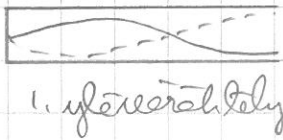
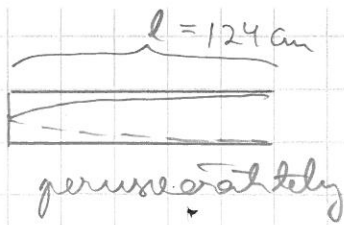


b)



Suljetussa päässä ilmanolekympien liike on estynyt  $\rightarrow$  solmu  
 avoimessa päässä on kuperi

Perusvärähtely:  $l = \frac{\lambda_0}{4} \Rightarrow \lambda_0 = 4l$

$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v}{4l} = \frac{343 \frac{m}{s}}{4 \cdot 1,24 m} \approx 69,153 \frac{1}{s} \approx 69,2 Hz$$

1. ylävärähtely:  $l = 3 \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4l}{3}$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{\frac{4l}{3}} = \frac{3 \cdot v}{4l} = \frac{3 \cdot 343 \frac{m}{s}}{4 \cdot 1,24 m} \approx 207,460 \frac{1}{s} \approx 207 Hz$$

Huojuminen: kaksi aaltoa, joilla  $f_1 \approx f_2$ , interferoi  $\Rightarrow$  summa-aallon amplitudi (voimakkuus) vaihtelee taajuuksilla  $|f_1 - f_2|$ . Voidaan käyttää esim. soittimien virityksessä.

14.10 a) Kun kaksi äänirauntoa soi yltä ääntä, aallot interferoivat jolloin summa-aalto saadaan lokemalle aaltojen tuotto-met paimet yhteen (superponointiperiaate). Koko ääniraunton taajuuksien eroavuuksien pienin taajuuksien, jolloin aivan helkelle aallot vahvistavat toisiaan (aallot samassa vaiheessa) ja jolloin heikentävät toisiaan (aallot vastakkaisessa vaiheessa). Summa-aalto on inter kukaan 2 muuttava ja se kuulostaa äänen voimakkuuden jaksollisena vaihteluksi. Kyseessä on huojuminen.

b) Kuoro 2 saadaan huojumisen jaksotaide  
 2 huojumista aikavälillä  $0 s \dots 0,10 s \Rightarrow T = \frac{0,10 s}{2} = 0,05 s$   
 $\Rightarrow$  huojumisen taajuuks:  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,05 s} = 20 \frac{1}{s} = 20 Hz$

Toisalle  $f = |f_A - f_B| = f_A - f_B \Rightarrow f_B = f_A - f = 440 Hz - 20 Hz = 420 Hz$

$\lceil TA \rceil$ : Kuoro 1  $\Rightarrow$  B-ääniraunton tuottoa 42 aallonkerjää  $0,10 s$ -n  
 $\Rightarrow f_B = 10 \cdot 42 Hz = 420 Hz$

15. Äänen voimakkuus

ihmisen kuuloaalue:  $f \approx 20 Hz \dots 20 kHz$  ( $\lambda = \frac{v}{f} : 2 m \dots 20 m$ ),  
 kuuloaalue on ylitöllinen