

2.1 Äänen synty

- ▶ Siirrymme tarkastelemaan **akustiikkaa** eli **äänioppia**.
- ▶ Ääni on ilman tai nesteen *paineen vaihteluita* (pitkittäistä aaltoliikettä). Kiinteissä materiaaleissa ääni voi edetä poikittaisena aaltoliikkeenä.
- ▶ Esimerkki: ääntä voidaan synnyttää seisovan aaltoliikkeen avulla kitaran kielellä tai puhaltamalla osittain vedellä täytettyyn pulloon.

2.2 Ääni aaltoliikkeenä

- ▶ Ääni on ilmanpaineen vaihteluja.
- ▶ Tiheät ja kimmoiset aineet johtavat ääntä hyvin (=äänen nopeus suuri).
- ▶ Kaasun tiheys kasvaa kun lämpötila kasvaa \Rightarrow äänen nopeus kasvaa. Äänen nopeudella kaasuissa pätee:

$$c_1 = c_2 \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

- ▶ Tässä c_1 on äänen nopeus kaasussa, jonka lämpötila on T_1 ja c_2 nopeus kaasussa, jonka lämpötila on T_2 (lämpötilat Kelvineinä!)

- ▶ Äänelle pätee aiemmin läpikäydyt lait:
- ▶ Heijastuslaki: tulokulma = taitekulma
- ▶ Taittumislaki:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

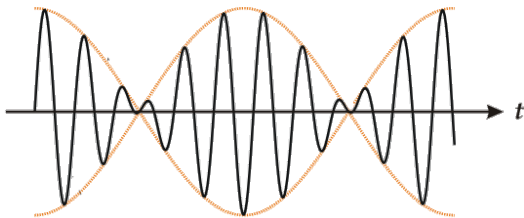
- ▶ Kokonaisheijastuksen rajakulma α_r :

$$\sin \alpha_r = \frac{v_1}{v_2}$$

- ▶ Esim: ääni kantautuu kesällä vastarannalle, kun se kokonaisheijastuu vedenpinnasta ja eri lämpöisistä ilmakerroksista.

Interferenssi ja huojunta

- ▶ Kun kaksi hieman eri taajuuksella etenevää aaltoa kohtaavat, ne interferoivat seuraavasti (kuvassa summa-aalto ja sitä pääpiirteittäin seuraava käyrä):



Huojunna taajuus on $f = |f_1 - f_2|$

- ▶ Esimerkkinä pulloon tai huiluun puhaltaminen.
- ▶ Seisovan aaltoliikkeen solmukohta on pitkittäisessä aaltoliikkeessä tihentymä (äänelle ilmanpaineen maksimi).
- ▶ Usein äänen pitkittäistä aaltoliikettä havainnollistetaan poikittaisena.
- ▶ Esimerkkinä toisesta päästä tai molemmista päistä avoin putki.

Putki on osittain täytetty vedellä siten, että vedenpinnan korkeutta voidaan säädellä. Putken yläpäässä tuotetaan ääntä 680 Hz taajuudella. Millä etäisyydellä putken suusta vedenpinnan on oltava, kun kuullaan ensimmäinen äänenvoimakkuuden maksimi? Entä kun kuullaan toinen maksimi? Äänen nopeus ilmassa on 340 m/s.

2.3 Äänen kuuleminen

- ▶ Ihminen kuulee 16 Hz – 20 kHz äänet. Alle 16 Hz = infraääni, yli 20 kHz = ultraääni.
- ▶ **Sävel** on ääni, jonka taajuus (korkeus) voidaan mitata. Sama sävel kuulostaa eri soittimilla soitettuna erilaiselta.
- ▶ Soittimen kielen alin ominaistajuus on **perussävel** (esim. 440 Hz kansainvälisesti sovittu yksiviivainen a).
- ▶ Soittimella voidaan tuottaa myös perussävelen monikertoja joita kutsutaan harmonisiksi **yläsäveliksi** (esim. perussävel 440 Hz, yläsävelet 880 Hz, 1320 Hz jne.)
- ▶ Ääni, jossa ei ole yläsäveliä, on **äänes** (kts. kirjan kuva s. 205).
- ▶ *Oktaavi*, *kvintti* ja *kvartti*, kts. kirjan s. 206.

Intensiteetti ja intensiteettitaso

- ▶ Intensiteetti on (kohtisuoralle) pinnalle tuleva (äänen) teho:

$$I = \frac{P}{A}$$

- ▶ Intensiteetin yksikkö on $[I] = [P]/[A] = W/m^2$.
- ▶ Intensiteetti pienenee verrannollisena etäisyyden neliöön (kts. sivun 208 kuvat).

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

Esimerkki

Kaiuttimen äänen intensiteettitaso 10 m etäisyydellä on $10 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}$. Kuinka kaukana kaiuttimen ääni kuuluu avoimessa maastossa, kun heikoin korvan kuulema äänen intensiteettitaso on 10^{-10} W/m^2 ?

- ▶ Äänen voimakkus mitataan **äänen intensiteettitasona** jonka antavat arvot vastaavat korvan "havaintoja".

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

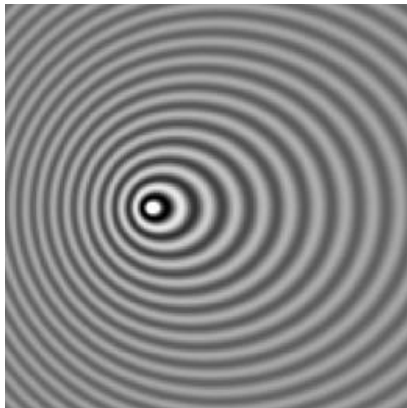
- ▶ Intensiteetin nollataso on kuulokynnys $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.
- ▶ Ihminen erottaa n. 3 dB eron.

- ▶ **Jälkikaiunta-aika** = aika, jonka kuluessa äänenvoimakkuus vaimenee yhteen miljoonasosaan.
- ▶ Matalat äänet vaimenevat paksuihin seiniin, korkeat äänet jo hyvin huokoisiinkin aineisiin.
- ▶ Ääni voi edetä huoneesta toiseen seiniä tms. rakenteita pitkin.

- ▶ **Melu** = häiritsevä tai haitallinen ääni. Pitkäaikainen oleskelu > 80 dB melussa voi aiheuttaa pysyvän kuulovaurion.
- ▶ Välittömän kuulovaurion raja on n. 140 dB.
- ▶ Kuulovaurio \Rightarrow kuulokynnys nousee ja/tai tinnitus.
- ▶ \Rightarrow Kuulosuojaimet!
- ▶ Korva turtuu voimakkaaseen ääneen.
- ▶ Infraääni voi olla hermostolle vaarallista, kun taajuus on 5–10 Hz.

Dopplerin ilmiö

- ▶ Väliaineesta toiseen siirtyessä aallon taajuus ei muutu. Kun aaltolähde ja havaitsija liikkuvat toisiinsa nähden, kuullaan ääni eri taajuudella. Tätä kutsutaan **Dopplerin ilmiöksi**.



- ▶ Kun kohde liikkuu äänen nopeudella tai nopeammin, se työntää edellään äänivallia (kts. kirjan sivu 218). Tämä toteutuu myös vesiaalloilla, mutta ei valolla.
- ▶ Äänen tapauksessa Dopplerin ilmiö kuuluu äänen korkeuden (taajuuden) muutoksena, valon tapauksessa havaitaan esimerkiksi tähtien puna- tai sinisiirtymä (f siten λ muuttuvat).
- ▶ Havaittavan (kuultavan) äänen taajuus saadaan laskettua:

$$f = f_0 \frac{c}{c \pm v}$$

- ▶ Tässä f_0 on aaltolähteen taajuus, c aaltoliikkeen etenemisnopeus ja v aaltolähteen ja kuulijan välinen suhteellinen nopeus. Plusmerkki tulee, kun aaltolähde ja kuulija etääntyvät toisistaan.