādi visos virzienos, tad pastāv likumsakarība, **ka skaņas intensitāte mainīsies, precīzāk – kritīsies palielinoties laukuma lielumam starp mūziķi un klausītāju.**

Tādējādi dubultojot attālumu, skaļums tiks reducēts ar koeficientu 4.

Lai mēs iegūtu vienkāršotāku operēšanas skaitli ar ko aprēķināt skaļuma izmaiņas, mainoties laukumam, jāaprēķina logaritms no skaitļa 4, kas tiek ņemts par pamatu šiem laukuma un intensitātes aprēķiniem. $\log 4 = 0,6$. Ja zinām ka viens dinamiskais solis ir 10, tad $10 \times 0,6 = 6\text{dB}$. Tas nozīmē ka dubultojoties attālumam atklātā atskaņošanas vietā, skaņas intensitāte samazināsies par 6dB. 10m attālumā attiecīgi tas būs par 6dB klusāks kā 5 m attālumā, savukārt pie 20m klusāks par nākamajiem 6 dB.

Tātad teorētiski varam pieņemt ka jebkura instrumenta skanējumam atklātā laukā būs līdzīgas skaņas skaļuma izmaiņas atkarībā no attāluma.

Šajā gadījumā reāliem skaitļu metriskajiem lielumiem nav tik liela nozīme – svarīgi saprast, ka katrs attāluma dubultojums samazina skaņas intensitāti teju par 2/3 no vienas dinamiskās zīmes.

Neapšaubāmi to spēj iespaidot arī laika apstākļi, kā arī gaisa spiediens un temperatūra no kā ir atkarīgs skaņas ātrums.

Skaļums un frekvence. Dzirdamības robeža

Interesantas parādības novērojamas ar skaņu, ja spēlējot tiek saglabāts nemainīgs skaņas intensitātes līmenis, bet mainīti skaņas augstumi. Dažāda augstuma skaņām piemīt dabiski dažāds intensitātes līmenis, lai sasniegtu vienu un to pašu muzikāli dinamisko līmeni, tāpēc saglabājot vienu konstantu intensitāti, bet mainot tikai skaņas augstumus, spēcīgi mainās reālais, muzikālais skaņu skaļums.

Ja mēs no sīnusa skaņām izveidosim solmažora trijskaņu arpēdžijas sākot no ceturtās oktāvas uz leju līdz pat subkontraktāvai saglabājot konstantu skaņas intensitāti – 60dB, novērosim interesantu parādību – līdz otrajai oktāvai skaņas skaļums vienmērīgi krītas no *mf* līdz *mp*, tad otrajā oktāvā tas atkal nedaudz kāpj, pirmajā nonāk atpakaļ līdz *mp* un tālāk krītas līdz *ppp* kontraktāvā un nonāk līdz praktiski nesadzirdamām skaņām subkontraktāvā ar to pašu skaņas intensitāti.

Dzirdamības robeža nozīmē zemāko intensitātes līmeni kādā sīnusa skaņa var būt sadzirdama klausītājam ar ļoti asu dzirdes uztveri.

Lai normāli sadzirdētu skaņas subkontroktāvā, kur skaņu frekvence ir apmēram 25Hz, skaņas skaļumam būtu jābūt lielākam par dotajiem 60dB. **Tas nozīmē, ka, lai mēs muzikāli uztvertu šādas lejupejošas skaņas vienādā skaļumā, pakāpeniski samazinoties to frekvencēm, būtu jāpalielina to fizikālā intensitāte.** Rezultātā šai pašai 25Hz skaņai vajadzētu būt ar 64dB intensitāti, lai mēs to dzirdētu līdzīgā skaļumā.

Cilvēka auss jūtīgums vislielākais ir uz to skaņu intensitāti, kuras atrodas 5.oktāvā un augstāk. Dzirdes jūtīgums uz skaņas intensitāti krītas skaņu augstumiem krītoties.

Lai dzirdētu sīnusa skaņu subkontroktāvas sol vienādā skaļumā ar trešās oktāvas do, mums nepieciešama miljons reižu lielāka intensitāte, aprēķinot to uz vienu kvadrātmētru.

Augstākā frekvence, kuru cilvēks spēj dzird pie pietiekamas skaņas intensitātes ir starp 15 000 un 20 000Hz. Šis skaitlis var mainīties līdz ar vecumu un daudzi vecāki cilvēki nespēj dzirdēt skaņas virs 10 000Hz. Par laimi, šādas frekvences muzikālā praksē tikpat kā nepastāv.

Ja mēs lietojam terminu *cilvēks ar ļoti jūtīgu dzirdi*, par kuru galvenokārt runājam, attiecinot šeit dzirdamās frekvences un intensitātes, tad tādi parasti pētījumu rezultātā ir apmēram 1 no 100. Ja mēs testētu lielāko daļu cilvēku, reti kuram no viņiem uztvere dzirdētu vājākas skaņas par 30 vai pat 40dB.

Atrodoties koncertā un mēģinot uztvert knapi jūtamas intensitātes skaņas, mums jāņem vērā arī fona trokšņu iespaids – lampas, ventilācijas sistēma, negaidīgi publikas trokšņi, krēslu čīkstojas, kāju šļūkšana, kas rada papildus skaņas līmeni. Turklāt pastāv arī pēkšņi skaļāki trokšņi kā klepus, skaņas aiz loga, kas spēj mūs izsist no koncentrācijas, mēģinot uztvert zemas intensitātes skaņas. Pilnīgi sterila skaņa pastāv tikai laboratoriskos apstākļos un ar elektroniski ģenerētu skaņu. **Tādējādi pat ja būtu vajadzība spēlēt zem 20dB, tam koncertu apstākļos nebūtu lielas jēgas, jo šīs skaņas varētu pilnībā pazust līdzīga vai pat lielāka līmeņa trokšņos.**

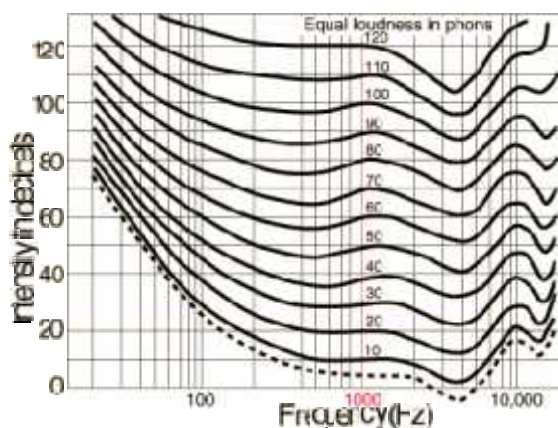
Salīdzinošās skaļuma mērvienības (kontūras) – foni un soni.

Līdzīgi kā mūzikā mēs lietojam itāļu terminus, lai apzīmētu skaļuma pakāpi, arī zinātniski tiek lietots apzīmējums, kurš par skaņas skaļumam piedāvā citu mērvienību – fonus.

Ja decibels ir skaņas intensitātes līmeņa mērvienība, kura ir izmērāma un rāda cik daudz enerģijas satur skaņas vilnis, tad foni ir mērvienība, kas apzīmē tieši skaņas skaļumu.

Šāda mērvienība nepieciešama tieši iepriekš aplūkotā jautājuma dēļ – ne vienmēr, dažādas frekvences, augstuma skaņas būs ar vienu muzikālo dinamiku ja tās spēlēsim ar vienu un to pašu intensitāti. Tādēļ ja vēlēsimies, lai visai mums spēlējajai mūzikai būtu viena un tā pati dinamika, mainīsies dažādu skaņu intensitātes.

Fonu un decibelu skaitliskie lielumi ir identiski vienā gadījumā – par izejas punktu fonu mērīšanai tiek lietots viens lielums – 1000Hz skaņai ar intensitātes līmeni 60dB dinamika būs *mp*, kas pēc zinātniskās skaņas skaļuma skalas atbilst 60 foniem. Visos gadījumos 60 foni nozīmēs *mp*, neatkarīgi no skaņas frekvences un intensitātes, kura, citas frekvences skaņām būs cita.



Ir pieņemts, ka līdzīgi kā *ppp*, zemākā iespējamā dzirdamā dinamika ir 30 foni, toties augstākā – 120 foni, kas jau tiek atzīts kā skaļums uz fiziskas izturamības robežas un rada *pukstēšanas* sajūtu dzirdes aparātā vai pat sāpes.

Ja mums dots konstants skaņas intensitātes līmenis un mainīgi skaņu augstumi, novērosim, ka fonu lielumi mainīsies līdz ar muzikālajām dinamikas zīmēm, turklāt, kā jau tika minēts – nedaudz viļņveidīgi – skaņai ar konstantu intensitāti kāpjot vai krītot skaņas skaļums mainās vietām pieaugot, vietām samazinoties, bet kopumā – krītoties, skaņu augstumiem ejot lejupejošā virzienā.

Vēl precīzākiem mērījumiem tiek lietota nesenākos laikos radīta mērvienība **soni** – tika pierādīts ka fonu un intensitātes, dinamikas attiecības, lai arī subjektīvas, bet nav tik precīzi izsakāmas kā tas nepieciešams zinātniskiem mērķiem – fonu skaitļi visbiežāk aprobežojas ar apaļiem lielumiem. Tādējādi soni izsaka subjektīvo skaļumu ne ar tik vienkāršām, proporcionālām attiecībām, bet daudz komplicētākiem aprēķiniem.

Auss un dinamiskās izmaiņas

Interesanti, ka lai cilvēka auss sadzirdētu ļoti zemas skaņas, tām jābūt ar pietiekamu intensitāti, taču vienlaikus – lai pārvietotos no *ppp* līdz *fff* dinamikai, vajadzīgas pietiekami nelielas izmaiņas skaņas fiziskajā intensitātē.

Tādējādi skaņas intensitātes un skaļuma attiecības ir tieši atkarīgas no skaņas augstuma un pamatintensitātes, kāda nepieciešama, lai šīs skaņas visos reģistros skanētu vienā skaļumā.

Līdz ar to, piemēram, spēlējot trešās oktāvas Do, apmēram 70dB (jau minētie apmēram 1000Hz) intensitātes starpība šķir dinamiku no *ppp* līdz *fff*, augstākām skaņām – ceturtajās oktāvas Do tie ir mazāk – 65dB, bet zemā reģistrā – subkontraktāvas Do nepieciešami tikai 47 dB lai pārietu no vienas galējās dinamikas līdz citai.

Līdz ar to viens dinamiskais solis, kas izsakāms kā apmēram 10dB trešajā oktāvā nokrītas uz 4-5dB zemajā reģistrā.

Auss, klausoties kompleksās skaņas, kuras, virsskaņu sastāva ziņā noteikti sastāv no dažādu frekvenču kopuma rīkojas kā sadzīves pastiprinātājs, kuram ir iespēja noregulēt augšējo un apakšējo frekvenču skaļumu.

Piemēram, ja klausāmie mūziku caur jaudas pastiprinātāju, vai lielos, pamatīgi apskaņotos koncertos, skaļā dinamikā tas vairāk pieaudzēs zemo frekvenču intensitāti kā augšējo, jo tam nepieciešams mazāk enerģijas, bet ja mēs skaļumu samazināsim, zemo frekvenču skaņu intensitāte samazināsies daudz straujāk kā augsto, jo lai to samazinātu, ir ejams daudz īsāks dinamiskais ceļš. Tas ir līdzīgi, kā ja klausāmie mūziku ar pastiprinātāju klusā dinamikā – mums nāksies noregulēt augstāku basu intensitātes līmeni, lai skaņas intensitātes un līdz ar to – skaļuma balanss starp zemajiem un augstajiem instrumentiem ierakstā būtu līdzīgs.

Atskaņojumos ārpus telpām, piemēram, pa ielu attālinoties pūtēju orķestrim, šīs likumsakarības sakrīt ar iepriekš apgūto par intensitātes zudumu līdz ar attāluma dubultošanu. Šajā gadījumā, pūtēju orķestrim attālinoties, zemās frekvences izzudīs daudz ātrāk kā augstās.

Maskēšana

Ir parādība, kas saistīta ar skaļumu un vairāku vienlaikus skanošu skaņu attiecībām. Tā ir skaņas dinamikas īpašība, kas visdziļāk saistīta arī ar muzikālo praksi, ikdienu un vairāku instrumentu spēlēšanu vienlaicīgi. Ja **interference** bija saistīta ar vienā vibrācijas fāzē spēlējošiem instrumentiem un to spēju vienam izstumt otra frekvenču amplitūdu, panākot it kā pilnīgu klusumu atainojošu zīmējumu mēraparātu ekrānos, tad **maskēšana saistīta ar skaņas skaļumu un intensitāti dažādos reģistros, vēl vairāk – dažādu skaņas komponentu (virsskaņu) intensitāti, kuras spējīgas viena otru izstumt un nomākt.**

Pavirši novērojot ar skaņu maskēšanu, jeb vienkārši sakot – nomākšanu, spēlējot visnopietnāk varētu būt raksturīgi zemu frekvenču instrumenti, kuru skaņas intensitāte ir vienlīdzīga vai augstāka.

Poļu zinātnieks Zavislockis (Zawislocki) radīja definīciju (1978) – **skaņa var tikt uzskatīta par maskētu ar otru skaņu, ja pirmā ir dzirdama kamēr otrā neskan, taču nedzirdama kad otra sāk skanēt.**

Tas saistīts ar nupat noskaidroto par skaņu dinamiskajām atšķirībām pie vienādas skaņas intensitātes kā arī pie intensitātes atšķirības variējot dinamiku.

Turklāt diviem dažādiem instrumentiem, blakus to pamatfrekvencei un tās intensitātes maiņām sakarā ar dinamikas maiņu, eksistē un skan arī daudzas virsskaņas, kuru intensitātes un dinamikas izmaiņas ir gluži atšķirīgas. Tas gan atkarīgs arī no instrumentu jaudas, kopējā skaita, apjoma. Savu lomu šeit spēlē arī cilvēka dzirdes aparāta darbības īpatnības, bazilārās membrānas vibrācijas, kritiskais diapazons.

Maskēšana ir problēma, kas jāņem vērā instrumentējot simfoniskus darbus. Diez vai komponists mērīs dažādu instrumentu intensitātes līmeņus tūri fiziski, tāpēc lielā mērā spēju talantīgi sabalansēt

orķestra instrumentu dinamiku nosaka vispārējā pieredze un spēja iztēloties dažādu instrumentu iespējamās skaņas intensitātes un jaudu dažādos reģistros un pie dažādas. Pat tikai dažu virsskaņu intensīva klātbūtne spēj maskēt citas, šķietami ļoti spēcīgas un intensīvas skaņas. Dažkārt pat ļoti neticamā veidā.

Kopumā varētu teikt ka **jebkuru skaņu augstāku par 1.oktāvas do spēj nomaskēt šī vai jebkura zemāka skaņa, ja vien tās intensitātes līmenis nav augstāks par zemākās skaņas intensitātes līmeni. Piemēram, ja zemākā skaņa ir ar intensitāti 70dB, augstākai skaņai šai intensitātei jābūt lielākai.**

Tas nozīmē ka instrumentācijas pamatā var ņemt likumību instrumentējot melodiju – jebkuru melodiju var nomākt pavadījums zemā reģistrā ar ļoti lielu skaņas intensitāti. Tā tas diez vai notiks ar skaņām, kas ir augstākas par melodiju, lai gan arī tās nopietni spēj iespaidot melodiju spēlējošā instrumenta kopējo nokrāsu un atsevišķos, gadījumos, absurdi vai netalantīgi balansējot dinamiskās zīmes un instrumentu skaitu – neapšaubāmi spēj nomākt arī melodiju šajā reģistrā.

Īpašu uzmanību instrumentējot jāpievērš metāla pūšamajiem instrumentiem zemā reģistrā, kuru intensitāte (un arī kā noskaidrojām – jauda) ir viena no lielākajām.

Zemā reģistrā instrumenti, neapšaubāmi, ir lemti spēlēt reģistrā, kurā auss ir relatīvi mazjūtīga, tomēr šajā ziņā spēj mainīt mūsu skaļuma uztveri. Tāpēc varens orķestra *tutti* akords visbiežāk saklausāms kā spēcīgāko zemā reģistra pūšamo un citu spēcīgu zemo instrumentu (ja vien tie ir pietiekamā skaitā un līdz ar to – ar līdzīgu jaudu kā augšējie instrumenti) solo ar atsevišķām krāsām no citiem instrumentiem, lai gan tie spēlē šķietami līdzīgā dinamikā un intensitātē.

Rihards Štrauss tādēļ reiz teicis kādam jaunam diriģentam – „nekad nevelti uzmundrinošu skatienu metāla pūšaminstrumentu grupai!”

Komplekso skaņu skaļuma īpašības

Komplekso skaņu skaļuma aprēķini ar vienkāršām matemātiskām formulām, atšķirībā no sīnusa skaņām, pateicoties kurām mums ir dota iespēja iepazīt fizikas likumu pamatbūtību, ir ļoti sarežģīti un neparedzami, jo kompleksās skaņas sastāv no daudzām virsskaņām, kuru starpā darbojas maskēšanas princips – viena virsskaņa spēj noslāpēt otru vai izcelt. Tas, protams, atkarīgs no konkrēta tembra, instrumenta, instrumentu izvietojuma, kombinācijām, no konkrētiem telpas apstākļiem.

Protams, šādi, padziļināti aprēķini un pētniecība tiek veikta, taču apgūstot akustikas pamatkursu, šādu mērījumu un aprēķinu iepazīšana prasītu vēl pamatīgāku papildus informācijas bagāžu, izpratni un laiku.

Pieņemsim ka ekstistē vidēja skaļuma skaņa, kurā virsskaņas atrodas drošā attālumā un nesakrīt dzirdes kritiskajā diapazonā. Šajā gadījumā aprēķins būtu salīdzinoši vienkāršs – ņemt vērā katra

atsevišķa komponenta – virsskaņas skaļumu (sonos vai fonos), lai ar viekāršu aprēķinu palīdzību rastu izpratni par kopējo skaņas skaļumu.

Cita situācija izveidojas, ja reizē dzirdam piemēram divas augstas, bet salīdzinoši klusas virsskaņas sekundas vai tercās attālumā, kuras neizbēgami atrodas mūsu auss kritiskajā diapazonā. Abi šie komponenti tādējādi iekustina vienus un tos pašus nervu galus kohlejā un tādējādi mēs varam rēķināt kopā to intensitātes, kā viena un tā paša augstuma. Situācija izveidojas līdzīga kā iepriekš aplūkotajā tēmā par divu un vairāk instrumentu kopā spēlēšanu un to ietekmi uz skaļumu.

Lietojot iepriekšējo aprēķinu:

$10 \times 0,3$ (10 decibeli intensitātes skalā reizināti ar skaitļa 2 logaritms) = 3dB
mēs iegūstam priekšstatu par to ka intensitātes atšķirība starp šīm virsskaņām būs apmēram 3dB jeb 3 foni, kas noteiktos apstākļos, divu virsskaņu starpā pat var likties ļoti daudz un spēlēt izšķirošu lomu, ja runājam par maskēšanu vai īpaša tembra veidošanu.

Toties starp tālākām skaņām, kuras neatrodas kritiskajā diapazonā šī skaļumu un intensitātes atšķirība būs daudz lielāka.

Skaņas skaļums mūzikas praksē

Līdzīgi kā ar citām skaņas īpašībām, par kurām runājam akustikas pamatzināšanu kursā, arī skaļums lielākoties pētīts laboratorijas apstākļos. Koncertu pieredze un dzīva muzicēšana situācijas modelē un veido nedaudz atšķirīgas.

Mūsu smadzenes koncertā, vai klausoties kvalitatīvu mūzikas ierakstu, izdara daudzas izvēles un uzmanība, diemžēl, tiek koncentrēta gan uz muzikālām gan ārpusmuzikālām lietām. Katru mums dzirdamo skaņu ietekmēs arī citas lietas, ar apkārtni ar saistītas, īpašības ko nosaka orķestra mūziķu izvietojums un spēles īpatnības, konkrētā situācija.

Interesanti pētījumi iepazīstina ar īpatnēju **psihoakustisku īpašību** – pazīstamā, zināmā mūzikā, pat ja kāda no skaņām melodiskajā līnijā tiek izlaista vai šo skaņu negaidīti pārmāc kāda cita skaņa, notiek tās maskēšana vai kādi negaidīti traucējumi, neskatoties uz to visu klausītāja apziņa šo vai šīs skaņas restaurē un „ieliek” atpakaļ savā vietā, pat ja tās tur nav.

Tā cilvēka apziņā izveidojas patiens vai izdomāts mūzikas koptēls – tā ir nepieciešamība mūziku dzirdēt saliedētā, vienotā formā, īpaši traucējumu gadījumā neapzināti cenšoties to saliedēt mākslīgi. Līdzīgi kā tā saucamā mūzikas *pēcsajūta* – muzikālās formas atmiņa un laika proporciju izjūta, kura savu darbību uzsāk tūlīt pēc skaņdarba izskaņas. Zinām, ka bieži skaņdarba laikā kaut kas īsti nav patīcis, taču skaņdarbam beidzoties, viss nereti vienoti saliedējas visnotaļ patīkamā koptēlā. Gadījumos ja tā nenotiek, izjūtot diskomfortu, mēs sniedzam kritisku dzirdētā vērtējumu.

Muzikālā apraksē daudz savādāk darbojas arī princips kurš saistīts ar skaņas intensitātes soļiem visā dinamiskās gradācijas līknē kas kā uzzinājam augstā reģistrā prasa apmēram 70dB soli no ļoti klusas

līdz skaļai dinamikai, bet zemāk – mazāk. Reti kad mūzikas praksē skaņas intensitātes līmenis nokrītas zemāk par 40dB.

Lielākajai daļai mūzikas instrumentu ir noteikts skaņas intensitātes līmenis, pie kura vispār iespējams saglabāt precīzu skaņas augstumu vai pat radīt pašu skaņu. Attiecīgi, blakus intensitātes līmenim, kas veidojas pie šī minimālā skaņas stipruma ir svarīgs arī attālums starp izpildītāju un klausītāju kā arī dažādas telpas īpašības, lielums lai šo skaņu vispār varētu uztvert un kādai būtu jābūt intensitātei, lai tā būtu labi sadzirdama.

Noliekot intensitāti mērošu aparāturu salīdzinoši nelielā telpā vai istabā apmēram 2m no vijolnieka, mēs izmērīsim, ka pieņemamas dzirdamības skaņa, kura turklāt nešūpoties intonācijā, būs nepārtraukta un daudz maz stabila šādā telpā būs apmēram 60dB skaļumā. Savukārt pieņemama skaļākā skaņa būs apmēram 95dB. Trompete šajos pašos apstākļos nedaudz atšķirsies un tās skaņas intensitāte būs robežās no 70dB līdz 100dB. Protams, šādos mērījumos ir jāņem vērā arī katra individuāla mūziķa talants – katrs reiz dzirdējis teju ģeniālu izpildītāju radītus engēliskus *piano*, kuri ne tikai nešūpojas inonātīvi, bet, šķiet nāk no citas pasaules.

Lielas koncertzāles apstākļos intensitātes līmenis šī paša stipruma skaņām būs zemāks, telpas akustikas dēļ, taču līmeņu atšķirība starp skaļāko un klusāko robežu saglabāsies.

Mūziķi lieto arī mākslinieciskākas metodes, lai arī izietu ārpus fizikas noliktām normām un robežām – stīgu instrumentiem, ļoti klusas dinamikas notis, neskatoties pat uz to ka tās rada nelielu nestabilitātes sajūtu, tiek lietotas kā māksliniecisks efekts.

Turklāt, kā liecina novērojumi, strauji mainot skaņu augstumus uz dažādiem instrumentiem, piemēram, spēlējot hromatisko gammu, intensitātes līmenis neaug vis pakāpeniski, kā to novērojām ar sīnusa skaņu, vai kā notiktu, ja instrumentu spēlētu robots, bet gan stauji lēkājot, atkarībā no izpildītāja izjūtas, mākslinieciskās un tehniskās varēšanas. Klausītājs, it īpaši ātra tempa mūzikā, šādas izmaiņas pat nespēj pamanīt.

Vēl vairāk – dažādiem mūzikas instrumentiem, pat spēlējot vienu un to pašu skaņu, piemēram 2.oktāvas Do, intensitātes līmenis no *pp* līdz *ff* aug savādāk kā tas iepriekš teorētiski tika apskatīts runājot attiecībā par sīnusa skaņu. Piemēram vijolei šeit novērojama tikai 15dB starpība starp katru dinamisko soli, jeb 3dB uz katru dinamisko gradāciju. Tas šķietami apgāž iepriekšējos, ļoti konkrētos aprēķinus, pierādot, ka reālas mūzikas praksē fizikas likumi ir tikai pamatprincips – katrā gadījumā tie darbojas individuāli un atšķirīgi.

Piemēram flauta zemā reģistrā spējīga radīt ļoti zemu skaņas intensitāti – tikai nedaudz vairāk kā 20dB pie *pp* un apmēram 50dB pie *ff*, turklāt abos gadījumos zūd instrumentam raksturīgais tembrs, skaņai līdzī skan daudz gaisa un instrumenta radīti trokšņi. Flautas intensitāte gan aug ļoti pakāpeniski un ilgstoši līdz augšējam reģistram. Vēl ļoti pakāpeniska dinamiskās intensitātes gradācija ir mežragam, bet trompetei, savukārt, šīs intensitātes izmaiņas no klusas dinamikas līdz skaļai ir diezgan mazas.

Šīs intensitātes pieauguma atšķirības dažādos reģistros īpaši var spēlēt nozīmīgu lomu muzicējot ansamblī, ja vienā reģistrā dažādiem instrumentiem tiek prasīts spēlēt līdzīgā dinamikā un pakāpeniski pāriet no vienas dinamiskās zīmes uz citu. Skaņas augstums, skaļums un tembrs, šajā ziņā, ir saistītas īpašības un viens otru spēj ietekmēt dažādu izmaiņu vai apstākļu rezultātā. Orķestra kontekstā, piemēram, solo, kurš tiek spēlēts *pp* dinamikā bieži vien tiek spēlēts daudz skaļāk, lai izvairītos no pazušanas zem pavadījuma vai arī maskēšanas. Tāpat, tas tiek darīts arī tāpēc, lai atstātu iespējamu rezervi vēl klusākai dinamikai.

Tomēr daudzos gadījumos, it īpaši mūsdienās, instrumentu intensitātes atšķirības tiek būtiski ņemtas vērā, veicot skaņdarbu instrumentāciju – pat skaļā *tutti* akordā daudziem instrumentiem vai to grupām tiek rakstītas dažādas dinamiskās zīmes, lai sabalansētu šo grupu jaudu, intensitāti, skaļumu, izvairītos no maskēšanas un nomākšanas, un galu galā – panāktu vienotu, saliedētu, viena skaļuma skanējumu ar māksliniecisku vērtību.

Var secināt, ka, **neraugoties uz apskatītajiem fizikas likumiem un aprēķiniem, mūziķi interpretē dinamisko zīmju nozīmi atkarībā no konkrētās mūzikas konteksta un paša instrumenta dinamiskajām iespējām.**

Tādējādi ir gandrīz neiespējami dzīvas mūzikas kontekstā atrast dzīvu, simtprocentīgi paredzamu teorētisku saskaņu starp dinamiskajām zīmēm un paredzamo skaņas intensitāti izteiktu dB.

Romantisma laikmetā orķestra sastāvs piedzīvoja būtisku paplašināšanu un palielināšanu tieši tādēļ, ka komponisti vēlējās sasniegt ievērojami lielākas dinamiskās gradācijas. Tam ir arī tiešs sakars ar akustiku – instrumentu daudzums palielina skaņas jaudu, instrumentu tembrālās krāsas un virsskaņu attiecības dažādos reģistros – intensitātes attiecības.

Skaļuma izmaiņu robeža cilvēka uztverē

Laboratorijas mērījumi parāda, ka ar vidusmēra dzirdi apveltīta auss spēj reaģēt uz izmaiņām sīnusa skaņas skaļumā, ja tā tiek pieaudzēta par aptuveni 1,5dB gadījumā, ja skaņa ir klusa vai vidēji skaļa. Skaļas dinamikas skaņām šī atšķirība ir pat vēl mazāka – auss uztver izmaiņas pat 0,5dB amplitūdā. Tādējādi iepriekš minētos 3dB vijolei uz katru dinamisko gradāciju jau var uzskatīt par diezgan lielu soli.

Ja atgriežamies pie jautājuma – kāpēc jebkurš mākslinieks spēlējot hromatisko gammu, piemēram uz stīgu instrumenta nekad nespēs izdarīt to matemātiski precīzi mainot intensitātes – būs novērojama skaņas intensitātes šūpošanās, kas, protams, piešķir mūzikai zināmu mākslinieciskumu?

Atbilde slēpjas mūziķa un viņa smadzeņu darbībā – mainot skaņu augstumus, spēlētājam jāreģistrē skaņas augstuma intensitātes, kā arī dinamikas attiecības, novērtējot to vienmērīgumu, jāstrādā būtībā reizē kā frekvenču analizatoram, kurš vienlaikus fiziski reaģē uz dzirdamo un sajūtamo. Tas prasa zibenīgu dzirdes aparāta, smadzeņu, taustes un, būtībā visa ķermeņa reakciju.

Ja intensitāte ir dinamikai nepietiekama, to nākas nedaudz palielināt, ja skaņas augstums pieprasa citu intensitāti, lai sasniegtu vajadzīgo skaļumu, tā jāpalielina, turklāt, dažkārt – burtiski momentāli.

Rezultātā – ātrā tempā spēlējot mūziku, šīs darbības veikt perfekti un pilnīgi vienmērīgi ir ļoti grūti. Rezultātā, klausoties palēninājumā ātra tempa mūziku ir iespēja uztvert nepārtrauktas minimālas izmaiņas skaņas intensitātē, kas var būt 1,5 vai pat vairāk dB amplitūdā.

Varētu teikt, ka viena no virtuozu mūziķu lieliskākajām īpašībām ir spēja perfekti un līdzīgi kontrolēt neparasti plašu dinamisko spektru uz sava mūzikas instrumenta, tādējādi nododot mums ļoti muzikāli niansētu informāciju jebkurā reģistrā un skaļumā.

Skaņas skaļums un dzirdes traumas

Zinātniski, medicīniski pierādīts, ka ilgstoša atrašanās ļoti skaļas skaņas vidē var traumēt dzirdes funkciju. Tādēļ, piemēram, strādnieki, kas strādā ar skaļu aparāturu vai ļoti skaļiem elektriskiem darbarīkiem lieto skaņas slāpētājus – austiņas vai ausu aizbāžņus, kuri cieši piekļaujas ausīm pasargājot no skaņas viļņu ar pārlieku lielu intensitāti iekļūšanas dzirdes kanālā un tālāk – visā dzirdes aparātā.

Tāpat, kā zināms, diskotēkas un rok koncerti ilgstošā iedarbībā spēj atstāt savas sekas uz dzirdi. Arī šeit pastāvīgi ikdienā strādājoši cilvēki izmanto speciālus ausu aizbāžņus, kuri daļēji slāpē skaņu, samazinot tās intensitāti.

Bet ja mēs zinām, ka **cilvēka dzirdes sāpju sliekšnis ir apmēram 120dB** – līmenis, pie kura skaņu uztveršana saistās ar fiziskām sāpēm, jau iespējamu traumā, tad vai Vāgnera, Čaikovska vai Mālera simfoniju grandiozie *fortissimo*, kuros skaļuma intensitāte sasniedz apmēram 100dB arī spēj tikpat lielā mērā sabojāt mūsu dzirdi kā strādāšana ar slīpmašīnu vai nepārtraukta atrašanās diskotēkā?

Skaļu skaņu ietekmi uz dzirdi var iedalīt divās grupās –

- 1) **īslaicīga ietekme**, no kuras dzirdes aparāts agrāk vai vēlāk atgūstas
- 2) **pastāvīga iedarbība** uz dzirdi, no kuras iekšējās auss mehānismā var notikt neatgriezeniskas izmaiņas.

Protams dzirdes iespaidi un izturība pret lielu skaņas jaudu, katram cilvēkam ir individuāli, tāpat kā jebkura cita orgāna darbība. Tāpat pieļaujama ir zināma *norūdīšanās* – pielāgošanās pie noteiktiem skaļuma apstākļiem – gan spējā izturēt ļoti skaļu dinamiku gan arī – saklausīt ārkārtīgi klusas, citiem pat nesadzirdamas skaņas. Taču jebkurā gadījumā skaļu skaņu ilgstoša iedarbība palielina risku iegūt dzirdes traumas. Jau runājot par dzirdes aparātu noskaidrojām, ka šī cilvēka ķermeņa daļa ir vienlīdz ļoti trausla, sarežģīta, bet arī tikpat izturīga – tai jāpiedzīvo neizturamas slodzes, lai radītu neatgriezeniskas traumas. Tomēr tas ir iespējams.

Skanot ļoti skaļām skaņām, zināmā mērā mākslīgi palielinās arī intensitātes dzirdamības robeža, pateicoties visu auss membrānu elastībai – tās pakļaujas. Kad skaņa pārstāj skanēt, dzirdes robeža uzreiz neatgriežas savās sākotnējā līmenī. Notiek **īslaicīga dzirdes robežas novirze** (*temporary threshold shift*). Šis efekts var ilgt no dažām minūtēm līdz vairākām dienām, atkarībā no skaņas skaļuma un ilguma.

Vislielākā dzirdes robežas nobīde ir novērojama skaņām virs 4000Hz, kur, šāda augstuma skaņām skanot ļoti skaļi un nemainīgi, tā aizkavējas visilgāk.

Kopumā var teikt, ka par dzirdes robežas nobīdi ļoti skaļu skaņu gadījumā varam runāt dzirdot skaņas, sākot apmēram no 3.oktāvas.

Tomēr šo jautājumu apskatot, atkal jāatceras, ka jebkuras muzikālas skaņas sastāv no dažādiem frekvenču komponentiem, jeb virsskaņām un gandrīz jebkuras, pat ļoti zemas skaņas tembra raksturs un krāsa ir lielā mērā atkarīgi tieši no augšējo virsskaņu dzirdamības un to kā tās iekrāso pamatfrekvenci. Tieši augšējās frekvences, arī pat ja tās ir tikai virsskaņas kādai pamatskaņai, rada būtisku dzirdes robežas nobīdi, kas neļauj mums pilntiesīgi uztvert dzirdamās skaņas vai mūzikas tembru, padara to vienkārši skaļu un neizteiksmīgu. Tādēļ, pat ja skaņas nav bīstamas dzirdei, skaļi klausoties tās vienkārši zaudē daļu savas informācijas, skaļuma dēļ zūdot augšējo frekvenču virsskaņām, kļūst vienkārši neizteiksmīgas.

Ja skaņas skaļums un **ilgums** milzīgā skaļumā pārsniedz zināmu līmeni, dzirdes robežas novirze var neatgriezties savā iepriekšējā stāvoklī un pārvērsties par **pastāvīgu dzirdes robežas novirzi**.

Daudz pētīts kādai jābūt skaņai, lai tā radītu dzirdes aparātam neatgriezeniskas sekas, tomēr pie vienota kopsaucēja vēl nav nonākts, jo tas atkarīgs no dažādiem komponentiem un pazīmēm, ne tikai garuma un skaļuma. Šie, iespējamie komponenti ir:

- 1) **Kopējais frekvenču spektrs, virstoņi un to intensitāte**
- 2) **Asas, apdullinošas, ļoti pēkšņas skaļuma maiņas, akcenti**
- 3) **Vai ļoti skaļa skaņa skan pastāvīgi vai tikai periodiski un cik ilgi**

Tomēr atsevišķi no šiem novērojumi ir iestrādāti starptautiskajos trokšņu līmeņa kontroles standartos, dažkārt radot gluži vai kuriozas situācijas.

Pierādīts, ka skaņas intensitātes līmenis zem 80dB maz ietekmē dzirdes robežas nobīdi, bet 90dB daudzās valstīs ir atzīti par augstāko darba vietā pieļaujamo skaņas intensitāti, ja šāds skaņas līmenis ir pastāvīgi. Šajos gadījumos jau ir ieteicams lietot dzirdi aizsargājošus skaņas slāpētājus un ierobežot darba laiku.

Klasiskajā mūzikā, simfoniskos darbos skaņas līmenis kulminācijās bieži pārsniedz 90dB līmeni, tomēr šis efekts maz ticams ir draudīgs dzirdei, jo skaļas vietas klasiskajā mūzikā gandrīz nekad nav nepārtraukti, turklāt tās neskan nebeidzami ilgā laika periodā. Tomēr ir zināmi gadījumi, kad simfonisko orķestru arodbiedrība nobalso par kādu skaņdarbu nespēlēšanu tikai dēļ šiem, šobrīd Eiropas Savienībā noteiktajiem skaļuma normatīviem darbavietā, kas, protams, ir absurdi un kuriozi pret lielu daļu klasiskās simfoniskās mūzikas, kuru tādējādi būtu jāizņem no jebkura orķestra repertuāra.

Ir noteikts, ka jo ilgāks ir laika periods, jo zemākas intensitātes skaņas līmenis ir ausij pieņemamas – dzirdei jebkurā gadījumā ir tendence nogurt arī no nepārtrauktām vidējas intensitātes skaņām.

Gluži cita situācija ir popmūzikā un rokmūzikā, kurā skaļuma līmeņi bieži ir vienmērīgāki un nemainīgāki ilgstošā laika periodā. Deju klubā, kurā skaļuma intensitātes līmenis bieži var būt pat ap

110dB vai ļoti skaļas mūzikas klausīšanās rokkoncertos ir jau bīstama un tiek uzskatīts, ka vismaz 1 no 10 regulāriem deju klubu apmeklētājiem ir pakļauts riskam iegūt zināmas dzirdes problēmas.

95dB skaņas intensitāte ir vispārīgi atzīts lielums, kādu drīkst lietot skaļos masu pasākumos vai klausīties mūziku, ar noteikumu, ka to ilgums nepārsniedz 2 stundas.

Vēl daudz bīstamāku efektu var radīt mūzikas pastāvīgi ļoti skaļa klausīšanās ar austiņām. Austiņas (īpaši – ausīs ievietojamās) atrodas ļoti tuvu bungādiņām, pārējam dzirdes aparātam, un pie ļoti skaļas mūzikas dzirdes kanālā ir spējīgas attīstīt pat skaņas intensitātes līmeni līdz 155dB, kas ilgstošā laika periodā, nepšaubāmi var būt graujošs.

Taču kas notiek ar pašiem mūzikas instrumentu spēlētājiem, kuri atrodas ļoti tuvu instrumentam tos spēlējot? Vai ilgstoša skaļu instrumentu spēlēšana nerada dzirdes traucējumus pašiem mūziķiem? Izpētīts, ka oboja, trompete, trombons vai klarnete, spēlējot tos *fortissimo* dinamikā, vidēju izmēru mēģinājumu telpā spēj radīt virs 100dB lielu skaņas intensitāti. Arī vijole rada līdzīgu intensitāti pie auss, kas tuvāk vijolei, pie otras auss šī intensitāte ir par apmēram 10dB zemāka. Tomēr būtu nepieciešams vismaz stundu spēlēt nepārtrauktu fortissimo, lai tas radītu graujošu iespaidu uz dzirdi. Ne mūziķu fiziskie spēki ne pašu psiholoģisks aizsāgmehānisms neļautu šādas aktivitātes veikt.

Šajā ziņā dabas iekārtots fenomens neļauj *nogalināt ar mūziku*, kā to apraksta leģendās par atevišķiem ar īpašām spējām apveltītiem mūzikas ģēnijiem. Vismaz spēlējot akustiskos instrumentus ne– cilvēka fiziski emocionālajā dabā ir dabiska aizsardzība pret saskaņām, frekvencēm vai skaļumu, kurš pašam mūziķim ir neizturams. Līdz ar to, vismaz ar akustiskas mūzikas līdzekļiem mūziķis nevar nodarīt fizisku ļaunumu klausītājam, nenodarot pāri sev.

Iespējams visriskantākais akustiskais instruments dzirdes traumēšanai ir *piccolo* flauta, kuras augšējā reģistrā ilgstoši spēlēts *fortissimo* tiešām spēj radīt nepatīkamas sajūtas arī pašam spēlētājam. Turklāt *piccolo* flautas skaņu augstums augšējā reģistrā tiešām krietni pārsniedz jau minētos 4000Hz, kur risks iegūt reālus dzirdes traucējumus ir vislielākais. Ja ne iegūt pastāvīgu dzirdes robežas nobīdi, tad šajā reģistrā ir diezgan grūti panākt precīzu intonāciju tīrību *fortissimo* dinamikā, jo kaut vai īslaicīga dzirdes robežas nobīde un raupjuma sajūta dzirdes aparātā, šādā skaļumā neļauj mums precīzi saklausīt skaņas virsskaņas un līdz ar to – intonāciju.

TEMBRS

Klausoties simfonisku orķestri, kurš spēlē vienu un to pašu skaņu, plūstoši pārejot no instrumenta uz instrumentu, jebkuram cilvēkam, kurš pazīst mūzikas instrumentus un to specifiku, šajā vienā skaņā ir iespēja atpazīt un identificēt to vai citu mūzikas instrumentu pēc dažādām tikai tam raksturīgām pazīmēm. Pieredzējuši klausītāji jebkura instrumenta skaņu spēj atšķirt arī ļoti sarežģītā orķestra faktūrā.

Piemēram, ja slavenais Morisa Ravela *Bolero* viscaur tiktu spēlēts uz viena instrumenta, tas būtu viens no garlaicīgākajiem skaņdarbiem pasaules mūzikas literatūrā. Tieši tembru dramaturģija, nepārtraukta instrumentu maiņa, būtībā spēlējot vienu un to pašu tēmu, padara šo skaņdarbu interesantu un dod tam virzību.

Jebkuras skaņas raksturīgās kvalitātes, kas palīdz identificēt noteiktu instrumentu vai noteiktas skaņas krāsas īpašības sauc par tembru.

Vienkārši izsakoties to var saukt arī par skaņas krāsu. Šo terminu lieto gan muzikālā nozīmē, gan arī sasitībā ar gluži zinātniskām diskusijām. It īpaši Vācu valodā plaši tiek lietots šis termins – *Klangfarbe* – skaņas krāsa. Izcilais 20.gs. Austriešu komponists Arnolds Šēnbergs savā skaņdarbā *Pieci skaņdarbi orķestrim* (1909) pirmo reizi lieto terminu *Skaņkrāsas melodija* (*Klangfarbenmelodie*) – melodisko līniju veltot nevis vienam, bet daudziem instrumentiem, melodijas punktus iezīmējot tieši **tembrāli**, dinamiski izceļot dažādas vienas melodijas punktus daudzu instrumentu starpā, kuri veidojas no vienas kopējas harmonijas. Tādējādi arī tiek pierādīts, ka **tembrs** un faktūra **var kļūt par mūzikas tematisko pamatmateriālu**.

Skaņas tembrs tad tiek definēts kā īpašība, kura piemīt skaņai un ļauj vienu vienu un tā paša augstuma skaņu atšķirt no citas.

Klasiskajā, zinātniski – pētnieciskajā izpratnē tembra būtība vispirms tiek pētīta, ņemot par pamatu nekustīgu skaņas stāvokli, ar konstantu skaļumu un skaņas augstumu.

Taču daudz interesantāka un bezgalīgas iespējas paveroša ir tembra un procesa pētniecība – kā skaņas tembrs mainās laika, dinamikas, skaļuma ietekmē. Vēl interesantāk – kā viens tembrs spēj kopāpastāvēt ar citu tembru dažādās intervālistās, dinamiskās, laika, reģistru attiecībās. Šo īpašību pētniecība vēl jo projām ir ļoti aktuāla, jo paver, būtībā, bezgalīgas, neierobežotas iespējas.

Tā palīdz gan komponistiem, papildinot savu krāsu paleti un darbarīku klāstu ar jaunām iespējām, gan fiziķiem, ārstiem – skaņu terapeitiem, izpētīt skaņas tembrālo komponentu iedarbību uz cilvēka organismu gan instrumentu būvētājiem un remontētājiem, izdarot secinājumus par instrumentu kvalitāti un vajadzīgajiem uzlabojumiem.

Skaņas krāsa, tembrs tikai atsevišķos, eksperimentālos gadījumos ir pilnīgi nemainīgs, nekustīgs stāvoklis – tembra būtība ir dzīvs, nepārtraukti mainīgs process, sīkas vai lielākas pārmaiņas kādā noteiktā laika periodā. Muzikālā praksē skaņas kustīgais stāvoklis – vibrato, dažādas sīkas skaņas kustības nianšes, ir tās īpašības, kas smadzenes nodrošina ar daudz plašāku un daudzveidīgāku informāciju par skaņas tembrālajām īpašībām.

Muzikālā laika izpratnē – **skaņas iesākums, jeb tā saucamā *Attaca***, ko jau reiz pieminējām kursa sākumā runājo par nekustīgu un īslaicīgu skaņas stāvokli **un veids, kādā tā veidojas, tās forma, ir būtiska, ja ne visbūtiskākā skaņas rakstura īpašība, kas veido priekšstatu par konkrētu tembru**.

Instrumentiem, kuriem vispār nav nekustīga skaņas stāvokļa kā klavierēm, arfai, ģitārai, amplitūdas līknes formai ir liela ietekme uz skaņas tembrālo uztveri. Tāpēc, piemēram, ierakstot klavieru skaņu

[illegible]

ESF projekts Nr. 2010/0110/1DP/1.2.1.1.3/09/APIA/VIAA/040
„Atbalsts mākslas un mūzikas vidusskolu audzēkņu konkurētspējas paaugstināšanai darba tirgū”

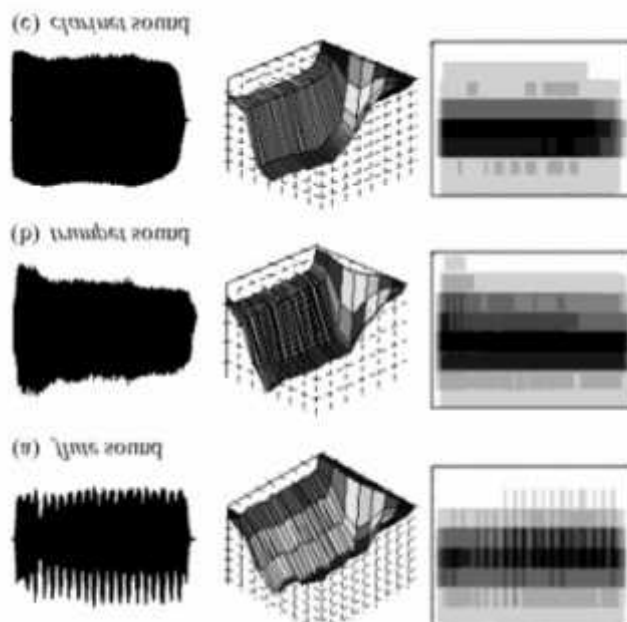
Vispirms novērojam to, ka pilnīgi vienāds ir skaņu viļņu periodiskums – vibrācijas cikli atkārotjas identiskos attālumos. Tas liecina par skaņas augstumu – tāpat frekvence ir identiska.

Redzam arī to ka vienāda ir skaņu viļņu amplitūda jeb augstums – tas nozīmē ka skaņas skan vienādā dinamikā un intensitātē.

Īpašība kas būtiski atšķirsies, būs pats skaņas viļņa zīmējums. Trombona gadījumā tas būs līgans, bez pārlieku daudz izliekumiem, alta gadījumā tas būs ass, stūrainš, līkumots.

Pirmajā brīdī liekas ka apskatot skaņu viļņa zīmējumu un zinot teoriju, kādam tieši vajadzētu izskatīties trombona vai alta skaņas vilnim, mēs varētu noteikt tieši kāds instruments spēlē. Jebkurā gadījumā – mākslīgi uzkonstruējot šādu skaņas viļņa zīmējumu, mums būtu jāiegūst konkrētā instrumenta tembrs. Tas arī bieži ir pamatā elektronisko instrumentu tembru radīšanas tehnoloģijai, piemēram, sintezatoros.

Tomēr realitātē viss nav tik vienkārši – dzīva instrumenta tembru mākslīgi uzkonstruēt ir ļoti grūti. Kāpēc? Mēģināsim šo pašu skaņu ierakstīt vēlreiz. Cenšoties trīs reizes pēc kārtas ierakstīt to pašu alta un trombona skaņu tajā pašā skaļumā, mēs katreiz iegūsim nedaudz, bet tomēr atšķirīgu zīmējumu, jo katreiz skaņas veidošanas procesā notiek nelielas izmaiņas, kas saistītas ar izpildītāja fizisko attieksmi pret skaņu un dažādiem psiholoģiskiem aspektiem, kurus identiski atkārtot nav iespējams. Līdz ar to mikroskopiskās detaļās mainās arī tembrs, taču to mēs kā ierindas klausītāji visdrīzāk varam pat nepamanīt.



Harmoniskais spektrs

Jau sākumā noskaidrojām, ka saliktu skaņas viļņu periodiska vibrācija tā saucamajiem Furjē komponentiem, kas nozīmēja iespēju reizinot pamatfrekvenci vai fundamentālo frekvenci ar vienkāršiem, secīgiem skaitļiem, iegūt katras virsskaņas frekvenci. Zinām arī, ka katras virsskaņas jeb harmoniskā komponenta amplitūda var būt arī attēlota harmoniskā spektra zīmējumā.

Salikta skaņu viļņa forma ir atkarīga no harmonisko komponentu jeb virsskaņu fāzēm un šo komponentu amplitūdām. Tas cik izteikts vai mazāk izteikts ir kāds no komponentiem, cik tie sakrīt vienā fāzē vai atšķiras, ir viens no faktoriem, kas nosaka katram instrumentam raksturīgo tembru. **Tomēr interesanti, ka nelielas fāžu maiņas cilvēka uztveri par skaņas tembru neietekmē ļoti būtiski**, tāpēc arī pastāv iepriekšējā nodaļā minētais fenomens – pat nedaudz atšķirīgi skaņu viļņu zīmējumi var izklausīties pilnīgi identiski.

Piemēram izsakot trombona maz sazaroto un līgano skaņu viļņa zīmējumu harmoniskā spektra zīmējumā, redzam ka tikai pirmā un otrā virsskaņa ir ar vērā ņemamu nozīmi, tāpēc arī skaņas vilnis ir tik maz likumots un bez asumiem. Šajā gadījumā mums pat varētu būt samērā viegli uzkonstruēt trombona skaņu mākslīgi, apvienojot tikai divas sīnusa skaņas vienā. Alta skaņas gadījumā pie līdzīgiem apstākļiem harmoniskajā spektrā varam novērot pat līdz 15 dažādām virsskaņām – komponentiem, kas arī rada skaņas viļņa zīmējuma sazaroto un aso attēlu.

Katras skaņas harmoniskais spektrs ir nepārtraukti mainīgs lielums. Tas mainīsies pieaugot skaņas dinamikai, tādēļ nav iespējams pilnīgi un absolūti par absolūtu un vienīgo noteikt vienu noteiktu harmoniskā spektra zīmējumu katrai notij, katram instrumentam kā tas varētu būt ar skaņas augstumu vai pat ar skaļumu pie noteiktiem apstākļiem. Līdzīgi arī ja spēlēšanas īpatnību rezultātā nesakrīt vibrāciju fāzes vai tās ir atšķirīgas, viena vai otra virsskaņa var kļūt vairāk vai mazāk dzirdama un līdz ar to – zīmējums – atšķirīgs. Trombona gadījumā runa ir tikai par 2 spēcīgu virsskaņu attiecībām, taču alta gadījumā, var parādīties pat jaunas virsskaņas vai slāpēties iepriekš labi dzirdamas.

Par vēl citām papildus variācijām harmoniskajā spektrā varam runāt gan sakarā ar spēlētāja skaņas veidošanas īpatnībām, gan arī sakarā ar nelielām telpiskām izmaiņām kas veidojas mūzikim ieraksta laikā mikrofona priekšā nedaudz kustoties un pārvietojoties. Skaņa šajā gadījumā neizplatās absolūti vienādi visos virzienos, katrai no virsskaņām līdz mikrofonam ir ejams savs ceļš, savs nedaudz atšķirīgs virziens no instrumenta daļām, tādējādi atrodoties vairāk vienā stāvoklī, mikrofons vairāk uztvers piemēram 4.virsskaņu, bet vēl citā – 5.virsskaņu.

Harmoniskais spektrs rezonējošās telpās

Gadījumā, ja skaņa, kuru ierakstām ir telpās, kurām ir izteikta pašrezonanse, saukta arī par **reverberāciju**, skaņas kuras sasniegs mikrofonu būs kokteilis no tiešām, paša instrumenta radītām skaņām un no sienām atstarotām skaņām – tās ēnām. Šis atstarošanas princips visbiežāk arī atstāj iespaidu uz tembra izmaiņām atkarībā no tā kā un pēc cik ilga perioda kuras virsskaņas atstarojas no sienām, kuras tiek slāpētas un kuras – celtniecības materiālu īpatību dēļ – pastiprinātas.

Jau tad, kad kāda no virsskaņām būs sasniegusi mikrofonu un it kā noformējusi priekšstatu par skaņas tembru, ko mēs sauktu par **tiešo skaņu**, pēc kāda laika tā pati frekvence vēl var atgriezties, kad tā tiek atstarota no sienas. Katrs no komponentiem, katra no virsskaņām var šādi vēlreiz sasniegt mikrofonu vai mūsu ausis atšķirīgā papildlaikā, atkarībā no virsskaņas augstuma, viļņa garuma, amplitūdas, tādējādi minimāli, bet tomēr nedaudz izmainot mūsu tembrālo uztveri, kad tās visas atkal ir savienojušās kopā.

Tādējādi var teikt ka dažādas vienas virsskaņas refleksijas telpā līdz klausītājam vai mikrofonam var nonākt ar noteiktas fāzes nobīdi no tiešās skaņas.

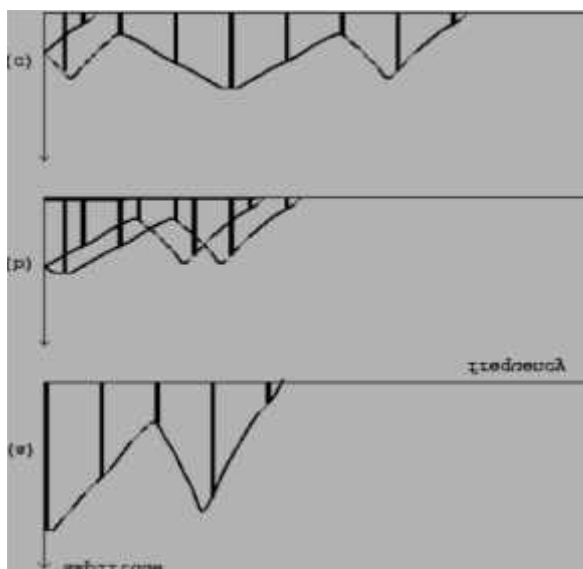
Tembra īpašības mainīsies arī kustībā – ja klausītājs pārvietosies telpā, kurā vijolnieks spēlē vienu skaņu, skaņas harmoniskais spektrs, ko uztver auss, dažādās telpas vietās liksies nedaudz atšķirīgs atkarībā no tā, kāda ir kuras virsskaņas refleksija pret kuru sienu, no kā tās gatavotas, un kāda ir fāžu nobīde starp tām konkrētajā vietā šīs refleksijas rezultātā. Pat vēl vairāk – skaņas tembra īpašības katrā ausī var būt nedaudz atšķirīgas, jo tā katra pavērsta pret savu telpas pusi.

Interesanti ka klausītājs sēžot koncertā un grozot galvu no vienas puses uz citu, šķietami pat nepamanīs būtiskas atšķirības dzirdamās skaņas tembrā, tomēr mērījumi pierāda ka dažādu harmonisko komponentu, jeb virsskaņu amplitūdas ko dzird klausītājs šādas kustības rezultātā spēj mainīt savu lielumu pat divkārt.

Nedaudz savādāks efekts veidojas ja galva tiek kustināta strauji. Tā, protams, neviens koncertu klausītājs nerīkojas, taču šāda kustība abām ausīm ļautu skaņu un tās virsskaņu spektru sadzirdēt daudz fokusētāk un tuvāk tās oriģinālam, neņemot vērā visas telpas atstarošanas īpatnības. Kāpēc? Smadzenes analizē visu saņemto informāciju un gadījumā ja galva ir nekustīga, katra no ausīm uztver tembrālās izmaiņas, kuras skaņas komponentos radījusi telpa katrā pusē, ne tik daudz paša instrumenta objektīvo tembru. Tātad – katra auss dzird nedaudz citu tembru. Turpretīm straujas kustības gadījumā ausis līdzīgi lokatoram cenšas reģistrēt un nogādāt smadzenēm dažādu tām pieejamu informāciju par skaņu kas ir apkārt un nāk no dažādiem virzieniem. No visa šī kopuma smadzenes atlasa pašu svarīgāko un šī informācija objektīvāk būs pietuvināta paša instrumenta harmonisko komponentu oriģinālajam skanējumam.

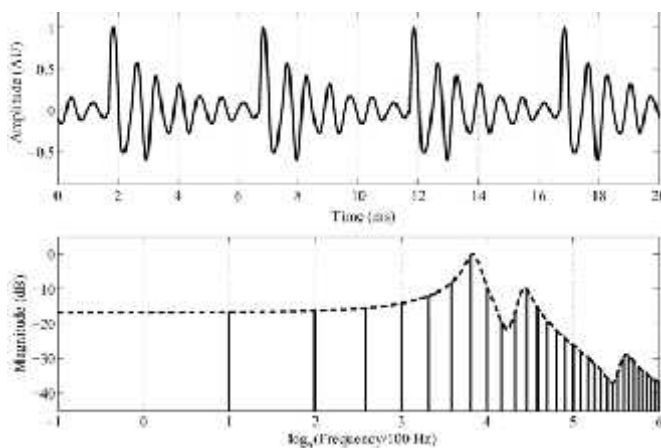
Tātad no visa iepriekš apspriestā varam secināt, ka, **lai arī mainīs virzienu, atrašanās vietu, lai arī nedaudz mainās skaņu viļņa zīmējums un harmoniskais spektrs dažādos vienas un tās pašas skaņas atskaņojumos, priekšstats par konkrētu instrumenta tembru mums saglabāsies tas pats.**

Tas nozīmē ka mūsu uztverei svarīgāk ir uzzināt un noteikt **vidējo harmonisko spektru**, kas rodas visus atskaņojuma variantus apvienojot vienā. Tīri grafiski – uzklājot zīmējumus vienu uz otra. Ja apvienojam visus harmonisko komponentu jeb virsskaņu zīmējumus no dažādiem ieraksta variantiem vienā, un novelkam starp to virsotnēm līniju, šo līniju sauc par **vidējo spektra amplitūdas līkni**. Šajā līknē vertikālā ass rāda katra harmoniskā komponenta amplitūdu, skaļumu jeb fizikāli – skaņas spiediena maiņu.



Likumība vēsta, ka ja virsskaņa ir divkārtša citas virsskaņas amplitūda, tā par to būs četras reizes intensīvāka.

Šo vertikālo asi mēs varam pārveidot arī par skaļuma asi, kurā izteikt katras virsskaņas skaļumu sonos vai fonos. Šādā gadījumā šis pats grafiks sauksies **skaļuma spektra amplitūdas līkne**.



Līdzīgi notiek arī klausoties mūziku koncertzālē – visa no visām pusēm iegūstāmo tembrālo inofrmāciju mūsu smadzenes cenšas maksimāli apkopot vienā, lai iegūtu vidējo variantu, vidējo spektra amplitūdas līkni.

Dažādas tembra dimensijas

Skaņas skaļums un augstums pēc būtības ir viendimensionāli mūzikas izteiksmes līdzekļi, jo tie pamatā sevi ļauj apskatīt tikai pēc viena vērtējuma veida – skaļāk, klusāk, augstāk vai zemāk. Tembrs, turpretīm, ir daudzdimensionāls mūzikas izteiksmes līdzeklis, jo skaņas tembrs vienam un tam pašam instrumentam pie dažādas vai pat tās pašas dinamikas, dažāda skaļuma un dažādiem spēles paņēmieniem, dažādiem spēlētājiem var atšķirties diezgan būtiski un visās pasaules valodās nav vienotu verbālu apzīmējumu vai terminoloģijas kā šīs īpašības aprakstīt.

Tomēr mūsu ikdienas muzikālajā konversācijā mēs lietojam dažādus apzīmējumus, lai aprakstītu tembru, dadudzos gadījumos tie ir pietiekami objektīvi, citos – emocionāli.

Ja mums pietiktu tikai ar dažiem pretstatu pāriem kā *gaišs – tumšs* vai *maigs – ass*, varētu teikt ka tembrs arī ir divdimensionāls, taču zinātnieks Bismarks (1974.gadā) nāca klajā ar 69 dažādiem pretējiem tembru īpašību pāriem, kurus iespējams lietot mūzikas tembrālajai raksturošanai. No tiem, vēlāk atsiņājot līdzīgus sinonīmus, tikai izkristalizēti 28.

Ieskatam tikai daži.

Trausls – Ciets
Rezervēts – Uzbāzīgs
Tumšs – Gaišs
Truls – Ass
Viegls – Smags
Vienmērīgs – Raupjš
Plašs – Šaurs
Tīrs – Netīrs
Ciets – Mīksts
Kompakts – Izkaisīts
Vaļējs – Slēgts

Ir pierādījies ka ar kopumā 28 apzīmējumiem ir pilnīgi pietiekoši, lai apzīmētu teju katru tembra niansi. Turklāt nav noteikuma, kas aizlieltu vairākus šos tembru pārus lietot vienlaicīgi.

Pētījumi rāda, ka maksimāli ar 3 – 4 apzīmējumiem ir pietiekoši, lai pietiekami precīzi raksturotu tembra īpašības. Ja ir vēlēšanās vēl precīzāk definēt katras tembra īpašības nozīmību, Bismarks piedāvā papildus lietot ciparu skalu no 1 – 7 (piemēram no ļoti tumša līdz ļoti gaišam), kas apzīmē katra noteiktā tembrālā rakstura svarīgumu. Piemēram – tīrs 3, rezervēts 7.

Nedrīkstam gan aizmirst, ka katrā pasaules valodā šiem jēdzieniem ir nedaudz cita jēdzieniskā noskaņa, kā arī saglabāsim veselīgu izpratni par katra cilvēka spējam subjektīvi saklausīt, iztēloties un izjust kāda konkrēta tembra nokrāsas.

Tembra mērījumi. Trijstūra diagramma

Tembrs kā mainīgs un dinamisks mūzikas valodas līdzeklis sevī satur daudz ļoti sarežģītas informācijas. Ne velti īpatnējs un no visas citas fizikāli stabilās skaņas teorijas atšķirīgs ir fakts, ka trīs dažādas, pēc dzirdes it kā vienādas ierakstītas skaņas dod ļoti atšķirīgu virsskaņu amplitūdas līkni.

Ir daudzi veidi kā tembra jēdzienu un parametrus, tembra dinamiku un pārmaiņas tajā izteikt skaitļu formā un dažādos aprēķinos.

Viens no nesenākajiem un interesantākajiem šādiem mēģinājumiem veikts 1982.gadā un tas iedvesmu smēlies citas maņas – cilvēka redzes fizioloģijā.

Cilvēka acs sastāv no trīs dažādu veidu konusveida receptoriem. Katrs no tiem ir jūtīgs pret noteiktu krāsu spektru – pirmais pret sarkanu, otrais pret zaļu un trešais – zilu. Acs saņem dažāda viļņu garumu gaismas starus, kurus acs filtrē un izprot kā šo trīs krāsu kombinācijas. Tālāk, atkarībā no gaismas viļņu garuma, kas saņemts, cilvēka smadzenes sjauc krāsas kā paletē un iegūst informāciju par attiecīgo toni. Smadzenēm ir vajadzīga informācija kas izsakāma ar trim parametriem – zils, zaļš, sarkans.

Minētajā skaņas **tembra pētījuma mēģinājuma pamatā ir līdzīgi principi – zinātnieki konstatēja, ka lielumi, kurus varam novērot katras skaņas spektra amplitūdas līknē arī ir noreducējami uz trim reģioniem.**

Pirmais satur tikai informāciju par pamatfrekvenci – fundamentālo frekvenci. Otrs satur informāciju par ļoti būtiskajām un katram dzirdamajām 2,3 un 4 virsskaņu (kopumā), bet trešais – par visām citām vērā ņemamām virsskaņām (kopumā), kuras augstākas par tām. Starp otro un trešo reģionu jāņem vērā arī iespējams akustiskas maskēšanas fenomens.

Lai izdarītu zināmus aprēķinus, operēsim ar virsskaņu izteikšanu skaļuma mērvienībās sonos. Sauksim fundamentālā toņa skaļumu par **Nf**, vidējā reģiona komponentu kombinētu skaļuma aprēķinu (iegūstams, aprēķinot vidējo aritmētisko) – **Nm** un augstāko komponentu – **Nh** (līdzīgs aprēķins).

Pilnais skaņas skaļums tātad būs

$$N = Nf + Nm + Nh$$

Tomēr lielums, kas šajā gadījumā ir mums nepieciešamā aprēķina mērķis ir proporcijas starp apakšējām, vidējām un augšējām frekvencēm skaitļos uzzināšana.

Šīs proporcijas uzzinām šādi:

$$f = Nf/N$$

$$m = Nm/N$$

$$h = Nh/N$$

Zinot to, ka kopējā savstarpējo attiecību summa vienmēr būs 1, tad šie aprēķini izteiks proporcijas daļās no šī skaitļa 1.

Tijstūra diagramma šīs attiecības izsaka grafiski.

Zīmējam trijstūri, kur vertikālā ass atainos iespējamo maksimālo augstāko virsskaņu skaļumu ar skaitli 1 galā, horizontālā – vidējo, līdzīgi – ar skaitli 1. Fundamentālais tonis šeit vienmēr atradīsies 0 punktā.

Piemērs. Trombona A pirmajā oktāvā pamattonis ir 23 sonu skaļš, 2 – virsskaņa 12 soni, bet augšējās virsskaņas nav novērojamas. Tas nozīmē ka kopējais skaņas skaļums ir $(23 + 12) = 35$ soni.

Tādējādi aprēķinot pēc iepriekšējām formulām –

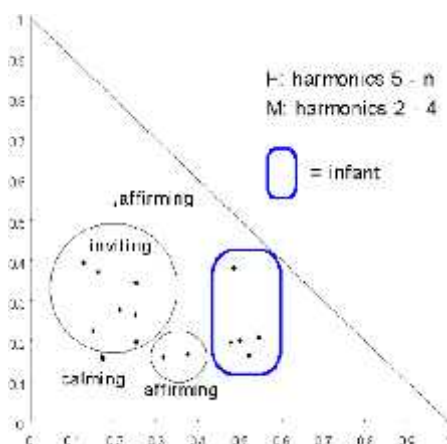
$$f = 23/35 = 0,66$$

$$m = 12/35 = 0,34$$

$$h = 0/35 = 0$$

(kopā 1)

Šīs proporcijas pret noteiktām abu asu vietām mēs varam attēlot trijstūrveida diagrammas plaknē. Katram instrumentam, neapšaubāmi, šī atrašanās vieta atradīsies citur, turklāt kā rāda zemāk rādītais piemērs ar bērna un viņa mātes balss analīzi – atkarībā no intonācijas un augstuma, tā var būt pat vesela punktu zona.



Šī diagramma, kura aizgūta un, pamatā tiek lietota vizuālā krāsu spektra īpašību izpētei, dod mums iespēju izvērtēt viena vai dažādu instrumentu virsskaņu attiecības, amplitūdu un to izmaiņas, attēlojot tās vienā, vienkāršā plaknes diagrammā.

Protams, arī šeit vairāki būtiski faktori, kas veido skaņas tembru nevar būt atainoti.

Formantas

Trombona skaņa, spēlējot 1.oktāvas skaņu La, rada priekšstatu, ka trombonam ļoti izteiktas apakšējās virsskaņas, bet tikpat kā nav dzirdamas augšējās.

Ierakstot skaņas citā reģistrā un dinamikā, konstatējam, ka trombona virsskaņu amplitūdas līkne dažādos reģistros dramatiski atšķiras, parādās citas virsskaņas un ta, pat nav nekāda sakara ar iepriekš apgalvoto. Piemēram, mazās oktāvas La pēkšņi mums uzrāda diezgan daudz dažādu virsskaņu klātbūtni – līdz pat piecpadsmitajai. Tomēr, lai kuru skaņu mēs nespēlētu, virsskaņu amplitūdas līkne nepārtraukti mainīgā veidā dod mums informāciju tikai par konkrētām virsskaņām, to amplitūdu, ne konkrētiem skaņu augstumiem. Ja šo pašu amplitūdas līkni sasaistīsim ar konkrētiem virsskaņu skaņu augstumiem, iezīmējot tos grafikā, mēs iegūsim interesantu informāciju, no kuras varam iegūt interesantus novērojumus un secinājumus.

Ja trombons spēlē minēto skaņu La dažādās oktāvās, tad salīdzinot virsskaņu rindu un virsskaņu amplitūdas līkni, ievērosim, ka neatkarīgi no oktāvas, vislielākā virsskaņu skaļuma amplitūda ir tuvu 1.oktāvas skaņai Si, jeb apmēram pie 500Hz.

Šis novērojums izskaidro kāpēc pirmās oktāvas skaņai La, kuras tuvumā ir šī frekvence, ir tik izteikta pamatfrekvence un tai seko salīdzinoši maz virsskaņu, jo visizteiktākās no instrumentam raksturīgajām virsskaņām atrodas tieši šīs skaņas apvidū. Tas pats sakāms arī lielās oktāvas sakarā, kur spēlējot minēto La, apakšējās virsskaņas nav pat tik labi dzirdamas kā tās, kuras savu izteiktāko amplitūdu uzrāda tieši ap 6.virsskaņu jeb tieši ap 1.oktāvas Si.

Šo parādību sauc par formantām – frekvenču reģionu, kurā harmoniskā spektra amplitūdas līkne vienmēr sasniedz augstāko punktu, pat neatkarīgi no spēlētās pamatskaņas augstuma.

Katram instrumentam ir raksturīgs savs formantu reģions ar ļoti izteiktām noteiktu virsskaņu aktivitātēm – virsskaņas, kuras vienmēr atsaucas spēlējot skaņas, kuru virstoņu rindā tās iekļaujas vai atrodas to tuvumā.

Uzskata ka ir instrumenti, kuriem šādi reģioni ir pat vairāki.

Šī skaņas fizikas ir parādība ir viens no iemseliem kāpēc dažādas viena instrumenta skaņas dažādos reģistros skan tembrāli atšķirīgi. Šis reģions ar savu visnotaļ stabilo virsskaņu spektru spēj objektīvi ietekmēt jebkuras skaņas jebkurā reģistrā rakstru un liek tai tembrāli atšķirties no citām.

Novērots, ka instrumentiem vai skaņām, kurām ir ļoti izteikts asums, formantu reģions novērojams augstā reģistrā, dinamiski izceļot arī augstākās virsskaņas, turpretīm, skaņām un instrumentiem, kuru tembris ir ļoti slāpēts, formantu reģions atrodas zemā reģistrā un izceļ pamatvirsskaņas.

Teorētiski pieņemams, ka gadījumā ja kāda instrumenta virsskaņu amplitūdas līkne būs līdzīga vai vienāda un visā spēlētās skaņas spektrā nebūs izteiktu augstāko un zemāko punktu, ja šī skaņa tiks spēlēta spēcīgāk un asāk, tai pieaugs augšējo virsskaņu aktivitāte un šeit parādīsies izteikts formantu

reģions. Turpretīm cenšoties skaņu mākslīgi maksimāli slāpēt un padarīt skaniski neizteiksmīgāku, vairāk dominēs apakšējās frekvences, snoslāpējot augšējās.

Parasti gan instrumentiem, kuriem raksturīts ass skaņas tembrs, ir jau skaidri noteikts dominējošo formantu reģions, kurš būs jūtams spēlējot arī zemas un klusas skaņas.

Formantu reģionu principi ļoti izteikti izpaužas arī cilvēka runas īpašībās un dziedāšanā, īpaši veidojot patskaņus. Lai iegūtu skaņu „i“, cilvēkam lūpas un mēle jānovieto tādā pozīcijā, kurā iespējams radīt virsskaņas ar trīs formantu reģioniem ap 300Hz, 2300Hz un 3000Hz. Lai pēc tam iegūtu skaņu „ū“, nepieciešams otro formantu reģionu pazemināt līdz 800Hz, bet trešo līdz 2500Hz. No tā jāsecina, ka runas un dziedāšanas māksla ir viena no sarežģītākajām virsskaņu veidošanas sistēmām, kura turklāt jāapgūst tādā līmenī, lai mēs spētu saprasties. Par laimi, daba mūs ir apveltījusi ar instinktīvu spēju šīs virsskaņu zonas izcelt vai slāpēt, apgūstot šīs mākas jau dziļā bērnībā.

Vokālajā mākslā tāpēc bieži ir novērojamas situācijas ka tie vai citi patskaņi noteiktā augstumā nav viegli dziedami – fiziskais spriegums liek lūpu stāvokli mainīt pilnīgi savādāk kā tas nepieciešams, lai iegūtu šīs virsskaņas, tāpat – noteiktos reģistros, pateicoties vajadzīgā formantu reģiona neesamībai šie patskaņi nesān līdzīgi vēlamajam rezultātam, atgādina citas skaņas.

Zinātnieki, ņemot vērā mūziķu intereses un vajadzības, vienmēr arī centušies meklēt objektīvus kritērijus, pēc kādiem būtu iespējams noteikt vai tembrs ir „kvalitatīvs“ vai „nekvalitatīvs“. Šeit runa iet tieši par konkrētu mūzikas instrumentu tembriem un to kvalitāti. Īpaši nozīmīgi tas ir locīņa stīgu instrumentu skaņas kvalitāti sakarā – instrumenta specifikai atbilstošs instrumenta tembrs un tā niansētība nosaka tā cenu.

Formantu reģionu atbilstība instrumenta tonālajam skaņojumam, dažādu virsskaņu izteikta dzirdamība un to sakritība kritiskajā diapazonā ir galvenie kritēriji, pēc kā iespējams šādus jautājumus noskaidrot.

Šim nolūkam instrumenta skaņa tiek ierakstīta īpašos laboratorijas apstākļos, kur mikrofons tikpat kā nesaņem tiešo instrumenta skaņu, bet tikai tā atstaroto un analizē iegūtās informācijas kvalitāti

Interesanti, ka, piemēram, vijoles skaņai vēlma un raksturīgs ir formantu reģions ap 500Hz, kuru rada instrumenta koka korpusa vibrācijas. Cits izteikts reģions ir starp 1000Hz un 3000Hz. Tiek uzskatīts, ka šajā diapazonā visnevēlamākās ir virsskaņas ap 1250Hz augstumu, kuras instrumenta skaņai piešķir tam neraksturīgas kvalitātes.

Tomēr ne visu instrumentu kvalitātes mērījumi var būt pakļauti šādiem mērījumiem.

Pārejas (transistents)

Jau daudz runāts ka viens no nozīmīgākajiem brīžiem, kurā formējas raksturīgākās skaņas tembra īpašības, ir skaņas iesākums jeb *attaca*. Stīga vai gaiss instrumentā nesāk vibrēt momentāli, paiet

zināms laiks, vairāki vibrāciju periodi, līdz skaņa sasniedz iespējamo nekustīgo stāvokli. Šo vibrācijas pieaugumu mēdz saukt par **sākuma pāreju** vai **attaca pāreju**.

Pieņemsim ka oboja spēlē 1.oktāvas Sol. Šī skaņa tiek ierakstīta un tās frekvence ir 392Hz. Viens vibrācijas periods šai skaņai ilgst apmēram 2,55ms.

Skaņas viļņa zīmējums rāda mums ka skaņas konstantais, nekustīgais stāvoklis tiek sasniegts apmēram ar 6. vibrāciju perioda beigām. Tas nozīmē – apmēram pēc 15ms.

Šajā zīmējumā arī redzēsīm, ka lai arī skaņas amplitūda aug dažu pirmo vibrāciju ciklu laikā, skaņu viļņa forma līdz nekustīgam stāvoklim mainās un sākumā ir gluži atšķirīga. Tas nozīmē, ka dažādi harmoniskie komponenti jeb virsskaņas šajā skaņas pieaugšanas jeb **sākuma pārejas** laikā pieaug dažādos laikos un ar atšķirīgu intensitāti. Šie harmoniskie komponenti katreiz niansēs atšķirīgi veidojas pateicoties nedaudz pastiprinātam gaisa spiedienam, kurš nepieciešams, lai liktu obojas mēlītei sākt vibrēt, kā arī dažādām tehniskām skaņām, kuras rada pati mēlīte, instruments un gaisa plūsma.

Tomēr ja šo sākuma periodu, kurā virsskaņu aktivitātes un viļņa formas attīstība sākotnēji šķiet haotiska, mēs no skaņas izgrieztu, būtu daudz grūtāk pateikt vai šī skaņa pieder obojai vai kādam citam instrumentam.

Sākuma pāreju vibrāciju pētniecība, aprēķini, nejaušību likumsakarības ir noderīga informācija programmējot elektroniskas skaņas, kuras atdarina konkrētos instrumentus, pretējā gadījumā nav iespējams uzmodelēt dabiskajiem identiskus tembrus.

Pat zinot sākuma pāreju frekvenču maiņas, tās nav gluži piemērojamas katrai skaņai un saistītas ar brīža nejaušību, kā rezultātā neticami dabisku instrumenta skaņu ar tik bezgalīgi variētu **klūdas faktoru**, kāds tas ir dabiskajam instrumentam un tā pūtējam, elektroniski radīt ir gandrīz neiespējami.

Pierādīts ka **noslēguma pārejas**, jeb brīdis, kad skaņa no nekustīga stāvokļa pāriet izdzišanas stadijā un notiek līdzīgas izmaiņas viļņa formā, noteiktām virsskaņām intensitātē krītoties, citām – pieaugot, priekšstatu par konkrētās skaņas tembru ietekmē daudz mazāk.

Ja pie virsskaņu analīzes ņemsim vērā pāreju virsskaņu frekvences, kā arī visu skaņas skanēšanas ar visām izmaiņām skaņas harmoniskajā spektrā un mēģināsim šo procesu attēlot iepriekš aplūkotajā trijstūra diagrammā, iegūsim līkumotu līniju, jo katrs no skaņas komponentiem savā noteiktā laikā raksturoties ar citu to vai citu virsskaņu nozīmību un atrašanās vietu.

Būtiskākie skaņas tembra faktori

Lai arī šodienas elektronisko mūzikas instrumentu industrija lieto gluži citas tehnoloģijas – dzīvu instrumentu **tembru semplēšanu** – ierakstītas dzīvu instrumentu skaņas pārvēršot

taustiņinstrumentu tembos ar ticamības momentu 1:1, idejiski varam turpināt aizsākto jautājumu par to, kā būtu, ja būtu vajadzība ticamus instrumentu tembrus radīt mākslīgā ceļā un cik šis rezultāts būs ticams? Vēl dažas desmitgades atpakaļ šis jautājums bija ļoti aktuāls. Lai saprastu šādas jaunrades realitāti, jācenšas atrast parādības, bez kurām konkrētā instrumenta dzīvās skaņas tembris nevar būt atpazīstams un, kuras mums obligāti nāktos radīt no pamatiem.

Jau noskaidrojām, ka viena no šādām parādībām ir skaņas *attaca* jeb **sākuma pārejas** brīdis. Cits jautājums ir visa skaņas viļņa forma kopumā. Franču komponists un zinātnieks Žans Klods Risē (Jean Claude Rissett) konstatēja, ka izrādās, lai cilvēks nešaubīgi spētu atšķirt kādu instrumentu, sīku un ļoti detalizētu izliekumu klātbūtne skaņas viļņā nav pats būtiskākais. Cilvēka smadzenēm ir svarīgi, lai skaņas viļņa forma vispāējās līnijās būtu identiska dabiskajam instrumentam, neizceļot nebūtiskas detaļas. Jau pieminēju, ka cilvēka iztēlei ir tendence skaņai pievienot trūkstošos, šķietami vajadzīgos, atpazīstamos un tai nepieciešamos komponentus.

Daudz būtiskāks jautājums – lielākā daļa mūzikas instrumentu radīto skaņu nav dzelžaini periodiskas un vibrācijas periodos nav pilnīgi vienādas dēļ jau daudzkārt minēta iemesla – dzīvs mūziķis neizbēgami, kaut vai mikroskopiski, bet tomēr nenoturēs skaņas intonāciju vienā nemainīgā frekvencē, pastāv arī dabiska, muzikāla skaņas *vibrato* tehnika, kā arī skaņas viļņā parādīsies neliela dažādu blakus skaņu un trokšņu ietekme. Tādēļ spēlējot pat ļoti uzmanīgi, virsskaņu rindā notiek nelielas nobīdes un izmaiņas atkarībā no šiem faktoriem. Jāsecina, ka noteiktu instrumentu skaņu varētu būt tikpat kā iespējams radīt pilnīgi identisku dabiskajai, piemēram, saksofona, kuram raksturīgs ļoti daudz neparedzamu kustību un nianšu skaņas iekšienē. Tādēļ saksofona tembris par ļoti modernos taustiņinstrumentos vēl jo prožām skan nedzīvi, robusti un samāksloti.

Vienlaikus – obojas skaņa šādai konstrukcijai padodas labāk, jo ir relatīvi stabila, mazāk mainīga, īpaši skaņas nekustīgajā stāvoklī.

Zinātnieks Grejs 1977.gadā apgalvoja, ka būtiskākie faktori skaņas tembra atpazīstamībai un dabiskumam ir trīs.

- 1) Kopējais enerģijas daudzums skaņas spektrā nekustīgā skaņas stāvoklī. To varētu sasaistīt ar iepriekš apskatīto jautājumu par skaņas asumu vai aizsegtumu un šo īpašību attiecībām ar virsskaņu aktivitātēm un formantām.
- 2) Otrs ir pats *attaca* brīdis, augsto un zemu frekvenču klātbūtne šajā brīdī un to proporcijas
- 3) Kādā secībā iestājas virsskaņu komponenti *attaca* brīdī jeb sākuma pārejā.

Tātad – kā jau iepriekš minējām – skaņas tembra atpazīstamībai svarīgākie ir tieši skaņas iesākuma un nekustīgā stāvokļa aspekti un to īpašības.

Vibrato

Klausoties vokālo mūziku, ierakstot balsi un to palēninot, iespējams novērot diezgan šokējošas īpašības, kas saistītas ar pēdējo gadsimtu mūzikā jau ierasto *vibrato* tehnikas lietošanu. Taču ne tikai

vokālajā mūzikā – arī instrumentālajā mūzikā lielākā daļa instrumentu *vibrato* lieto kā māksliniecisku līdzekli skaņas niansētības un jūtīguma palielināšanai. Šeit jāpiezīmē, ka daudzi autentisko mūzikas interpretāciju aizstāvji un atjaunotāji šodien apgalvo, ka vēl 19.gs. mūzikā vibrato tehnikas lietošana bija reta parādība. Klausoties komponistu – romantiķu skaņdarbus, bez *vibrato* pielietojuma, šodienas ausīm tie nereti izklausās nepierasti, dažkārt pat – disonējoši pierastajai uztverei.

Atgriežoties pie vokālās mākslas – pat izpētot tipiska operdziedātāja ierakstā iedziedātas garas skaņas konstatēsim, ka tām faktiski nevienā brīdī nepiemīt nekustīgs skaņas stāvoklis. Pēc sākuma pārejas, skaņas *attaca*, vajadzīgais skaņas augstums tiek burtiski „noķerts“ vai pie tā „piebraukts“ ar neliela *glissando* palīdzību un skaņas augstums *vibrato* rezultātā atsevišķos gadījumos variējas vismaz 6Hz robežās. Vienlaikus klausītājam šādas izmaiņas skaņas frekvencē nešķiet nekas nenormāls un pārdabisks – drīzāk neparasti liktos klausīties šo pašu skaņu pilnīgi bez *vibrato* – tas vēl vairāk izceltu dažādas skaniskas nepilnības, kuras saistītas ar dabisku cilvēka balss saišu darbības īpašībām (trokšņi, harmoniskā spektra maiņa atkarībā no rīkles sausuma, izelpas garuma). Klausītājs uztver, tāpat kā izpildītājs lieto *vibrato* nevis kā līdzekli, lai mainītu skaņas augstumu, bet līdzekli, lai bagātinātu skaņas tembru.

Tanī pat laikā vibrato lietošana ir tieši saistīta ar katra izpildītāja gaumi un praksi, lietojot dažādas intensitātes un apjoma un vibrato tehniku, kas ir viena no īpašībām, kas neizbēgami veido katram dziedonim raksturīgo, atpazīstamo skaņas tembru.

Vai tas tiešām nozīmē ka auss nespēj izsekot skaņu izmaiņām kuras ir apmēram 6Hz, jev aptuveni pustoņa robežās? Atskatoties jau apgūtajā, atcerēsimies, ka auss, it īpaši augstajā reģistrā spēj uztvert daudz sīkākas intonatīvās atšķirības!

Atbilde uz šo jautājumu slēpjas intonāciju maiņas ātrumā – mūsu uztvere lieliski reaģēs uz lēni mainīgām skaņām, konstatējot ievērojamu nobīdi uz abām pusēm no pamatskaņas, taču ne tik ļoti uz skaņu augstumiem, kuros intonatīvās pārmaiņas apkārt pamattonim notiek strauji. Lai par to pārliecinātos, palēniniet kādu opermūzikas ārijas ierakstu vismaz 10 reizes un pēc tam daudzkārtīgi paātriniet – pirmajā gadījumā dziedājums izklausīsies vienkārši pēc intonatīvi ļoti netīras „peldēšanas“ apkārt pamatskaņai, otrajā gadījumā, iespējams pat nepamanīsim vibrato klātbūtni – drīzāk – tembrālu trokšņainību.

Mūsu dzirdes uztvere ir veidota tā, ka ja nervu gali ausī spēj reaģēt uz norisēm, kuras notiek tikai dažu milisekunžu laikā, tad smadzenes dzirdēto „informācijas apstrādi“ veic nedaudz lēnāk spēj adekvāti reaģēt uz norisēm skaņu izmaiņās kas notiek ne biežāk kā 10 reizes sekundē. Tā kā *vibrato* kustība talantīgas dziedāšanas vai instrumenta spēles gadījumā var būt arī biežāka, mēs to neuztveram kā skaņas augstuma izmaiņu, bet gan vairāk kā skaņas tembru, māksliniecisku krāsu.

Kāpēc *vibrato* tiek lietots? Pirmkārt jau nedaudz pieskāros jautājumam, ka veids kā balssaites veido skaņu, līdzīgi kā atsevišķiem mūzikas instrumentiem (it īpaši lociņa stīgu instrumentiem), neizbēgami rada zināmas intonatīvas nobīdes un izmaiņas skaņas dabā, tai skanot ilgāku laika periodu. Šīs nobīdes var būt visai neregulāras un pat neprognozējamas, tāpēc ir spējīgas ietekmēt gan muzikalitāti gan klausāmā materiāla kvalitāti. *Vibrato* it kā daļēji noslēpj, daļēji arī regulē šīs izmaiņas.

Attiecībā uz citiem mūzikas instrumentiem pastāv arī diezgan subjektīvs uzskats, ka *vibrato* padara mūzikas instrumentu cilvēcīgāku, tuvinot to cilvēka balsij raksturīgajam *vibrato*.

Vibrato tomēr iespaido skaņas tembru arī gluži fizikālā ne tikai uztveres līmenī – nepārtraukti strauji mainot attiecības kādas pastāv starp pamatfrekvenci un visām formantu reģionā ietvertajām virsskaņām, kādas šai konkrētajai balsij vai instrumentam piemīt. Instrumentam vai konkrētai balsij piemīt.

Raksturīgās formantas, to zonas saglabāsies, izmainīsies vienīgi noteiktu virsskaņu sastāvs un secība, kuras nemitīgi pārvietosies notiekot nepārtrauktai skaņas augstumu maiņai. To intensitātes arī mainīsies atbilstoši *vibrato* ātrumam.

Pat to mākslīgi neveidojot, instrumenta skaņai šķietamu *vibrato* spēj piešķirt arī pašas koncerta telpas rezonanse. It īpaši lociņa stīgu instrumentiem telpas rezonanse var piešķirt papildus virsskaņu modulācijas, atstarojoties no sienām, un tas var ietekmēt kopējo tembru.

Kora efekts (Chorus)

Iepriekš, runājot par vibrāciju frekvencēm un fāzēm, pieminēju arī par efektu, kurš rodas vairākiem instrumentiem spēlējot unisonā, kad to fāzes nesakrīt un rodas fāžu nobīde. To sauc par **kora efektu**. Nav divu vienādu instrumentu, kas spētu iestāties ar matemātisku sinhronitāti vienlaicīgi un spēlēt vienā, nedalāmā vibrāciju fāzē, tāpēc kora efekts muzicējot vairākiem instrumentiem vai balsīm kopā unisonā (koris, orķestris, grupa) būtībā ir neizbēgams.

Ja unisonā spēlē tikai divi instrumenti ar ļoti līdzīgu intensitāti, spēlējot vajadzīga īpaša piepūle, lai fāžu nobīdes rezultātā nerastos nevajadzīgs pulsācijas efekts, kurš negaidīti var radīt neregulāra ritma iespaidu un ir klausīšanās procesu apgrūtināošs. Ja katrs no instrumentiem izvēlas nedaudz atšķirīgu *vibrato* ātrumu, šo efektu ir iespējams mainīt – instrumentu fāzes kļūst pārāk atšķirīgas, lai vispār kaut kur spētu tīrās nejaušības dēļ sakrist. Mūzikas praksē vibriežāk katra mūziķa *vibrato* ir ar nedaudz atšķirīgu ātrumu. Taču gadījumā, ja vienu skaņu kopā spēlē daudzi vienādi instrumenti – stīgu grupa, koris, dažādo vibrācijas ātrumu, fāžu lielās dažādības un atšķirības dēļ veidojas izteikti mirguļojošs tembrāls iespaids, kas rada tipisku kora efekta iespaidu, tāpat – piešķir skaņai izteiktu telpiskumu.

Ja aplūkojam šādu instrumentu grupu un viņu radīto kora efektu no harmoniskā spektra viedokļa, tad šāda tipa skanējumā par pamattoni un virsskaņu skaitu daudz svarīgāka ir virsskaņu intensitāte un to intonatīvā kvalitāte. Tas veido iespaidu par visa ansambļa kopējo intonatīvo kvalitāti.

Patiesi labam korim vai orķestrim muzicējot unisonā, pamatskaņas un virsskaņu atšķirības grupā nedrīkstētu pārsniegt 20 centus.

Vienlaikus ir pieejama informācija par kādu profesionālu kori, kura balsu grupās skaņas frekvenču atšķirība sasniedza pat pustoni zemajā reģistrā. Tomēr, visticamāk, tas vairāk ir saistīts ar ļoti plaša *vibrato* lietošanu kā sliktu dziedāšanu – šāds skaņas tips visbiežāk sastopams operas koros.

SKAŅOJUMU PRINCIPI, KONSONANSES – DISONANSES

Konsonanse un disonanse

Rietumu pasaules mūzikas klausīšanās lielākajai daļai mūsu kontinenta klausītāju šķitīs vispieņemamākā un saprotamākā. Dzirdot tālāku pasaules valstu mūzikas saskaņas tās visbiežāk liksies eksotiskas, neparastas, vai atsevišķos gadījumos pat – nepatīkamas. Tas saistīts ne tikai ar pašu mūziku, tās filozofiju, izteiksmi, saturu, formas un harmonijas īpašībām, bet vistiešākajā veidā arī ar skaņošanas un intonēšanas principiem, kuri ir atšķirīgi. Nav pat jāmeklē tālu pasaulē – arī šodienas rietumu mūzikas pasaulē eksistē daudzi un dažādi instrumentu skaņošanas principi, atšķiras skaņošanas augstums – laikmetīgos orķestros dažādās valstīs pirmās oktāvas La nu jau pārkāpj 440Hz robežu, nozīmīgi tiecoties uz augšu, vēloties panākt asāku skaņējumu, bet ja klausīsimies muzicējot labu Baroka mūzikas orķestri, skaņojums būs daudz zemāks un skaņas raksturs līdz ar to – patīkamāks, mīkstāks, maigāks.

Tāpat – daudzās pasaules kultūrās arī sapratne par to kas ir labskanīgs un kas mazāk ir diezgan ir atšķirīga no rietumu klasiskajā mūzikā pazīstamās intervālu dalīšanas disonansēs un konsonansēs.

Šeit aplūkojamā tēmā runa iet ne vairs par konkrētām skaņas frekvencēm, skaļumu vai tembru, bet par to kā mēs uztveram dažādas skaņu kombinācijas, kāpēc vienas saskaņas mums dod patīkamas sajūtas, bet citas ne.

Lai arī konsonanses jēdziens lielā mērā saistīts arī ar dzirdes treniņu un pieradumu, rietumu mūzikā atsevišķus intervālus kā oktāva, kvinta, kvarta vai tercās un to apvērsumus ir pieņemts uzskatīt par konsonansēm, bet pārējos intervālus – par disonansēm. Daļēji tāpēc, ka šiem intervāliem tiek piemēroti konkrēti skaņošanas standarti. Mūsdienu akustikas zinātnes pamatlicējs Hermanis fon Helmhols jau sen mēģināja atrast atbildes uz šiem jautājumiem par konsonējošo un disonējošo, bet 20.gs. viņa teorijas tika pamatotas arī psihofizikālos eksperimentos.

Viens no svarīgākajiem skaņu savstarpējās konsonanēšanas un disonanēšanas pamatojuma pamatojumiem ir balstīts mūsu dzirdes aparāta uzbūvē un jau aplūkotajā principā, kas saistīts ar kritisko diapazonu bazilārās membrānas kustībā. Divām skaņām atrodoties kritiskajā diapazonā, dzirdes izjūtā rodas ievērojama raupjuma sajūta. Jo tuvāk skaņas viena otrai atrodas kritiskajā diapazonā, jo raupjums izteiktāks. Zemām skaņām ap 100Hz raupjums sasniedz savu maksimumu, skaņām atrodoties apmēram 20Hz attālumā vienai no otras, kas atbilst apmēram 3 pustoņiem, bet augstāk par 1.oktāvas Do, raupjuma sajūta maksimumu sasniedz apmēram pustoņa attālumā. Līdz ar to varam apgalvot, ka dažādos reģistros disonēšanu vai konsonēšanu izjutīsim nedaudz atšķirīgi. Šī konsonanses vai disonanses izjūta kas veidojas mūsu ausī gluži fiziski. **Helmholcs konsonanses un disonanses jēdzienu skaņu starpā izskaidroja ar raupjuma sajūtu skaņu starpā, ko ietekmē frekvenču savstarpēja pulsācija.** Taču, tā kā mūzika tikpat kā neizmanto tikai sīnusa skaņas un to attiecības, bet ar virrskanām bagātas skaņas, tad nozīme nebūs

vien tikai pašu skaņu savstarpējam pulsācijas efektam un interferencei, bet arī visu dzirdamo un uztveramo virsskaņu savstarpējām attiecībām.

Tādā gadījumā disonanses līmenis ir atkarīgs no raupjuma pakāpes kāda rodas dažādiem harmoniskajiem komponentiem savstarpēji mijiedarbojoties, pulsējot, atrodoties kritiskajā diapazonā. Tādējādi atkal varam apgalvot, ka disonēšanas pakāpe būs dažāda ne tikai skaņu attiecībām dažādos reģistros, bet arī dažādu instrumentu ar dažādiem tembriem skaņu starpā. Piemēram divām flautām tā pati disonanse skanēs mazāk griezīgi kā, piemēram, obojai ar bagātāku harmonisko spektru, bet klarnetei ir ļoti vājas virsskaņas zemā reģistrā kā rezultātā arī disonanses neuztversies tik asi.

Tomēr lielākajā daļā jebkuru instrumentu diapazonu tieši pustoņa attiecības virsskaņu starpā ir tās kas rada vislielāko raupjuma sajūtu un arī – iedarbojas uz mūsu auss kritisko diapazonu. Piemēram divām flautām tā pati disonanse skanēs mazāk griezīgi kā piemēram obojai ar bagātāku harmonisko spektru, bet klarnetei ir ļoti vājas virsskaņas zemā reģistrā kā rezultātā arī disonanses neuztversies tik asi.

Relatīvajām konsonansēm un disonansēm tādējādi to konsonēšanas vai disonēšanas pakāpi iespējams notiekt salīdzinot toņu un pustoņu attiecības un to daudzumu starp abu skaņu harmoniskajiem komponentiem.

Lai konstatētu šīs īpašības, pilnīgi pietiekami ir salīdzināt pirmās 6 virsskaņas jeb hamoniskos komponentus.

Oktāvas gadījumā vairākas kopīgas virsskaņas burtiski sakrīt, kvintas gadījumā tikai divas virsskaņas pārvietojas lielas sekundas intervālā, kas ir relatīvi pieņemama saskaņa, taču tritona gadījumā jau pirmajās sešās virsskaņās veselas trīs virsskaņas ir pustoņa un toņa attiecībās, tādējādi jau dabiski veidojot ļoti disonējošu saskaņu, kura radīs savu fizikālo disonansi mūsu auss mehānismā kritiskajā diapazonā un neizbēgami veidos nepatīkamu raupjuma sajūtu.

Disonēšanas pakāpe ir atkarīga arī no tonālās un skaņojuma kvalitātes.

Viss iepriekš teiktais ir attiecināms uz dabisku, netemperētu skaņojumu, kurš pakļauts dabiskajām virsskaņām un dabiskām virsskaņu attiecībām. Nedaudz cita situācija var izveidoties ja skaņojums nav precīzs, vai tieši otrādi – ir dzelžaini matemātiski veidots, kā tas ir labas temperācijas gadījumā. Šajā gadījumā disonēšanas pakāpe pieaug kopā skanot daudz lielākam skaitam atšķirīgu un vienā kopīgā virsskaņu joslā nesakrītošu virsskaņu. Interesanti arī, ka, piemēram, labas temperācijas gadījumā, intervāli un skaskaņas, kuras tīri fizikāli tiek uzskatītas par konsonansēm, vairāk pieņem disonējošus apveidus – īpaši kvarta, kvinta un oktāva.

Oktāva un kvinta pēc sava veidojuma un virsskaņu proporcijām ir vairāk jūtīgas pret sīkām intonatīvām izmaiņām kā, piemēram, tercās. Tādējādi oktāvas un kvintas saskanīgums un precizitāte ir galvenie principi skaņojot tā saucamajā labajā temperācijā, kuras mērķis ir visas skaņas saskaņotas precīzi pa oktāvām tā, lai visās oktāvās tās sakristu un būtu identiskas.

Skaņas raupjums, asums, atrodoties kritiskajā diapazonā tādējādi ir galvenā fizikālā īpašība, kas ļauj noteikt to vai skaņa ir konsonanse vai disonanse.

Muzikālajā praksē disonances un konsonances termins vēsturiski tiek lietots ciešā saistībā ar kontekstu kādā konkrētais intervāls tiek lietots. Pamazināta kvinta (savulaik pat dēvēta par *Diabolo in musica* – nelabais mūzikā) vai maza septīma par disonantiem intervāliem tika nodēvēti Laso un Palestrīnas laikā, taču laikmetīgajā mūzikā ir vieni no visvairāk lietotajiem intervāliem. Vai mainījusies cilvēka dzirde? Lielā mērā tas saistīts arī ar cilvēka dzirdes un uztveres psiholoģiju un sajūtām, kādas viņš vēlas iegūt, kā arī ar kontekstu kādā konkrētie disonantie intervāli konkrētajā mūzikā parādās, kā tiek sagatavoti, kā atrisināti vai neatrisināti.

Intervālu disonēšana vai konsonēšana tādējādi muzikālā kontekstā ir subjektīvi uztverami. Ir mūzika, kurā pēkšņa lielas septīmas parādīšanās nemaz nešķitīs tik disonanta, savukārt ilgs nemainīgas kvintas lietojums iegūs nepatīkamu nokrāsu mūsu uztverē.

Ārpusmūzikālā kontekstā, spēlējot atsevišķus intervālus cilvēkiem bez muzikālas pieredzes, protams, šī sajūta ir pilnīgi savādāka. Runājot par laikmetīgās mūzikas disonantajām saskaņām – lai arī fizikāli tās tik tiešām mūsu fizikālajai uztverei var būt nepatīkamas, kā rezultātā – dažos gadījumos – spējīgas iespaidot mūsu psihoemocionālo stāvokli, pieradums un vajadzība, vēlme klausīties šādu vai jebkuru citu mūziku ir arī sasitīta ar klausītāja izglītības līmeni, iepriekšējo kultūras pieredzi. Zināms gandrīz vai kuriozs gadījums, kad sievietei bez iepriekšējas muzikālās pieredzes, pēc ļoti ilgstošas laikmetīgās akadēmiskās mūzikas klausīšanās, Mocarta mūzika likās neizturama un izteikti nepatīkama.

Mažora un minora trijskaņi

Konsonanšu un disonanšu jēdzienus mēs lietojam, pētot attiecības starp divām skaņām. Taču kāpēc mūsu dzirdei tik atšķirīgas emocionālās nokrāsas spēj dot dažādi visparastākie akordi un tosalikumi, kuros ir vairāk kā divas skaņas?

Vistipiskākais piemērs ir noskaņu atšķirība starp mažora un minora trijskaņiem. Pēc intervāliskā sastāva tie abi sastāv no vienādiem intervāliem – mazas un lielas tercās, kuras grodi ietvertas kvintas ierāmējumā. Abos gadījumos atšķiras vien intervālu secība, taču noskaņa ir atšķirīga – mažora trijskanis skan izteikti pacilāti, minora – dziļi, tumsnēji.

Jautājums par to vai trīs un vairāku skaņu teorētiska klasificēšana kā disonances vai konsonances ir iespējama, ir palicis atklāts.

Pēc Helmholca domām, īpašība, kas rada galvenās noskaņu atšķirības starp mažora un minora trijskaņiem ir kombinētie toņi, šajā gadījumā – vienkāršie starptoni – skaņas, kuru ietekme uz cilvēka dzirdes uztveri vēl līdz galam nav pierādīta, kuras aurāli skan līdzīgi divām un vairāk skaņām un kuras izpaužas vairāk kā mūsu dzirdes, uztveres fenomens, ne reāli eksistējošas skaņas.

Izpētot trijskaņus un visus tā apvērsumus, novērots, ka mažora trijskanim visos apvērsumos vienkāršie starptoņi atkārto tās pašas, mažora trijskanī sastopamās skaņas, nekādas jaunas vibrācijas nepievienojot. Toties, piemēram, Do minora trijskanī un sekstakordā vienkāršo starptoņu klātbūtne auss uztverē ievieš papildus skaņu La bemol, bet kvintsekstakordā vēl papildus – skaņu Si bemol, kas arī ir iemesls šai izteiktajai emocionālās nokrāsas atšķirībai.

Vienkāršo starptoņu nozīmība mūzikā vienmēr bijusi asi diskutēta, tomēr, piemēram, izcilais Vācu komponists un teorētiķis Pauls Hindemits uzskatīja, ka to nozīme ir nenovērtējama: „intervāls bez kombināciju toņiem būs tikai abstrakta koncepcija, bezķermeniska eksistence, lielums, kuru izsakām matemātiski.“

SKAŅKĀRTAS

Skaņkārtu veidošanas principi dažādās pasaules kultūrās ir atšķirīgi, taču zināms ir fakts, **ka visas skaņkārtas lielākoties radušās no cilvēka runas un balss intonācijas būtības – vēlmes izteikt to vai citu noskaņojumu dažādās emocionālās gradācijās un augstumos.**

Daudzas pasaules tautas oktāvu nedala vis mums rietumu mūzikā pazīstamajos 12 hromatiskajos toņos ar vienmērīgiem attālumiem skaņu starpā, bet gan daudz sīkākās vai pat – lielākās daļās. Piemēram, Arābu augsti attīstītajā mūzikas kultūrā raksturīga skaņkārtu veidošana no par pustoni sīkākiem intervāliem, lietojot ceturtdaļtoņu, trīs ceturtdaļtoņu, piecu ceturtdaļu toņa un pusotra toņa intervālus. Indiešu klasiskā mūzikā savukārt oktāva daļa 22 daļās, ko sauc par *šrutī*. Indonēziešu mūzikā oktāva tiek dalīta 5 vienādās daļās.

Vislielāko izplatību piedzīvojušas tieši skaņkārtas, kurās skaņu daudzums nav pārāk liels.

Rietumu mūzikā, kā zināms, galvenās ir skaņkārtas, kuru atskaites punkts ir oktāva, to galvenais ierāmējums – kvinta un dažādi noturīgie trijskaņi.

Vienlaikus mūzikas praksē grūti atrast skaņkārtas ar dzelžaini precīzām un nemainīgām frekvencēm, kuras tādā veidā iespējams univērsāli atskaņot uz jebkura instrumenta. Tas lielākoties saistīts ar instrumentu skaņojuma principu – balss kā instruments ir saistīts ar skaņu intonēšanu – tās ne vienmēr būs precīzi vienā un tanī pat frekvencē, vienmēr nedaudz atšķirsies, līdzīgi ir ar stīgu instrumentiem un pūšaminstrumentiem. Daudziem koka pūšaminstrumentiem vienu un to pašu skaņu iespējams iegūt, lietojot dažādas, atšķirīgas vārstu kombinācijas. Pēc kārtas klausoties dažādu šāda tipa vienas skaņas variantus, mēs jutīsim būtiskas intonatīvas augstuma atšķirības to starpā.

Pitagora skaņkārtā

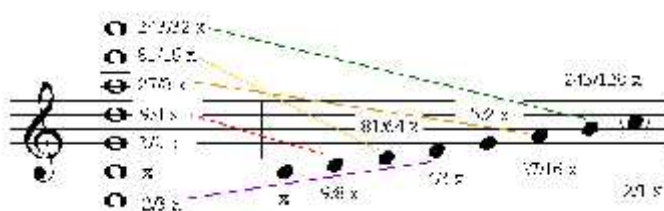
Pat primitīvajās kultūrās, jebkuras skaņkārtas atskaite punkts visbiežāk ir oktāva. Tas saistīts ar naturālu tembrālu nepieciešamību vienu un to pašu mūzikas materiālu atskaņot dažādos augstumos un līdz ar to – tembros, krāsās.

Lai arī oktāva ir galvenais punkts, piemēram ķīniešu, indiešu, turku vai arābu mūzikā attiecības starp skaņām nav mūsu tradicionālajā izpratnē konsonantas. Tas ir pieļaujams un iespējams, jo šī mūzika pārsvarā ir monofoniska.

Rietumu mūzika kopš zināmiem, seniem laikiem ir kļuvusi daudz balsīga, līdz ar to vajadzība pēc balsu savstarpējās saskaņas ir pieprasījusi konsonantu intervālu sistēmu, lai būtu iespējams saskanīgi spēlēt kopā, vairāk vai mazāk – bez akustiskām disonansēm.

Diatonisko skaņkārtu principus pazina jau senajā Grieķijā un to attīstība saistīta ar grieķu filozofu Pitagoru 6.gs.p.mē vēl pirms daudz balsīgas mūzikas izveidošanās. Eksperimentējot ar stīgas dalīšanu segmentos, Pitagors atklāja fundamentālo virsskaņu rašanās fenomenu, dabisko virsskaņu rindu, novērojot vienkāršās likumsakarības, kad stīgai vibrējot uz pusēm iegūstam oktāvu un pēc tam vēl uz pusēm – kvintu. Izejot no tā Pitagors formulēja septiņu skaņu skaņkārtu, kura izveidojas ar šo intervālu palīdzību (kvintas un apvērsuma – kvartas). Sākot no skaņas Fa, dodoties augšup pa kvintām, mēs iegūstam visas septiņas diatoniskās skaņkārtas skaņas – Fa – Do – Sol – Re – La – Mi – Si. Sakārtojot šīs skaņas pēc kārtas vienā oktāvā, mēs iegūstam diatonisko gammu. Līdzīgi šo pašu rindu mēs varam iegūt lejupejošā virzienā ar kvartām. No katras no šīm skaņām iegūstam visas tā saucamās *senās skaņkārtas* – Dorisko, Frīģisko, Līdisko, Miksolīdisko, Eolisko, Lokriānisko, Jonisko.

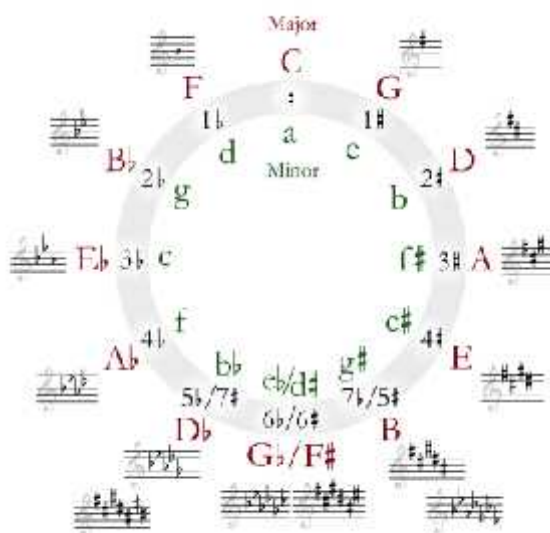
Svarīgākais ar ko Pitagora skaņkārtā atšķiras no ikdienā lietotas diatoniskās gammas – tajā ir divi pamata toņu lielumi, kas veidojas dabisku virsskaņu rezultātā – tonis (204centi), kurš ir nedaudz lielāks kā divi šodien lietotie pustoņi un pitagoriskais pustonis (90centi). Kvartai un kvintai, vienlaikus, veidojas pareizās skaņu attiecību proporcijas, kā rezultātā noslēgumā iegūstam tīru oktāvu, taču atsevišķas klāsiskas saskaņas, piemēram, trijskaņi (tercu atšķirīga skaņojuma dēļ) šādā skaņojumā var izklausīties netīri un nepierasti.



Kvintu aplis

Kvintu aplis ir viens no interesantākajiem dabas fenomeniem skaņu savstarpējo attiecību pētniecībā, kura pamatā ir tie paši Pitagora atklājumi, šoreiz dodot mums iespēju atrast arī visu pārējo mums

pazīstamo hromatisko skaņu atrašanās vietas un to pamatojumu. No pamatskaņas, dodoties augšup pa kvintu intervāliem, iegūstam visas zināmās diatoniskās, līdzīgi kā Pitagora skaņkārtā, taču ejot vēl tālāk – arī visas hromatiskās līdz pat divpadsmitajam solim, kad iegūstam pamatskaņai enharmonisku skaņu. Līdzīgi, ejot pa kvintām uz leju, līdz pēc 12 soļiem skaņas atkal satiekas enharmonismā.



Apstājoties dažādās kvintu apļa vietās, secīgi sakārtojot iegūtās skaņas, varam iegūt arī dažādas citas skaņkārtas, kuras raksturīgas dažādām kultūrām. Solis F – C – G – D – A dod mums klasisko pentatoniku, kura tiek lietota austrumu mūzikā vai piemēram, skotu tautas mūzikā. Rietumu mūzikā pentatonika visuzskatāmāk iezīmējas klavieru melnajos taustiņos.

Kvintu apļa principus izmantojuši dažādi komponisti, gan lai sakārtotu secībā savus dažādu tonalitāšu skaņdarbus, gan veiktu dažādus pētījumus.

20.gadsimta vācu komponists Pauls Hindemits, izmantojot kvintu apli kā tonalitāšu radniecības paraugu (jo tālāka tonalitāte, jo lielāka disonēšanas pakāpe), radīja savu harmonijas principu, saskaņu labskaņību pamatojot ar skaņu attālinātību kvintu aplī.

No pirmā acu uzmetiena varētu šķist, ka kvintu aplis atrisina visu hromatisko skaņu rašanās principus un skaņu attiecību noslēpumu. Taču tā gluži nav – aplūkojot tīru kvintu kā sastāvdaļu no dabisko virsskaņu rindas, tīri fizikāli iespējams izmērīt, ka šis intervāls nav tik precīzs, kāds tas ir labi temperētu klavieru gadījumā.

No virsskaņu rindas darbojas princips ka frekvenču attiecības starp divam sekojošām virsskaņu rindas skaņām ir attiecībā 3/2. **Ja skaņu, kura kvintu apļa gājiena rezultātā, pēc 7 oktāvām it kā mums veido enharmoniski to pašu skaņu, un no kuras šis gājiens iesākās, noliekam blakus, iedomājoties to kā unisonu izejas skaņai, varam konstatēt, ka atšķirība starp šīm skaņām ir 1,75Hz.** Ja izsakām to tās abas aptuvenās frekvencēs, tad, piemēram, tas būtu 128 Hz un 129,75Hz. Šo starpību un skaņojuma nesakritību, kas veidojas, mēs saucam par **Pitagora komatu** vai **kommu**.

To biežāk izsaka centos kā hercos un starpība starp šīm skaņām sarežģīta dalījuma rezultātā izsakāma ka apmēram 23,5 centi.

Fakts, ka no dabisko virsskaņu rindas, tātad - dabiski nav iespējams izveidot vienmērīga dalījuma skaņkārtu ir nodarbinājusi pasaules mūziķus, filozofus un matemātiķus daudzu gadsimtu garumā. Tādējādi pateicoties dažādu zinātnieku darbam, laika gaitā radušās dažādas temperācijas, kuru vidū mums pazīstama labā temperācija ar vienmērīgu intervālu attālumu piemērošanu, par atskaite punktu ņemot precīzu oktāvu un attālumus starp pustoņiem un toņiem.

Savas korekcijas skaņu augstumos citiem instrumentiem, kuriem dabiski piemīt atšķirīga temperācija, ievieš arī enharmonismi – skaņu augstumu kvalitātes izmaiņas, ko nosaka skaņas pazemināšanas vai paaugstināšanas fakts (zināms ka bemols vai diezs klarnetei vai vijolei skanēs atšķirīgi kā absolūtais atšķirības trūkums šīm skaņām, spēlējot tās uz klavierēm), kas izmaina visu virsskaņu rindas kvalitatīvo sastāvu un tieši ietekmē skaņas temperācijas kvalitāti un līdz ar to – tembrālo atšķirību.