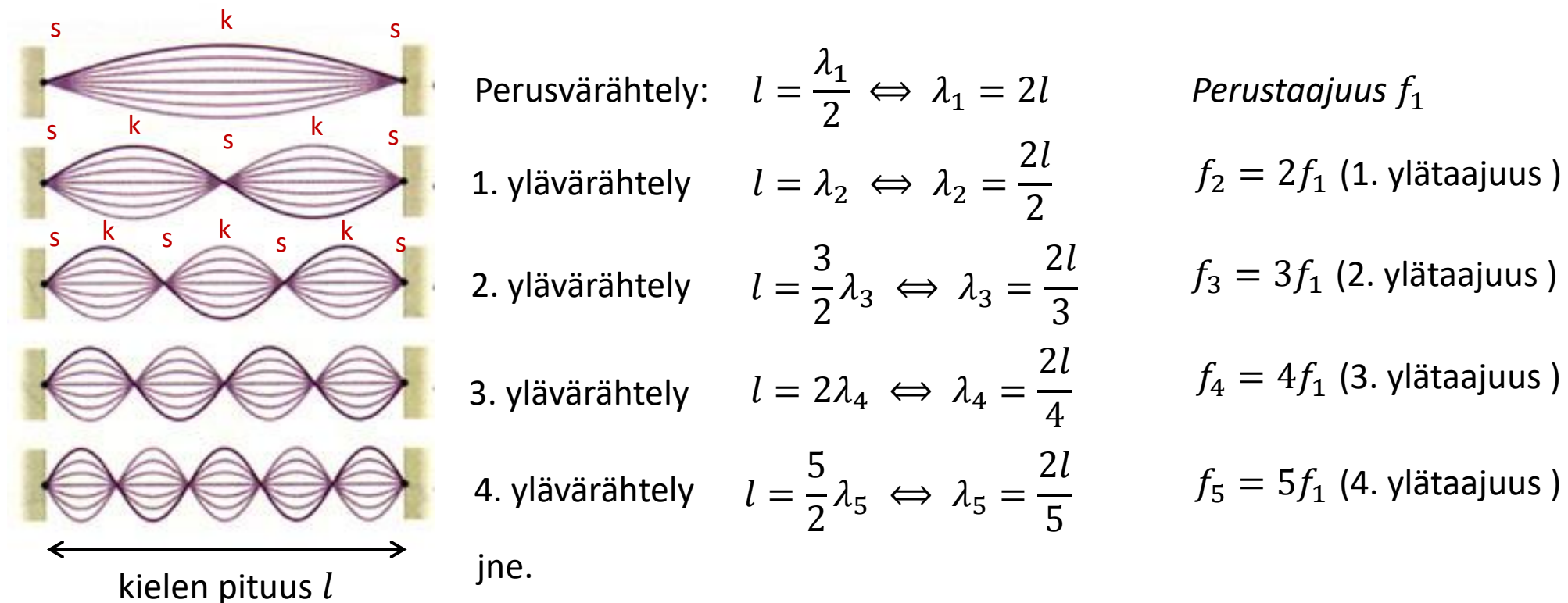


# Seisova aaltoliike

- Seisova aaltoliike syntyy väliaineeseen, kun rajapinnasta heijastunut aalto interferoi alkuperäisen aallon kanssa.
- Sopivalla taajuudella kohtaavat aallot vahvistavat toisiaan ns. *kupukohdissa* ja heikentävät toisiaan ns. *solmukohdissa*.
  - Kupukohdissa (k) värähdysliike on suurimmillaan.
  - Solmukohdissa (s) värähtelijät pysyvät likimain paikoillaan.
- Seisova aaltoliike voi olla poikittaista tai pitkittäistä.
- Kahden solmun tai kuvun välimatka on aina aallonpituuden puolikas.
- Seisova aaltoliike ei etene.
  - Seisova aaltoliike voi kuitenkin synnyttää energiaa kuljettavia ääniaaltoja.

# Seisova aaltoliike jännitettyssä kielessä

- Aaltoliikkeen nopeuteen vaikuttaa kielen jännitysvoima, paksuus ja materiaali.
- Aallon nopeuden ollessa vakio aallonpituus ja taajuus ovat kääntäen verrannollisia aaltoliikkeen perusyhtälön  $v = \lambda f$  mukaisesti.

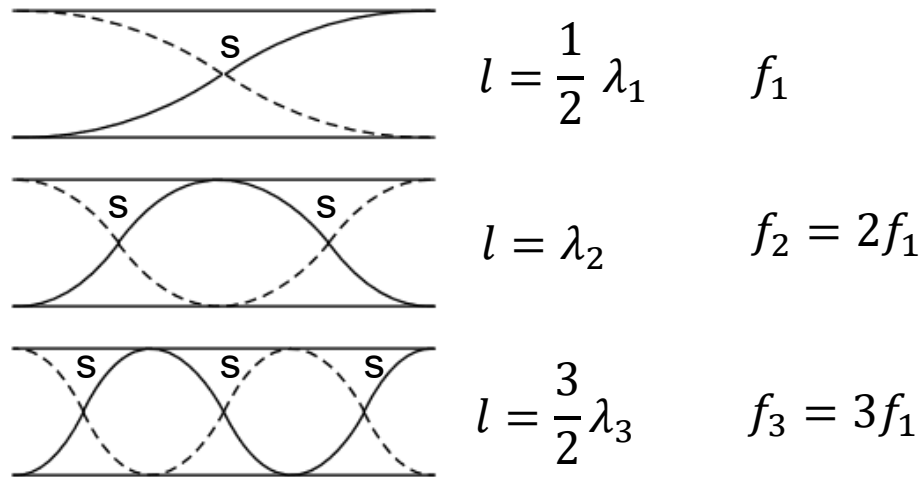


# Seisova aaltoliike putkessa

- Putkessa värähtelevä ääniaalto heijastuu takaisin avoimen pään rajapinnasta.
- Solmukohdissa ilman molekyylit pysyvät likimain paikallaan.
  - Paineen vaihtelut ovat suurimmillaan, koska viereisten kupujen värähtelevät ilmamolekyylit liikkuvat vuoroin kohti ja poispäin solmukohdasta (analogiamalli moottorin mäntä).
- Kupujen kohdalla molekyylien liike on suurinta ja paineen vaihtelut ovat pienimmillään.
- Putken avoimeen päähän muodostuu kupu, koska siellä paine on aina sama kuin ulkoinen ilmanpaine.

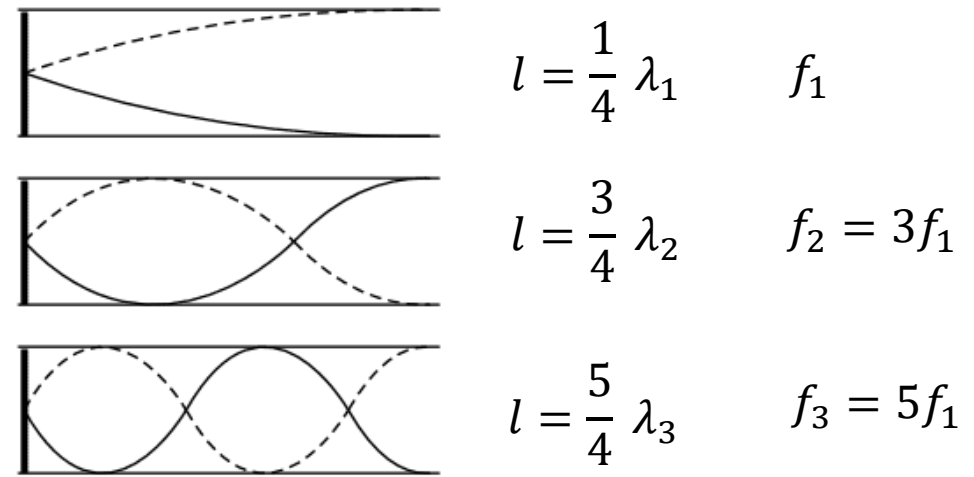
- Seuraavissa kuvissa ilman värähtelyä kuvataan havainnollisuuden vuoksi poikittaisena aaltoliikkeenä.
  - Jos mallinnettaisiin paineen vaihtelua, niin solmu- ja kupukohdat olisivat päinvastoin.

Molemmista päistä avoin putki, pituus =  $l$ .



Avoimessa putkessa värähtelevät taajuudet ovat perustaajuuden monikertoja (kuten kielisoittimissakin).

Puoliavoin putki, pituus =  $l$ .

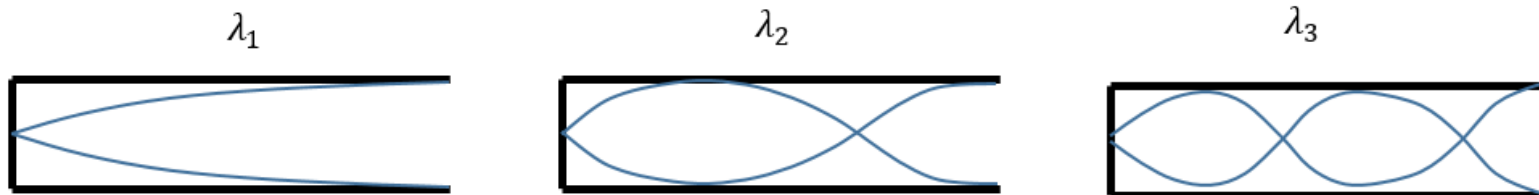


Puoliavoimessa putkessa värähtelevät taajuudet ovat perustaajuuden parittomia monikertoja.

## Esimerkki (vanha preliminäärikoetehtävä):

Urkupilliä voidaan mallintaa toisesta päästään avoimena putkena.

- Urkupillin pituus on 65,6 cm. Määritä sen ominaistajuuudet +20 °C:ssa. (3 p.)
  - Kuinka suuri on urkupillin perustaajuus, kun urkupilli täytetään ilman sijaan hiilidioksidilla. Miten lämpötilan muutokset vaikuttavat perustaajuuteen? (2 p.)
  - Urkupilli soi perustaajuudellaan. Selitä miten ilman paine vaihtelee ja millaista on ilman molekyylien liike pillin eri kohdissa. (4 p.)
- a)** Putkeen muodostuvia seisovia aaltoja voidaan mallintaa piirroksilla, jotka kuvaavat hiukkasten värähtelyä putken eri kohdissa (värähtely on kuitenkin pitkittäistä, ei poikittaista). Putken pituutta voidaan merkitä  $L$ :llä ja havaitaan, että ominaisaallonpituudet muodostuvat seuraavan säännön mukaisesti:



$$\lambda_1 = 4L$$

$$\lambda_2 = \frac{4}{3}L$$

$$\lambda_3 = \frac{4}{5}L$$

Yleisesti:

$$\lambda_n = \frac{4}{2n - 1}L, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Aaltoliikkeen perusyhtälön mukaan

$$v = \lambda f \Leftrightarrow f = \frac{v}{\lambda}$$

Ominaistaajuudet voidaan laskea perustaajuuden

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

avulla seuraavasti:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v}{\frac{4}{2n-1}L} = (2n-1) \frac{v}{4L} = (2n-1)f_1, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Perustaajuus on

$$f_1 = \frac{v}{4L} = \frac{343 \text{ m/s}}{4 \cdot 0,65 \text{ m}} \approx 131,92 \text{ Hz} \approx 132 \text{ Hz}$$

Ominaistaajuudet ovat tämän perustaajuuden parittomia monikertoja.

- b) Kuinka suuri on urkupillin perustaajuus, kun urkupilli täytetään ilman sijaan hiilidioksidilla. Miten lämpötilan muutokset vaikuttavat perustaajuuteen? (2 p.)

Aallonpituus on perusvärähtelyssä  $\lambda_1 = 4L$  ja taajuus

$$f_1 = \frac{v}{4L}.$$

Äänen nopeus hiilidioksidissa on 260 m/s. Taajuudeksi saadaan

$$f_1 = \frac{v}{4L} = \frac{260 \text{ m/s}}{4 \cdot 0,65 \text{ m}} = 100 \text{ Hz}$$

Lämpötilan noustessa äänen nopeus kasvaa. Aaltoliikkeen perusyhtälön mukaan

$$f_1 = \frac{v}{4L},$$

joten mitä suurempi on äänen nopeus, sitä korkeampi on perustaajuus.

- c) Urkupilli soi perustaajuudellaan. Selitä miten ilman paine vaihtelee ja millaista on ilman molekyylien liike pillin eri kohdissa. (4 p.)

Ääni etenee pitkittäisenä aaltoliikkeenä ilmassa. Urkupillin värähdellessä perustaajuudella muodostuu sen sisälle seisova aalto. Ilman molekyylien värähdysliikkeen amplitudi on suurin pillin avoimessa päässä ja pienin suljetussa päässä kuvan mukaisesti. Värähtelyä voidaan kuvata piirroksella, jossa on kupu avoimessa päässä ja solmu suljetussa päässä.

Paineen vaihtelu on päinvastaista hiukkasten värähtelyyn nähden. Avoimessa päässä paine pysyy samana ympäristön kanssa eli siellä on paineen solmukohta. Suljetussa päässä paineen vaihtelut ovat kaikkein suurimmat. Ympäristöön nähden suljetussa päässä on vuoroin alipainetta ja vuoroin ylipainetta. Suljetussa päässä on paineen kupukohta.

