

VALO AALTOLIIKKEENÄ

1. Valo sähkömagneettisena aaltoliikkeenä
2. Valon käyttäytyminen aineiden rajapinnassa
3. Valkoinen valo
4. Valon aaltoilmiöt

VALO SÄHKÖMAGNEETTISENA AALTOLIIKKEENÄ

- Valo on sähkömagneettista aaltoliikettä eli sähkömagneettista säteilyä.
- Valolla tarkoitetaan yleensä näkyvää valoa, jonka sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus on 400- 700 nm.
- Sähkömagneettista säteilyä syntyy, kun elektroni tai jokin muu varattu hiukkanen on kiihtyvässä liikkeessä.
- Sähkömagneettinen aaltoliike on poikittaista aaltoliikettä, koska sen värähtely on kohtisuorassa aaltoliikkeen etenemissuuntaa vastaa.

AALTOLIIKKEEN PERUSYHTÄLÖ VALOLLE

Aaltoliikkeen perusyhtälö valolle on

$$c = f\lambda,$$

jossa c , on valon nopeus, f on taajuus ja λ (lambada) on aallonpituus.

Valonnopeus $c = 299\,729\,468 \frac{m}{s}$ on luonnonvakio. Se on sähkömagneettisen säteilyn nopeus tyhjiössä.

Esim. Langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitettu WLAN-verkko toimii taajuudella 2,45 GHz. Mitä aallonpituutta ja aaltoaluetta tämä taajuus vastaa?

$$f = 2,45 \text{ GHz} = 2,45 \cdot 10^9 \text{ Hz} \quad (\text{Hz} = \frac{1}{s})$$

$$c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Aaltoliikkeen perusyhtälöstä $c = f\lambda$ saadaan aallonpituudeksi

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,45 \cdot 10^9 \frac{1}{s}} \approx 0,12 \text{ m}$$

V: Aallonpituus on 0,12m ja se kuuluu radioaaltojen alueelle.

VALAISTUSVOIMAKKUUS

- Valonlähteen voimakkuuden mittana käytetään valolähteen valovirtaa Φ (=fii).
- Valovirran yksikkö on luumen (lm)
- Valon voimakkuutta kuvaa suure valaistusvoimakkuus E , joka on valovirran Φ suhde valaistavan pinnan pinta-alaan A :

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

- Jos valolähteen virta virtaa tasaisesti kaikkiin suuntiin, käytetään pallopinnan pinta-ala.

- Valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön. Eli

$$E \sim \frac{1}{r^2}$$

Esim. Opiskelupisteen päällä on valaisin 1,5 metrin korkeudessa. Tällöin pöydänpinnasta mitataan valaistusvoimakkuudeksi 250 luksia. Mille korkeudelle lappu on asetettava, että valaistusvoimakkuus on 400 luksia?

Valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön $E \sim \frac{1}{r^2}$.
Valaistusvoimakkuuksien suhde on siis

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \Rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{r_1^2 \cdot E_1}{E_2}}$$

$$E_1 = 250 \text{ lx} \quad r_1 = 1,5 \text{ m} \quad E_2 = 400 \text{ lx}$$

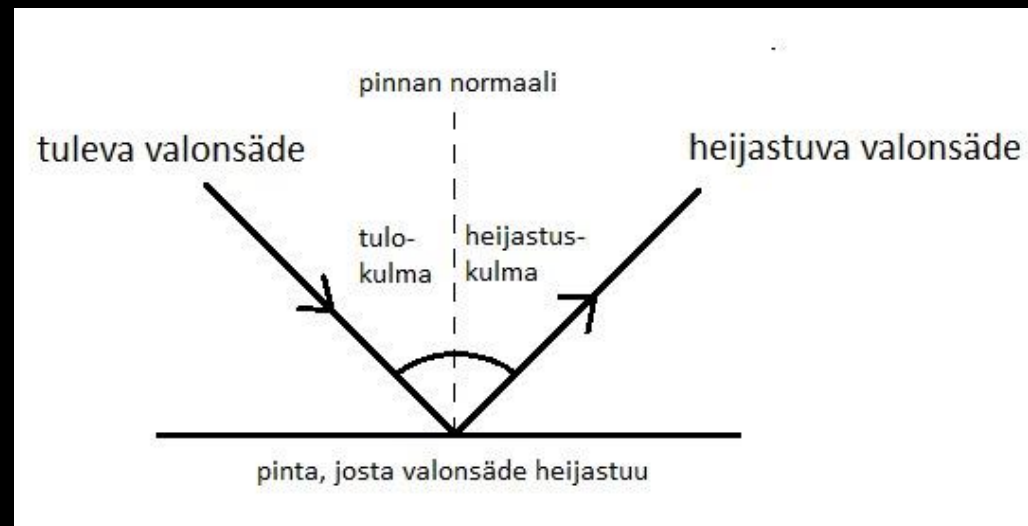
$$r_2 = \sqrt{\frac{r_1^2 \cdot E_1}{E_2}} = \sqrt{\frac{(1,5\text{m})^2 \cdot 250 \text{ lx}}{400 \text{ lx}}} \approx 1,19\text{m}$$

Vastaus: Lamppu on asetettava 1,19m korkeudelle, että valaistusvoimakkuus on 400 lx

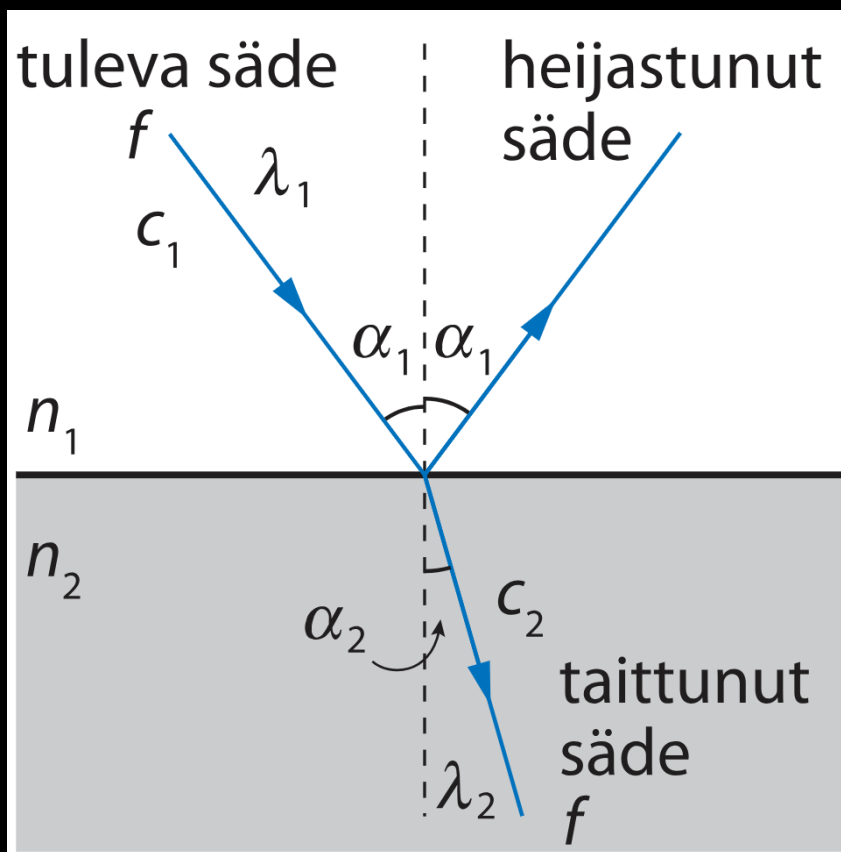
2. VALON KÄYTTÄYTYMINEN AINEIDEN RAJAPINNASSA

VALON HEIJASTUMISLAKI:

Valon heijastuessa kahden aineen rajapinnasta valon tulokulma ja heijastumiskulma ovat yhtä suuret.



VALON TAITTUMINEN



Kun valo saapuu kahden aineen rajapintaan, osa valosta heijastuu ja osa läpäisee rajapinnan ja etenee toiseen aineeseen. Tätä kutsutaan valon taittumiseksi

Valon taitesuhde rajapinnalla:

Kun valo taittuu aineesta 1 aineeseen 2, tulevan säteen tulokulmalle α_1 ja taittuneen säteen tulokulmalle on voimassa yhtälö

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{12},$$

jossa n_{12} on aineparin 1 ja 2 välinen taitesuhde.

VALON TAITTUMISLAKI

Valon taittuminen aineiden rajapinnassa johtuu siitä, että valo etenee eri aineissa eri nopeudella. Tätä kuvaa taitekerroin n :

$$n = \frac{c}{c_{aine}},$$

jossa c on valon nopeus tyhjiössä ja c_{aine} valon nopeus aineessa.

VALON TAITTUMISLAKI

Valon taitesuhdetta voidaan esittää aaltoliikkeen nopeuksien avulla, taitekertoimien avulla ja aaltoliikkeen perusyhtälön mukaan aallonpituuksien avulla. Tästä muodostuu valon taittumislaki:

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

Esim. Valo saapuu ilmasta veteen tulokulmassa $72,0^\circ$. Valon nopeus ilmassa on $3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ja vedessä $2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Laske taitekulman SUURUUS.

$$\alpha_1 = 72,2^\circ \quad c_1 = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad c_2 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Valon taittumislaita:

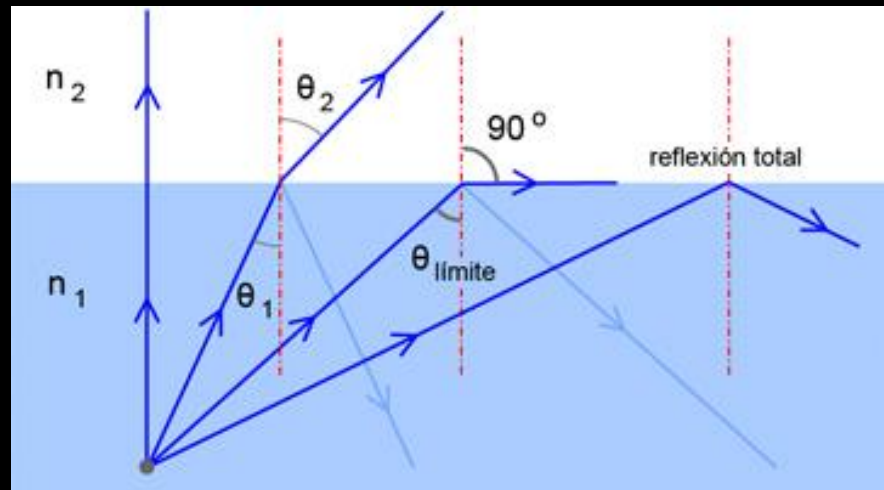
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha_2 = \frac{c_2 \cdot \sin \alpha_1}{c_1}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot \sin 72^\circ}{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$
$$\sin \alpha_2 \approx 0,713$$
$$\alpha_2 \approx 45,5^\circ$$

Vastaus: Taitekulman suuruus on $45,5^\circ$

KOKONAISHEIJASTUMINEN

- Kokonaisheijastuminen voi tapahtua, kun valo tulee optisesti tiheämmästä aineesta optisesti harvempaan aineeseen.
- Kun tulokulma kasvaa riittävän suureksi, lakkaa valonsäteet menemästä läpi rajapinnasta.



- Taitekulma on silloin 90° ja vastaavaa taitekulmaa sanotaan kokonaisheijastuksen rajakulmaksi α_r

Kokonaisheijastuksen rajakulma saadaan laskettua yhtälöstä
(valontaittumislaisissa $\sin\alpha_2 = \sin 90^\circ = 1$)

$$\sin\alpha_r = \frac{n_2}{n_1},$$

jossa n_1 on ensimmäisen aineen taitekerroin ja n_2 toisen aineen taitekerroin. $n_1 > n_2$.

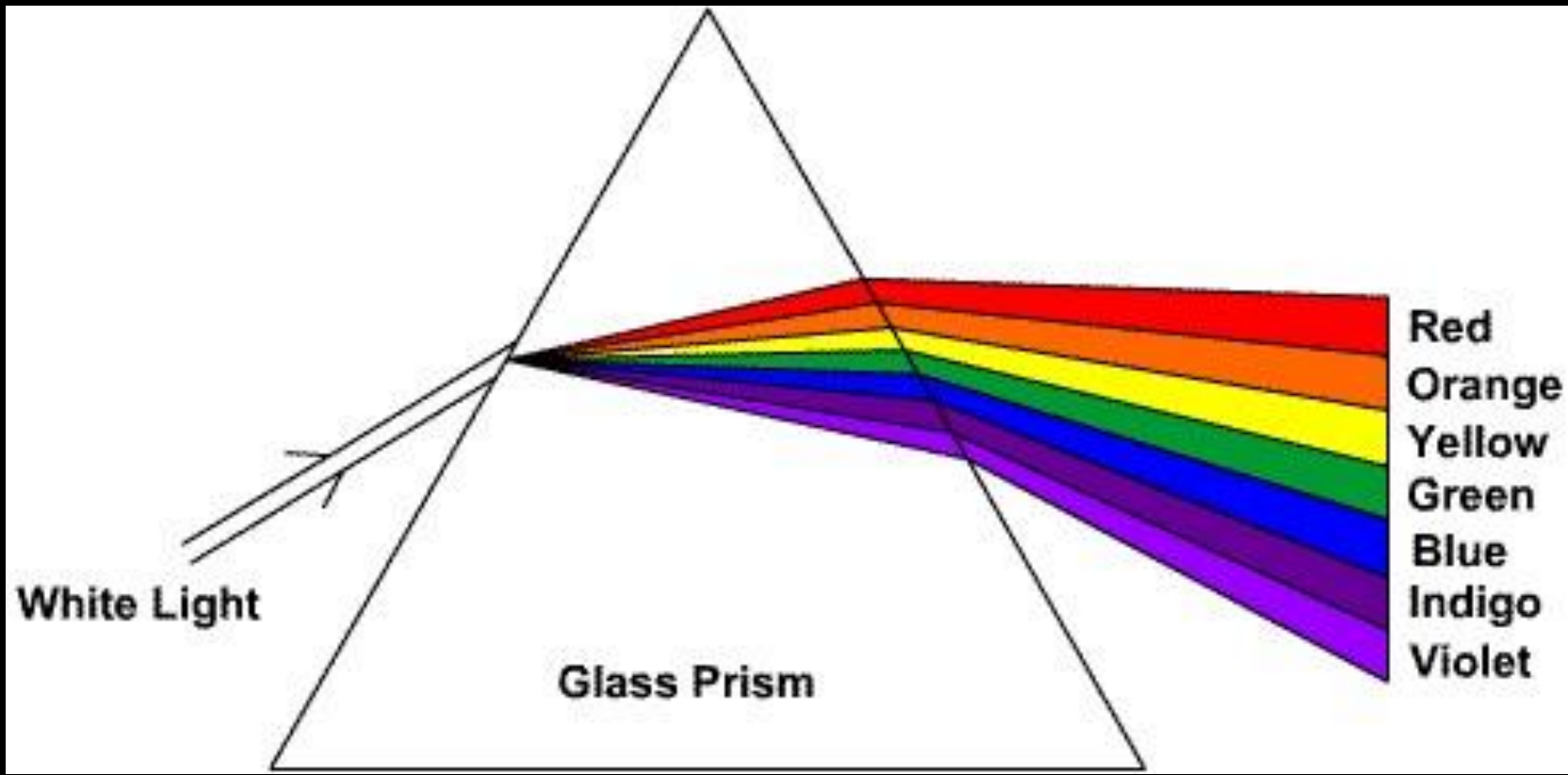


Esim. Laske kokonaisheijastuksen rajakulma, kun valo tulee vedestä ilmaan.

3. VALKOINEN VALO

DISPERSIO

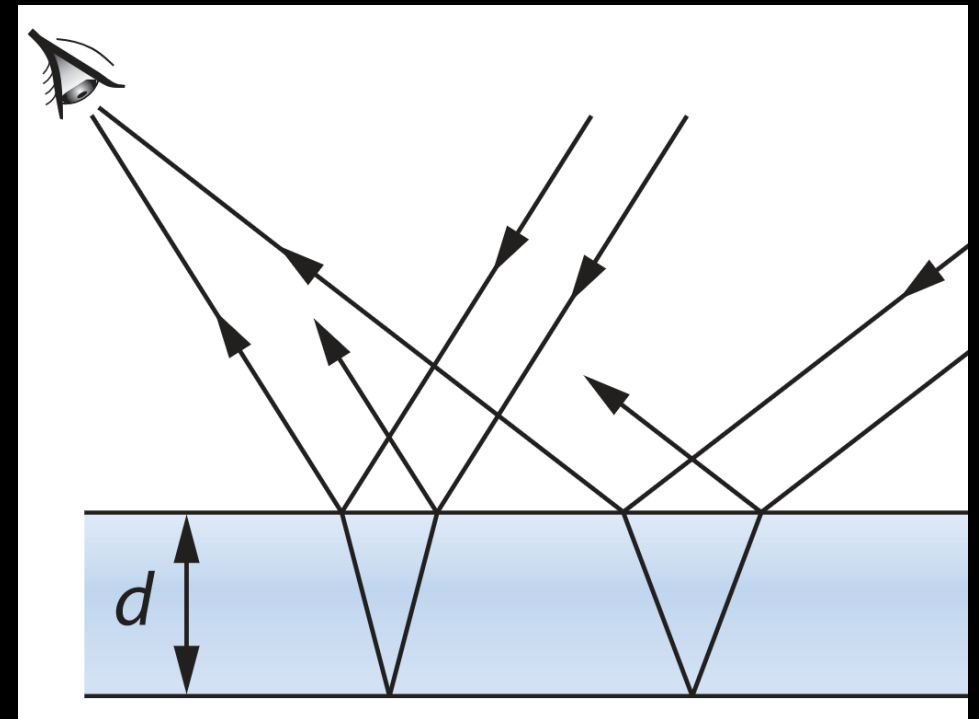
- Valon *taittumisen* riippuvuutta valon aallonpituudesta kutsutaan *dispersioksi*.
- Dispersio tapahtuu ainoastaan, jos valo sisältää erilaisia aallonpituuksia. Monokromaattinen valo ei dispersoidu.
- Punainen valo taittuu vähiten ja violetti eniten.
- Dispersiota tapahtuu erityisesti väliaineiden tai optisesti erilaisten faasien rajapinnassa.
- Prismalla voidaan havainnollistaa dispersiota.

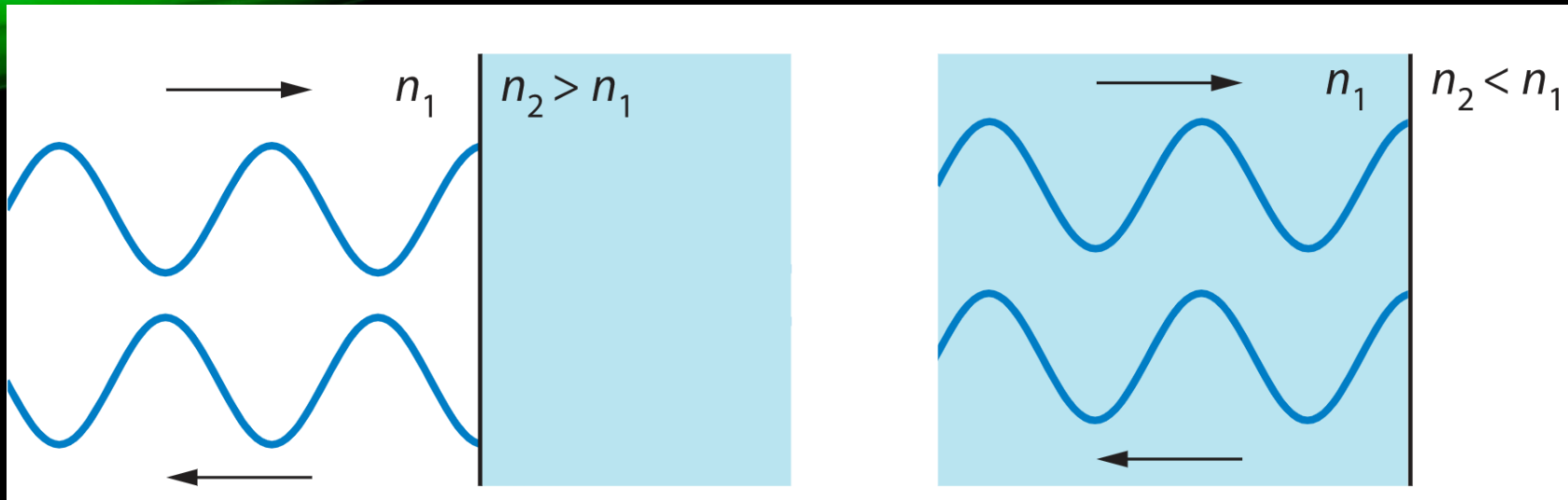


4. VALON AALTOILMIÖT

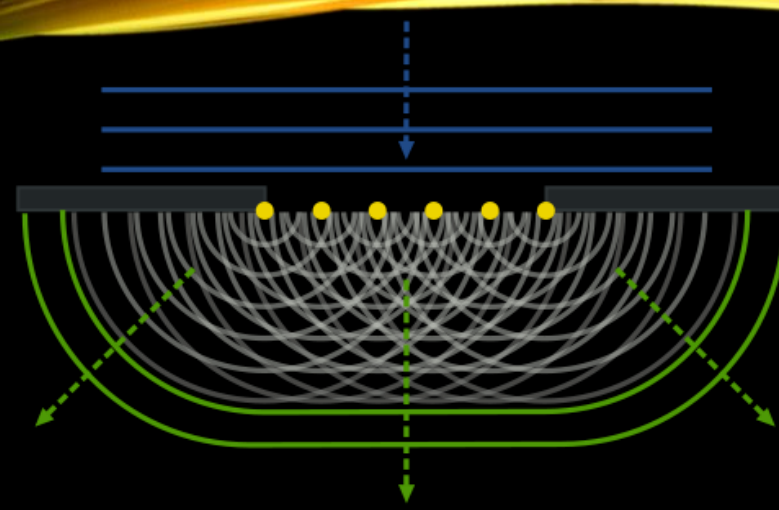
VALON INTERFERENSSI:

- Valon interferenssi (eli valoaaltojen yhteisvaikutus) on todiste valon aaltoluonteesta.
- Voidaan havaita esimerkiksi katsottaessa saippuakuplia tai öljyistä vedenpintaa.
- Valo heijastuu lähekkäisistä kalvon ala- ja yläpinnoista. Heijastuneet säteet voivat vahvistaa tai heikentää toisiaan aallonpituudesta (väristä) ja kalvon paksuudesta riippuen.





- Kuvassa 1 tapahtuu vaihesiirto, kun säde heijastuu optisesti harvemmasta aineesta tiheämpään.
- Kuvassa 2 vaihesiirtoa ei tapahdu, kun säde heijastuu optisesti tiheämmästä aineesta harvempaan.
- Aaltojen matkaero on likimain $2d$.



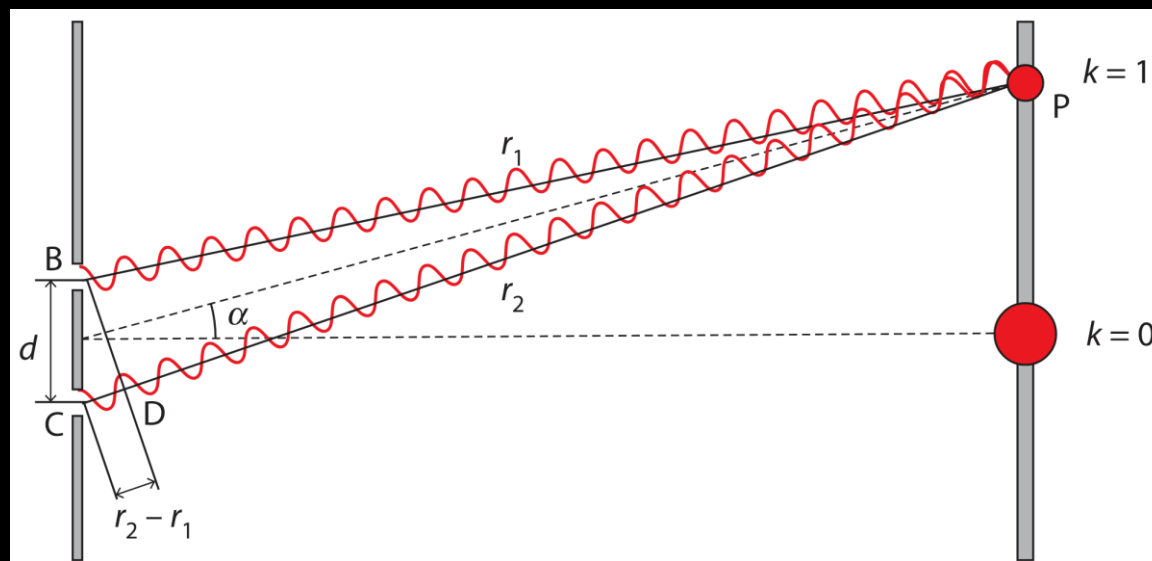
VALON DIFFRAKTIO:

- Kun aaltorintaman etenemistä häiritään esteellä, aaltorintaman muoto muuttuu. Tätä ilmiötä kutsutaan diffraktioksi (taipumiseksi).
- Diffraktioilmiö havaitaan niin valolla, äänellä kuin vesiaalloillakin.
- Diffraktio voidaan selittää Huygensin periaatteen avulla.
 - Huygensin periaatteen mukaan etenevää aaltoa voi pitää niiden pistemäisten, aallon aikaansaamien aaltolähteiden aaltojen summana. Aaltorintaman edetessä sen kaikkien pisteiden voidaan siis ajatella olevan pistemäisiä aaltolähteitä, jotka muodostavat etenevän aallon.

Valon taipuminen kaksoisraossa (tai hilassa) – Valoisa kohta syntyy varjostimelle, kun on voimassa ehto

$$d \sin \alpha = k \lambda$$

- d = rakojen välimatka (hilan tapauksessa hilavakio)
- α = taipumiskulma
- k = valoisan kohdan kertaluku
- λ = aallonpituus



Esim. Oppilastyössä käytettiin hilaa, jossa oli 300 rakoa/mm ja osoitinlaseria. Hilan ja varjostimen etäisyys oli 170 cm. Ensimmäisen kertaluvun valomaksimin etäisyydeksi keskimmäisestä maksimista mitattiin 35 cm.

- Mikä oli osoitin laserin aallonpituus?
- Kuinka monta valomaksimia varjostimelle tuli kaikkiaan?

