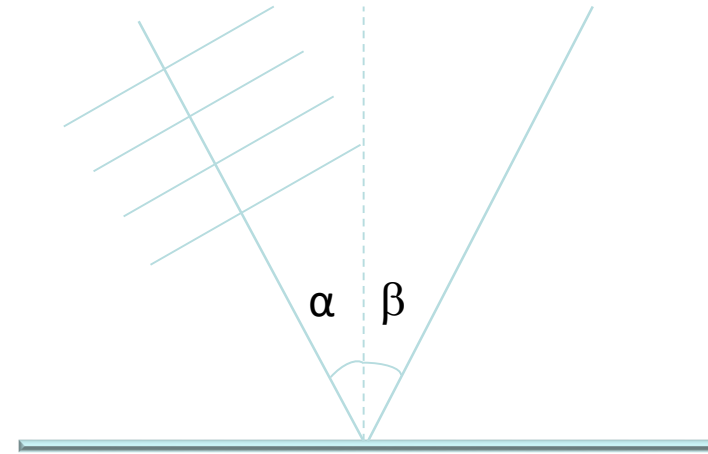


# Aaltojen heijastuminen

- Aaltorintaman etenemistä kuvataan säteillä, jotka osoittavat aaltorintaman etenemissuunnan
- Aaltorintaman pientä osaa (kaukana aaltolähteestä) voidaan aina käsitellä tasoaaltona
- **Heijastumislaki**
  - Tasoallon heijastuessa rajapinnassa tulokulma  $\alpha$  ja heijastuskulma  $\beta$  ovat yhtä suuret eli  $\alpha = \beta$ .

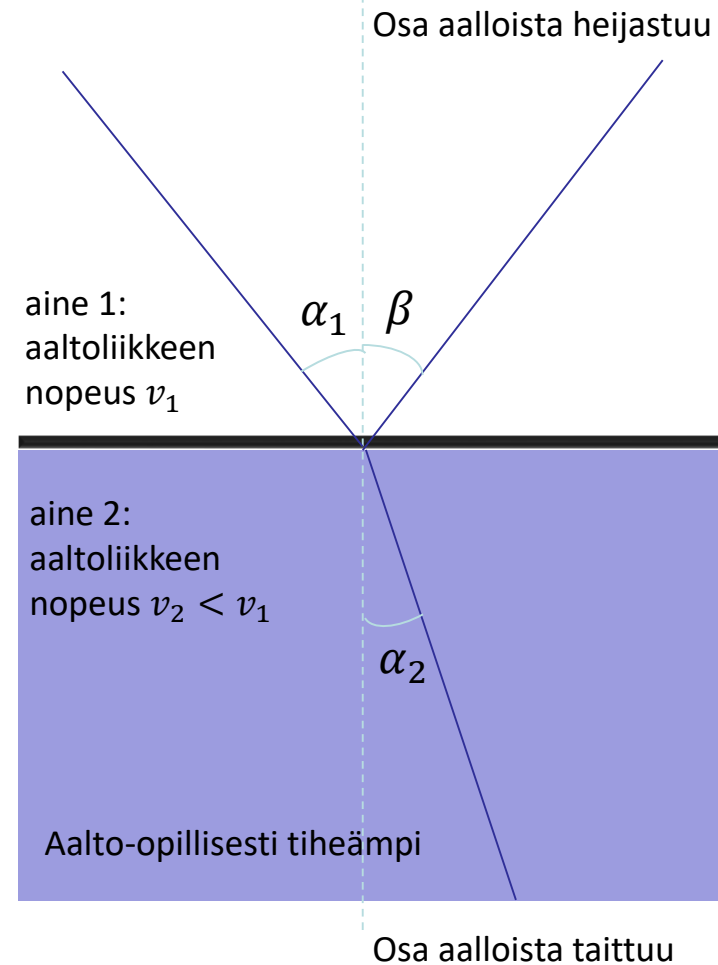


Kulmat määritetään aina pinnan normaaliin nähden!

# Aaltojen tahtuminen

- Aaltoliike tahtuu läpäistessään kahden aineen rajapinnan
- Tahtuminen johtuu aaltoliikkeen erilaisista nopeuksista eri aineissa
- Ainetta, jossa aaltoliike kulkee hitaammin, sanotaan *aalto-opillisesti tiheämmäksi*. (Toista ainetta kutsutaan *aalto-opillisesti harvemmaksi*.)
- Tahtumislaki
  - Aallon tulokulman  $\alpha_1$  ja taitekulman  $\alpha_2$  sinien suhde on aaltojen nopeuksien suhde:

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



- Aaltoliikkeen perusyhtälön  $v = f\lambda$  avulla taittumislaki saadaan muotoon

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$$

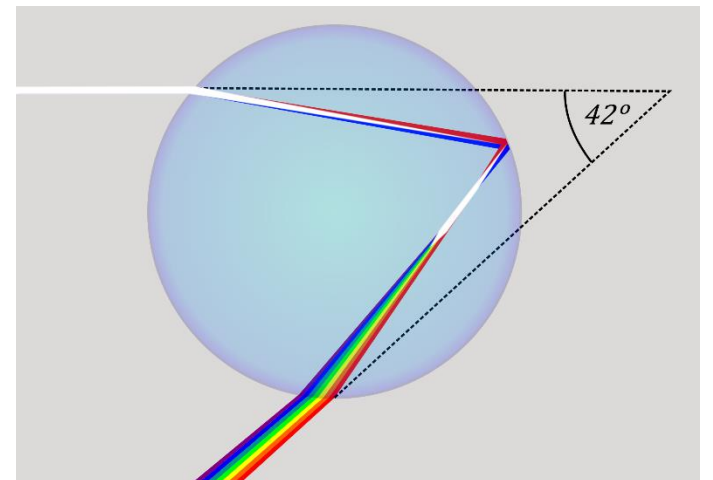
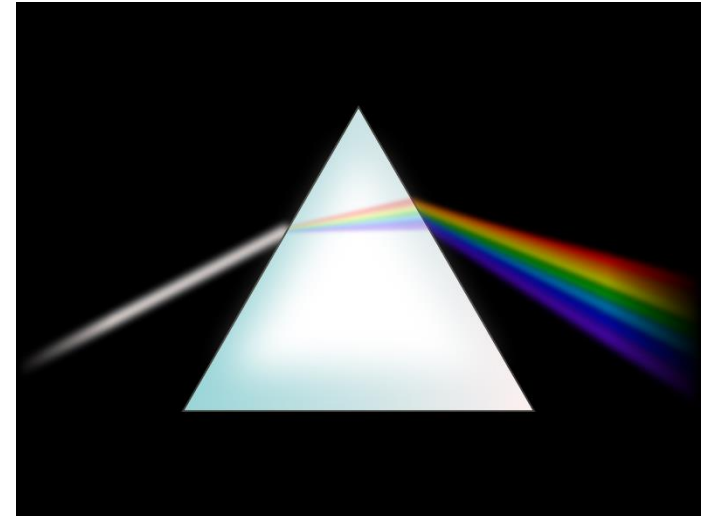
- Taittuessa aaltoliikkeen **taajuus  $f$  ei muutu**
- Nopeuden  $v$  muuttuessa myös aallonpituus  $\lambda$  muuttuu (samassa suhteessa)
- *Taitesuhde*  $n_{12}$  on aineparille ominainen vakio
- Aalto-opillisesti harvemmasta aineesta tiheämpään tultaessa taitesuhde  $> 1$ 
  - aallon nopeus pienenee
  - aalto taittuu normaalia kohti (ks. edellinen kuva)
- Aalto-opillisesti tiheämmästä aineesta harvempaan tultaessa taitesuhde  $< 1$ 
  - aallon nopeus suurenee
  - aalto taittuu normaalista poispäin

# Ääni

- Ilmassa etenevää *pitkittäistä* aaltoliikettä
- Ääni on sitä korkeampi, mitä suurempi on äänen taajuus
  - Ultraääni yli 20 kHz, infraääni alle 20 Hz
- Dopplerin ilmiö:
  - Havaittu äänen (aaltoliikkeen) taajuus riippuu havaitsijan, aaltolähteen ja aaltoliikkeen nopeudesta aaltoliikettä kuljettavaan väliaineeseen nähden
- Äänen intensiteetti
  - Intensiteetti  $I$  = kohtisuoralle pinnalle tuleva äänitehon  $P$  määrä pinta-alaa  $A$  kohti
  - $I = \frac{P}{A}$ ,  $[I] = \text{W/m}^2$
  - intensiteettitaso  $L = 10 \lg \frac{I}{I_0}$  (dB)
  - Asteikko on logaritminen. Tämä vastaa paremmin ihmisen kuulohavaintoa äänen voimakkuudesta

# Valkoinen valo ja dispersio

- Valkoinen valo, kuten auringonvalo, sisältää kaikki näkyvän valon aallonpituudet
- Valkoinen valo voi hajaantua eri väreihin (näemme eri aallonpituudet eri väreinä) esimerkiksi lasiprismassa tai vesipisaroissa, jolloin muodostuu sateenkaari
- Ilmiötä kutsutaan *dispersioksi*: valon taitekerroin riippuu valon aallonpituudesta
- Punainen valo taittuu vähiten ja violetti eniten.
- Siis mitä suurempi aallonpituus, sitä pienempi taitekerroin



# Valon heijastuminen ja taittuminen

- Valo noudattaa heijastuslakia:
  - Tulokulma ja heijastuskulma ovat yhtä suuret
- Aineen taitekerroin
  - Mitä enemmän aine taittaa valoa, sitä hitaammin valo etenee tässä aineessa
  - Aineen taitekerroin määritellään valon nopeuden tyhjiössä  $c$  ja valon nopeuden aineessa  $c_{aine}$  suhteena:

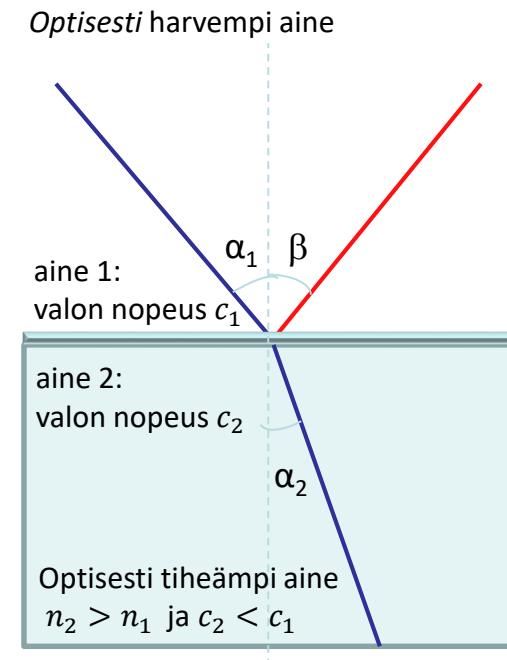
$$n = \frac{c}{c_{aine}} > 1$$

- Valo noudattaa taittumislakia:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$$

Huomioi käänteiset indeksit taitekertoimissa:

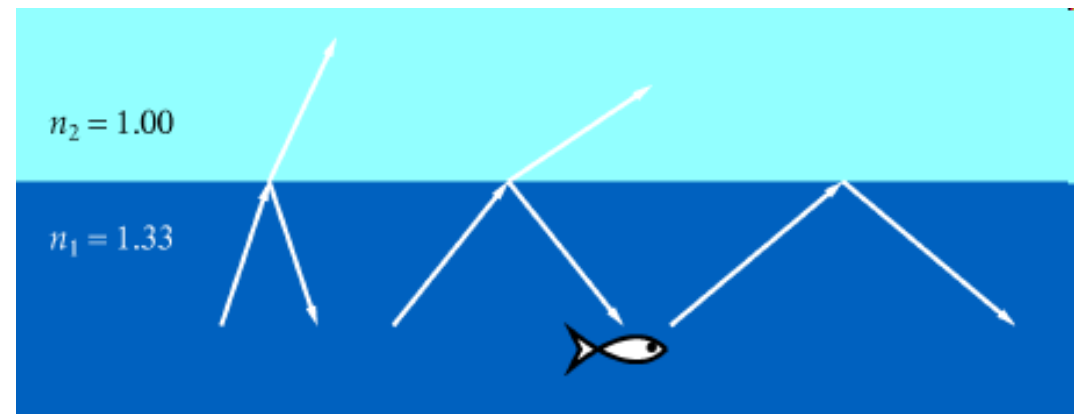
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{c/c_2}{c/c_1} = \frac{c_1}{c_2}$$



# Kokonaisheijastuminen

- Kokonaisheijastuksessa aaltoliike heijastuu täydellisesti
- Tämä voi tapahtua vain aalto-opillisesti tiheämmästä aineesta harvemman aineen rajapintaan tultaessa, kun tulokulma on rajakulmaa  $\alpha_r$  suurempi
- Sovelluksia esim. optiset kuidut, prismat kameroiden ja kiikareiden optiikassa
- Kokonaisheijastuksen rajakulma (valolle)

$$\frac{\sin \alpha_r}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_r = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12} < 1$$



# Valon diffraktio

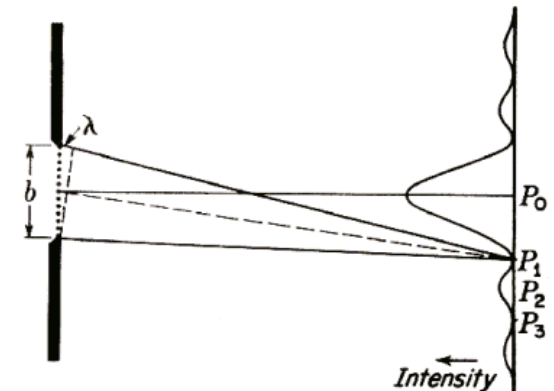
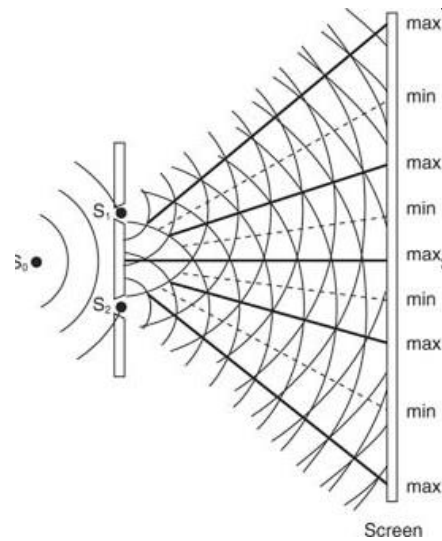
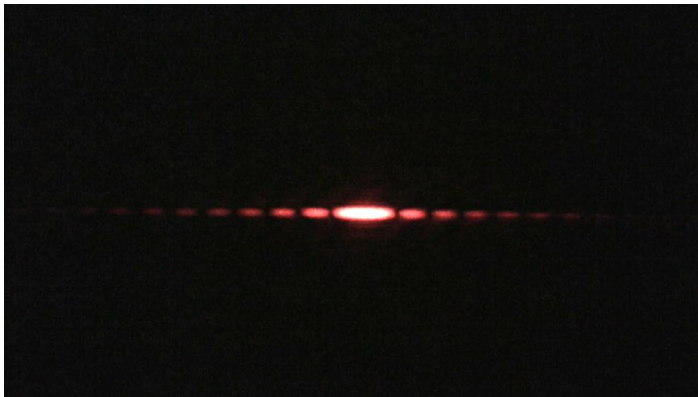
- Valon diffraktio eli taipuminen voidaan selittää Huygensin periaatteen avulla
- Kaksoisrakokoe, hilat: kyseessä on interferenssi ja diffraktioilmiö
- Todiste valon aaltoluonteesta
- Hilayhtälö (ehto valomaksimien synnylle):  $d \sin \alpha = k\lambda$

$k$  = kertaluku

$d$  = rakojen välimatka tai hilavakio

$\lambda$  = valon aallonpituus

$\alpha$  = valon taipumiskulma

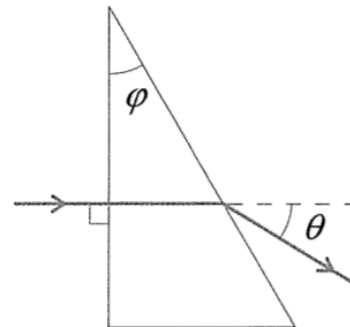




## Yo-tehtävä K2009/+12

- a) Mitä tarkoitetaan valon spektrillä? (1 p.)  
b) Vertaile hehkulampun valon ja kaasupurkausputken valon spektriä. (1 p.)  
c) Mihin fysikaaliseen ilmiöön perustuen ja millä tavoin valon spektri saadaan muodostettua 1) hilalla ja 2) prismalla? (2 p.)  
d) Lasiprisma asetettiin spektrometriin, jolla voitiin mitata hyvin tarkasti valonsäteen suunta. Purkausputkesta tuleva yhdensuuntaistettu valonsäde osui prismaan kohtisuorasti kuvion mukaisesti jakaantuen erivärisiksi spektriviivoiksi, joiden aallonpituudet tunnetaan. Kun mitattiin poikkeamakulma  $\theta$  kullekin viivalle, saatiin alla olevat tulokset:

$\lambda$ (nm)	388,7	447,2	501,6	587,6	706,5
$\theta$	30,25°	29,00°	28,35°	27,15°	26,55°



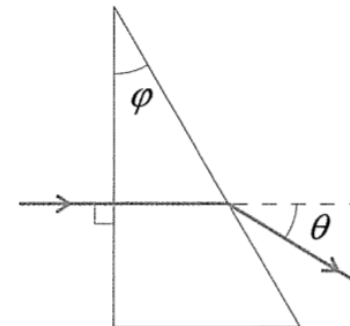
Laske lasin taitekerroin eri aallonpituuksille ja piirrä kyseessä olevan lasilaadun dispersiokäyrä  $n = n(\lambda)$ . Prismän taittava kulma on  $\varphi = 32^\circ$ . (5 p.)

- a) Valon spektri on valon intensiteetti taajuuden tai aallonpituuden funktiona  
b) Hehkulampun spektri on jatkuva sisältäen kaikki näkyvän valon aallonpituudet. Kaasupurkausputken spektri on puolestaan viivaspektri, joka sisältää vain yksittäisiä erillisiä spektriviivoja.

## Yo-tehtävä K2009/+12

- a) Mitä tarkoitetaan valon spektrillä? (1 p.)  
b) Vertaile hehkulampun valon ja kaasupurkausputken valon spektriä. (1 p.)  
c) Mihin fysikaaliseen ilmiöön perustuen ja millä tavoin valon spektri saadaan muodostettua 1) hilalla ja 2) prismalla? (2 p.)  
d) Lasiprisma asetettiin spektrometriin, jolla voitiin mitata hyvin tarkasti valonsäteen suunta. Purkausputkesta tuleva yhdensuuntaistettu valonsäde osui prismaan kohtisuorasti kuvion mukaisesti jakaantuen erivärisiksi spektriviivoiksi, joiden aallonpituudet tunnetaan. Kun mitattiin poikkeamakulma  $\theta$  kullekin viivalle, saatiin alla olevat tulokset:

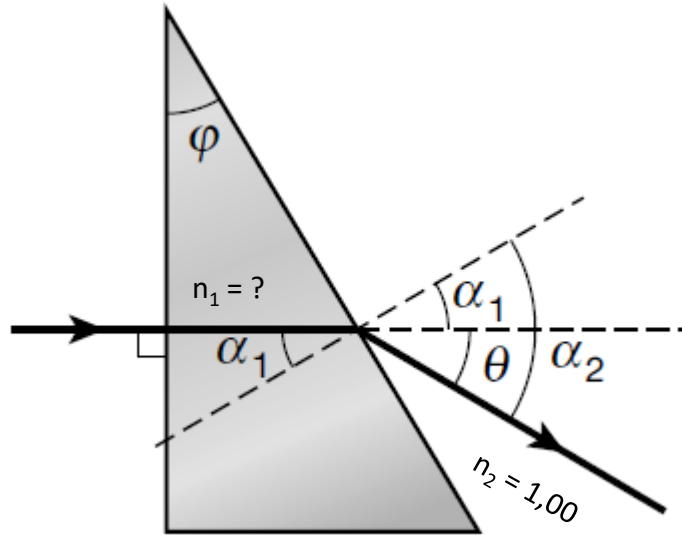
$\lambda$ (nm)	388,7	447,2	501,6	587,6	706,5
$\theta$	30,25°	29,00°	28,35°	27,15°	26,55°



Laske lasin taitekerroin eri aallonpituuksille ja piirrä kyseessä olevan lasilaadun dispersiokäyrä  $n = n(\lambda)$ . Prismän taittava kulma on  $\varphi = 32^\circ$ . (5 p.)

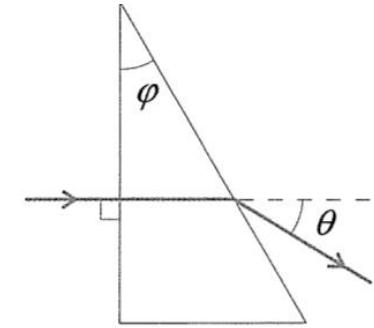
- c) 1) Hila perustuu valon *diffraktioon* eli esteen aiheuttamaan valon taipumiseen. Hilan rakojen läpi kulkevat valoallot interferoivat keskenään. Varjostimella nähdään diffraktiokuvio, jossa valkoinen valo hajoaa spektriä. Punainen eli pitkäaaltoisin valo taipuu eniten (hilayhtälö:  $d \sin \alpha = k\lambda$ ). Diffraktiokuvion keskimmäinen valomaksimi nähdään valkoisena.
- d) 2) Prismassa valo taittuu, jos tulokulma on erisuuri kuin  $0^\circ$ . Prismassa taitekerroin on eri aallonpituuksille eli erivärisille valoille hieman erilainen. Ilmiötä kutsutaan *dispersioksi*. Punainen valo taittuu vähiten. Jotta valo voisi poistua prismasta tulokulman tulee olla pienempi kuin kokonaisheijastuksen rajakulma.

d)



d) Lasiprisma asetettiin spektrometriin, jolla voitiin mitata hyvin tarkasti valonsäteen suunta. Purkausputkesta tuleva yhdensuuntaistettu valonsäde osui prismaan kohtisuorasti kuvion mukaisesti jakaantuen erivärisiksi spektriviivoiksi, joiden aallonpituudet tunnetaan. Kun mitattiin poikkeamakulma  $\theta$  kullekin viivalle, saatiin alla olevat tulokset:

$\lambda$ (nm)	388,7	447,2	501,6	587,6	706,5
$\theta$	30,25°	29,00°	28,35°	27,15°	26,55°



Laske lasin taitekerroin eri aallonpituuksille ja piirrä kyseessä olevan lasilaadun dispersiokäyrä  $n = n(\lambda)$ . Prismän taittava kulma on  $\varphi = 32^\circ$ . (5 p.)

Valon tullessa kohtisuorasti prismaan valon kulkusuunta ei muutu. Toiseen rajapintaa tultaessa valo taittuu normaalista poispäin.

Suorakulmaisista kolmioista seuraa, että  $\alpha_1 = \varphi = 32^\circ$  ja  $\alpha_2 = \varphi + \theta = \theta + 32^\circ$

Taitekerroimet taulukoituna:

Aallonpituus (nm)	taitekerroin
388,7	1,67
447,2	1,65
501,6	1,64
587,6	1,62
796,5	1,61

$$\frac{\sin(30,25 + 32^\circ)}{\sin 32^\circ}$$

jne.

Valon taittumislaki:  $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$

$$n_1 = \frac{n_2 \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{\sin(\theta + 32^\circ)}{\sin 32^\circ}$$

Lasilaadun dispersiokäyrä eli taitekerroin aallonpituuden funktiona:

