

# FYSP1082 / K7 FRAUNHOFERIN DIFFRAKTIO

## Työn tavoitteita

- havainnollistaa valon taipumiseen (diffraktio) ja interferenssiin liittyviä ilmiöitä erilaisissa rakosysteemeissä sekä syventää kyseisten ilmiöiden fysiikan ymmärtämistä

Valon aaltoluonteen ymmärtäminen on erittäin vaikeaa, sillä valon tapauksessa aallot ovat sähkömagneettisia eli niitä ei voida suoraan aisteilla havaita<sup>1</sup>. Peilien ja linssien tapauksessa käytetään ns. geometrista optiikkaa, jossa päätyökaluna on valonsädemalli. Kyseinen malli ei kuitenkaan kykene selittämään kapeissa raoissa valolla havaittavia erikoisia ilmiöitä. Tämän vuoksi käytetään kokonaan toisenlaista lähestymistapaa – puhutaan fysikaalisesta optiikasta, joka pohjautuu vahvasti aaltoliikkeen käsitteisiin. Tässä työssä pyritään havainnollistamaan ja syventämään luennoilla opittujen käsitteitä; tämän vuoksi virhetarkastelulla on moniin muihin töihin verrattuna pienempi rooli.

## 1 Johdanto

Termien **interferenssi** ja **diffraktio** erottaminen rakosysteemejä koskevissa ilmiöissä on harhaanjohtavaa, sillä niissä tapahtuu aina valon taipumista eli diffraktiota ja varjostimelle syntyvä kuvio johtuu eri raoista tai saman raon eri kohdista tulevien valoaltojen summautumisesta eli interferenssistä.

Työssä tutustutaan (laser)valon käyttäytymiseen erilaisissa rakosysteemeissä. Työn mittausten alussa määritetään käytettävän laserin aallonpituus tunnetun hilan avulla. Tämän jälkeen tutkitaan valon käyttäytymistä yhdessä raossa, jonka leveyttä voidaan säätää. Lopuksi vertaillaan keskenään rakosysteemejä, joissa on eri määrä (1-5 kpl) rakoja, joiden välimatka ja leveys ovat vakioita. Työhön liittyvä **harjoitustehtävä** on seuraavalla sivulla.

---

<sup>1</sup> Aallonpituuksiin liittyvät värit voidaan toki aistia, mutta ei itse aaltoja

Työtä ja harjoitustehtävän tekemistä varten kerrataan ilmiöihin liittyvä teoria joko luentomateriaaleista tai oppikirjoista

- Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, 4<sup>th</sup> edition, luvut 33.2 – 33.4
- Young & Freedman, University Physics, 11<sup>th</sup> tai 12<sup>th</sup> ed., luvut 35.2, 35.3 ja 36.2 – 36.4.

**Harjoitustehtävä** (oltava tehtynä – tai ainakin yritettynä tehdä – vuorolle tullessa):

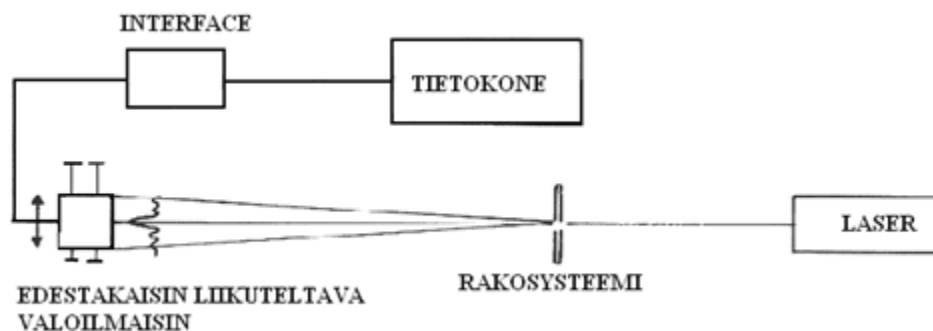
- a) Kun lasersäde (vihreä,  $\lambda = 532$  nm) osuu hilaan, jossa on 610 (hyvin kapeaa) rakoa millimetriä kohti (eli sen hilavakio on 610 1/mm), takana olevalla varjostimella havaitaan kirkkaita pisteitä, joista keskimäinen on siinä kohdassa, johon lasersäde osuisi, jos hila otettaisiin pois. Kuinka kaukana keskimäisestä pisteestä on seuraavaksi lähin piste? Hilan etäisyys varjostimelta on 55,0 cm.
- b) Kun sama lasersäde osuu yksittäiseen ragoon, jonka leveys on 65  $\mu\text{m}$ , varjostimella (etäisyys raosta sama 55,0 cm) havaitaan interferenssikuvio, jossa on leveämpi keskusviiva ja molemmilla sivuilla kapeampia ja samalla himmeämpiä viivoja. Missä kohdassa keskusmaksimin keskikohdasta mitattuna ovat ensimmäinen ja toinen intensiteettiminimi (eli pimeä kohta)? Piirrä myös hahmotelma varjostimella havaittavasta intensiteetikuviosta (eli intensiteetti etäisyyden funktiona) keskeltä toisiin minimeihin saakka.
- c) Miten b-kohdassa varjostimella havaittava kuvio muuttuisi, jos lasersäde osuisi samanaikaisesti myös toiseen ragoon (leveys myös 65  $\mu\text{m}$ ), joka on 260  $\mu\text{m}$  etäisyydellä edellisestä (raon keskikohdasta toisen raon keskikohtaan mitattuna)? Selitä varjostimella havaittavat muutokset ja piirrä lisäksi intensiteetikuvio kuten b-kohdassa.

## 2 Mittauslaitteisto

Mittauslaitteistoon (kuva 1) kuuluu laservalonlähde, rakosysteemi (vaihtoehtoina (i) hila, (ii) säädeltävä yksittäinen rako ja (iii) 1-5 rakoa sisältävät systeemit), sekä Pascon valoilmaisin (esim. CL-6504A) ja Capstone-laitteisto. Rakosysteemi ja ilmaisin on asetettu optiseen

penkkiin. Saadut interferenssikuviot nähdään valoilmaisimen takana olevalla varjostimella ja kuvioiden intensiteetit voidaan määrittää valoilmaisimen avulla.

Valoilmaisinta voidaan liikuttaa vakionopeudella 10 mm/min synkronimoottorin avulla. Valoilmaisimen aktiivinen alue on varsin pieni, ja lisäksi ilmaisimen eteen on asetettu kapea kollimaattorirako. Laserin suuntaamisessa on siten oltava sekä huolellinen että kärsivällinen. Capstonessa voidaan tarkastella valon intensiteettiä tai intensiteettiin verrannollista jännitettä.



**Kuva 1.** Työssä käytettävä mittauslaitteisto.

### 3 Mittaukset

Osassa mittauksia tehdään interferenssikuvion intensiteetin tarkasteluja, jota varten alustetaan aluksi Capstone-laitteisto. Valoilmaisimen (Light Sensor) alustaminen tehdään tuttuun tapaan (kertaa tarvittaessa Capstone yleisohjeesta). Anturin asetuksina työssä käytetään **Sample Rate:** 2 Hz ja **Sensitivity:** Low.

**Huom.** 1) Intensiteettimaksimien arvojen ja intensiteettiminimien paikkojen löytämiseen kuvaajalta löytyy apua tarvittaessa Capstonen ohjeen luvusta 6.

2) x-akselin aika voidaan muuttaa etäisyydeksi ilmaisimen liikenopeuden avulla.

3) **Huomaa erityisesti se, että mikään mittauksista ei ole toistomittaus eli kuvaajien minimien (tai maksimien) paikkojen tai etäisyyksien arvoja ei voi laskea tilastollisesti useiden minimien (tai maksimien) avulla!**

**Tehtävä 1: Hila vinoittain valonsäteeseen nähden**

Tutkitaan aluksi tilannetta, jossa hila on vinoittain tulevaan valonsäteeseen nähden. Mittauspaikalla olevan hilan hilavakio on 600 rako/mm. Hila asetetaan optiseen penkkiin, ja interferenssikuvio heijastetaan varjostimelle. Aseta optinen penkki ja laser kohtisuoraan varjostimeen nähden, mutta käänä hila vinoittain. Mitä havaitset verrattuna tilanteeseen, jossa hila on kohtisuorassa varjostimeen nähden? Johtopäätökset jatkommittauksiin? Huone kannattaa olla pimennetty, kun interferenssikuviota tutkitaan.

**Tehtävä 2: Laserin aallonpituuden määrittäminen hilan avulla**

Mittauksissa käytettävän laserin aallonpituus määritetään edellä (eli tehtävässä 1) käytetyn hilan avulla. Varjostimelle heijastetusta interferenssikuvioista sekä käytetystä mittausasetelmasta määritetään tarvittavat seikat (arvioituine virheineen) laserin aallonpituuden määrittämiseksi.

**Tehtävä 3: Yksittäisen raon interferenssikuvio, raon leveyden vaikutus ja intensiteettien määrittäminen**

Seuraavaksi tarkastellaan säädettävissä olevan raon (Pascon rakosysteemi OS-8523 Single slit set, variable slit) synnyttämää interferenssikuviota. Mieti ennen mittauksia, mitä pitäisi tapahtua raon leveyttä kasvatettaessa varjostimelle syntyvälle interferenssikuvioille (leveneekö vai kapeneeko) ja kuvion maksimien intensiteeteille. Perustele. Testaa sitten päätelmäsi kokeellisesti.

Valitse raon leveydeksi 40  $\mu\text{m}$  ja tutki varjostimelle syntynyttä kuviota. Jäljennä varjostimelta kuvio paperille (huomioi valon voimakkuus piirroksessasi värityksen tummuudella). Siirrä ilmaisin lasersuihkun eteen ja säädä ilmaisimen korkeus niin, että säde osuu ilmaisimeen. Raot ovat pyöritettävässä kiekossa, jossa käytettävä rako ei automaattisesti ole aina pystysuorassa (mistä näet, onko rako pystysuorassa?). Tarkista itse raon pystysuoruus ja säädä tarvittaessa. Tämä on tärkeää erityisesti ilmaisinta käytettäessä (miksi?).

Mittaa kuvion intensiteettijakauma käyttämällä valoilmaisinta ja Capstone-ohjelmistoa. Kuviosta määritetään maksimien intensiteettien suhteet ja kokeellisesti saatuja tuloksia verrataan teoreettisiin (löytyy oppikirjasta). Lisäksi määritetään tarvittavat asiat raon leveyden kokeellisen arvon laskemista varten (arvioi virheet). Muista määrittäessäsi minimien paikkoja kuvaajasta, että ilmaisimen liikenopeus on 10 mm/60s.

**Huom.** Tarkista, että saat koko kuvion näkyviin säätämällä laserin etäisyyttä ilmaisimesta ja kohtaa, jossa valo osuu ilmaisimeen.

#### **Tehtävä 4: Rakosysteemien ja niiden interferenssikuvioiden tutkiminen**

Vaihda yhden raon tilalle mahdollisimman samaan paikkaan kuin edellisessä tehtävässä useita rakoja sisältävä rakoysteemi (Pascon Multiple slit set), josta valitaan 2-5 raon systeemit. Rakojen leveys on 40  $\mu\text{m}$ . Tarkista, että rako on pystysuorassa.

Piirrä ilmaisimen ja tietokoneen avulla 2 raon tilanteesta intensiteettikuvio. Tulosta yhden raon (edellisestä tehtävästä) ja kahden raon interferenssikuviot. Kiinnitä huomiota siihen, että saat kuvat mahdollisimman vertailukelpoisiksi (keskusmaksimit kohdakkain ja aika-alue yhtä monta sekuntia)

Siirrä lopuksi ilmaisin pois tieltä ja piirrä samaan paperiin tehtävän 3 kuvan kanssa varjostimella näkyvä interferenssikuvio kahden raon tapauksissa siten, että kuvioiden keskusmaksimit ovat mahdollisimman tarkasti allekkain. Värikyksen tummuudella voit ilmaista kirkkauden vaihtelut.

Määritä/päättele kuvioista ja muista tarvittavista mittauksista seuraavat asiat (virhetarkasteluja ei tarvitse tehdä):

- Mikä on yksittäisen raon leveys mittauksesi perusteella?
- Mikä on kahden raon systeemissä rakojen välinen etäisyys mittauksesi perusteella?
- Mistä johtuu kahden raon tilanteessa varjostimen interferenssikuvion ero yhden raon tilanteeseen, vaikka rakojen leveydet ovat molemmissa systeemeissä samat?

- Miksi (tietokoneella piirretyt) intensiteetit ovat suuremmat kahden raon tilanteessa?

### **Tehtävä 5: Rakosysteemin jatkotarkasteluja**

Tutki rakosysteemin 3-5 raon synnyttämiä interferenssikuvioita joko varjostimelta tai tietokoneen avulla. Miten interferenssikuvio muuttuu, kun rakojen lukumäärää kasvatetaan? Osaatko selittää, mistä kuvioden keskinäiset erot johtuvat? Vertaa havaintojasi luennoilla läpikäytyihin teoretietoihin. Ilmaisinta käytettäessä riittää, kun piirtää interferenssikuvioden toisen puolen (symmetria) keskusmaksimista lähtien.

### **Lisätehtävä:**

Loppukevennykseksi voit tutkia ja ihastella erimuotoisten (ympyrä, neliö, jne) aukkojen avulla syntyviä interferenssikuvioita.