

| | | |
|-----|-----------------------|--|
| TTY | 72041 Fysiikan työt I | 22.10.2009 |
| | 4.4 Interferometri | 194621 Laura Metsänen TiTe 181509 Olli Pietikäinen TiTe |

Sisältö

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1 Johdanto | 1 |
| 2 Teoria | 1 |
| 3 Työn suoritus | 3 |
| 4 Mittaustulokset ja havainnot | 3 |
| 5 Tulosten laskenta | 5 |
| 6 Virhearvio | 7 |
| 7 Yhteenveto | 7 |
| Viitteet | 9 |
| Liitteet | 10 |

1 Johdanto

Tässä työssä tutustuttiin interferometrin käyttöön ja määritettiin laserin aallonpituus ja ilman ja lasin taitekertoimet. Tämä dokumentti esittelee määrittelyn perustana olevan teorian olennaisilta osin, koejärjestelyt ja -tulokset sekä tehdyt määrittelyt.

2 Teoria

Valo on aaltoliikettä, jolla on mm. amplitudi eli voimakkuus ja vaihe. Monokromaattisessa valossa on vain yhtä aallonpituutta. Superpositio tarkoittaa osa-aaltojen aiheuttamaa häiriötä, joka on osa-aaltojen summa niiden vaiheet huomioiden. Interferenssi on usean aallon superpositioperiaatteen mukaista yhteisvaikutusta. [1]

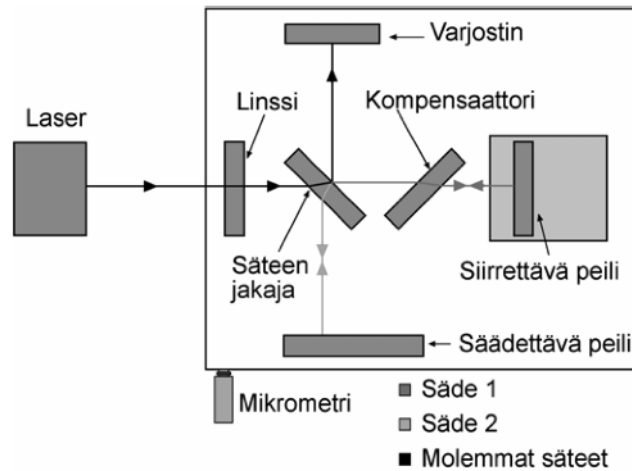
Interferenssi-ilmiöön vaikuttaa osa-aaltojen eri vaihe. Se saadaan näkyviin, kun monokromaattisen valonlähteen osa-aallot kulkevat mittauspisteeseen eri pituisia reittejä. Interferenssikuviossa nähdään maksimit, joissa osa-aallot ovat samassa vaiheessa ja vahvistavat toisiaan, ja minimi, jossa osa-aallot ovat vastakkaisissa vaiheissa ja sammuttavat toisensa. [1]

Kuvassa 1 on esitetty Michelsonin interferometrin toimintaperiaate. Valo hajotetaan säteenjakajalla osittain säädettävälle peilille ja osittain siirrettävälle peilille. Säädettävältä peililtä heijastuvat säteet taittuvat säteenjakajassa edelleen siirrettävälle peilille. Säteenjakaja on tehty siten, että se takaseinämä on heijastava ja siirrettävältä peililtä heijastuvat säteet heijastuvat edelleen varjostimelle. [1]

Säädettävälle peilille hajoavien säteiden kulkemaa matkaa voidaan muuttaa siirtämällä säädettävää peiliä eteen- ja taaksepäin. Yhden interferenssikuvion syntymisen tarkoittaa, että säteiden kulkema matkaero on muuttunut yhden aallonpituuden verran. Voidaan laskea, kuinka monta interferenssikuviota syntyy siirrettyllä matkalla ja tästä ratkaista valon aallonpituus. Aallonpituus λ voidaan ratkaista kaavalla

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta m}, \quad (1)$$

jossa Δd , matka, jolla peiliä on siirretty, ja m interferenssikuvion muodostumiskertojen lukumäärä. [1]



Kuva 1: Valonsäteiden kulku Michelsonin interferometrissa [1]

Säteiden kulkemaa matkaa voidaan muuttaa myös asettamalla reitille materiaalia, jonka taitekerrointa voidaan muuttaa. Matalassa paineessa kaasun optinen taitekerroin on lähes lineaarisesti riippuvainen paineesta. Käyttämällä esimerkiksi tyhjiöpumppua, voidaan muuttaa valon tyhjiösäiliössä kulkemaa matkaa. Taitekertoimen muutos Δn voidaan määrittää kaavasta

$$\Delta n = \frac{m\lambda_0}{2d}, \quad (2)$$

jossa m on siirtyneiden interferenssijuovien määrä, λ_0 valon aallonpituus tyhjiössä ja d tyhjiökammion pituus. [1]

Samantapaisesti voidaan määrittää myös kiinteiden materiaalien taitekertoimia. Säteiden kulkemaa matkaa ei voida muuttaa samalla tavalla muuttamalla painetta. Sen sijaan kappaletta voidaan kääntää siten, että säteiden sen läpi kulkema matka pitenee. Materiaalin taitekerroin näkyvälle valolle voidaan laskea kaavasta

$$n = \frac{(2d - m\lambda)(1 - \cos\theta)}{2d(1 - \cos\theta) - m\lambda}, \quad (3)$$

jossa d on materiaalikappaleen paksuus, m maksimien lukumäärä, θ kulman muutos ja λ laserin aallonpituus. [1]

3 Työn suoritus

Mittaukset suoritettiin Fysiikan oppilaslaboratoriossa yhden laboratoriovuoron aikana. Mittauksissa käytettiin Michelsonin interferometriä.

Mittaaminen aloitettiin kohdistamalla säteen intensiteettimaksimit siirtämällä säädettävän peilin paikkaa. Tämän jälkeen kiinnitettiin +18 mm polttovälinen peili ja säädettiin sen paikka sellaiseksi, että varjostimelle muodostui interferenssikuvio. Mikrometriruuvi "nollattiin"työohjeen mukaisesti ja tämän jälkeen sitä käännettiin vain yhteen suuntaan. Virheen sattuessa jouduttiin tästä johtuen aloittamaan kokonaan alusta.

Ensimmäisessä mittauksessa säädettävän peilin paikkaa muutettiin hitaasti ja laskettiin samalla muodostuneiden interferenssikuvioiden määrää. Peilin paikka luettiin mikrometriruuvista aina 20 muodostuneen kuvion välein. Peilin sijainti alkutilanteessa ja viidesti tämän jälkeen kirjattiin muistiin.

Ilman taitekertoimen määrittämiseksi siirrettävän peilin eteen asetettiin tyhjiökkeno, johon voitiin imeä tyhjiö. Kulmaosoittimen avulla etsittiin kohta, jossa interferenssirengaat vaihtoivat liikkumissuuntaa, jolloin tyhjiökkeno oli kohtisuorassa suhteessa lasersäteeseen. Tyhjiökennoon pumpattiin eri paineisia tiloja ja laskettiin samalla interferenssikuvioiden muodostumisen määrää. Lisäksi mitattiin vallitseva ilmanpaine. Näitä mittauksia suoritettiin kuusi eli yksi enemmän kuin työohjeessa kehoitettiin, koska eri paineilla saadut samat muodostumiskerrat aiheuttivat epäilyksen mittavirheestä.

Lasin taitekertoimen määrittämiseksi tyhjiökennon paikalle vaihdettiin lasi. Nollakohta etsittiin kuten tyhjiökennon tapauksessa. Tämän jälkeen siirrettävää peiliä liikutettiin hitaasti ja laskettiin muodostuneiden interferenssikuvioiden määrää. Kahdenkymmenen muodostuneen kuvion välein kirjattiin ylös peilin kulma.

4 Mittaustulokset ja havainnot

Taulukossa 1 on esitetty säädettävän peilin sijainti d_m per siirron aikana muodostuneet interferenssikuviot. Mittauksia tehdessä havaittiin, että interferenssikuvio elää

vähän, vaikka säätöruuviin ei kosketa.

Taulukko 1: Säädetävän peilin paikan muutokset tietyillä syntyneiden interferenssikuvioiden määrällä

| m | $d_m(\mu m)$ | $\Delta d_m(\mu m)$ (tarkkuus 0,5) |
|----------|--------------|------------------------------------|
| 20 | 43,5 | -6,5 |
| 40 | 37,0 | -6,5 |
| 60 | 31,0 | -6,0 |
| 80 | 25,0 | -6,0 |
| 100 | 18,5 | -6,5 |
| tarkkuus | 0,5 | 0,5 |

Taulukossa 2 on esitetty syntyneet interferenssikuviot per aiheutettu paineen väheneminen. Lisäksi mitattiin ilmanpaineeksi p_i 743,86 mmHg.

Taulukko 2: Syntyneiden interferenssikuvioiden määrä paineen pienentyessä

| mitta | m | δp (cmHg) |
|----------|---|-------------------|
| 1 | 3 | 10 |
| 2 | 5 | 15 |
| 3 | 6 | 20 |
| 4 | 6 | 25 |
| 5 | 8 | 30 |
| 6 | 9 | 35 |
| tarkkuus | - | 1 |

Taulukossa 3 on esitetty lasinpalan vinouskulma syntyneiden interferenssikuvioiden määrällä. Loppuvaiheessa lasinpalasen tasainen liikuttaminen oli vaikeaa. Lasin paksuudeksi mitattiin 5,6 mm.

Taulukko 3: Lasikappaleen kääntökulma syntyneitä interferenssikuvioita kohden

| m | kulma-aste |
|----------|------------|
| 0 | 0,6 |
| 20 | 5,4 |
| 40 | 7,3 |
| 60 | 8,6 |
| 80 | 9,7 |
| 100 | 10,6 |
| tarkkuus | - |

5 Tulosten laskenta

Laserin aallonpituus määritettiin kaavalla 1. Tulokset on esitetty taulukossa 4, jossa on laskettu myös keskiarvon keskivirhe. Laserin aallonpituudeksi määritettiin 630 ± 13 nm.

Taulukko 4: Laserin aallonpituuden määrittäminen

| m | Δd_m | $ \Delta d - k.a.\Delta d $ | $ \Delta d - k.a.\Delta d ^2$ | λ (nm) |
|-----|--------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|
| 20 | 6,5 | 0,2 | 0,04 | 650 |
| 40 | 6,5 | 0,2 | 0,04 | 650 |
| 60 | 6,0 | 0,3 | 0,09 | 600 |
| 80 | 6,0 | 0,3 | 0,09 | 600 |
| 100 | 6,5 | 0,2 | 0,04 | 650 |
| | k.a. 6,3 | yht. 0,3 | | k.a. 630 |
| | | | o.m. | 12,25 nm |

Ilman taitekerroin -mittauksessa paineen muutoksista ja siirtyneiden interferenssijuoventen määrästä laskettiin paine mitatusta ilmanpaineesta 743,86 mmHg ja taitekerroimen muutos kaavalla 2. Kaavassa d :n arvona käytettiin 3,0 cm:ia ja λ_0 :n arvona 633 nm, jotka oli annettu opintomonisteessa [1]. Tulokset nähtävissä taulukossa 5

Taulukko 5: Paine ja taitekertoimen muutos

| mittaus | p (mmHg) | $n_i - n_f(10^5)$ |
|---------|------------|-------------------|
| 1 | 643,86 | 3,165 |
| 2 | 593,86 | 5,275 |
| 3 | 543,86 | 6,330 |
| 4 | 493,86 | 6,330 |
| 5 | 443,86 | 8,440 |
| 6 | 393,86 | 9,495 |

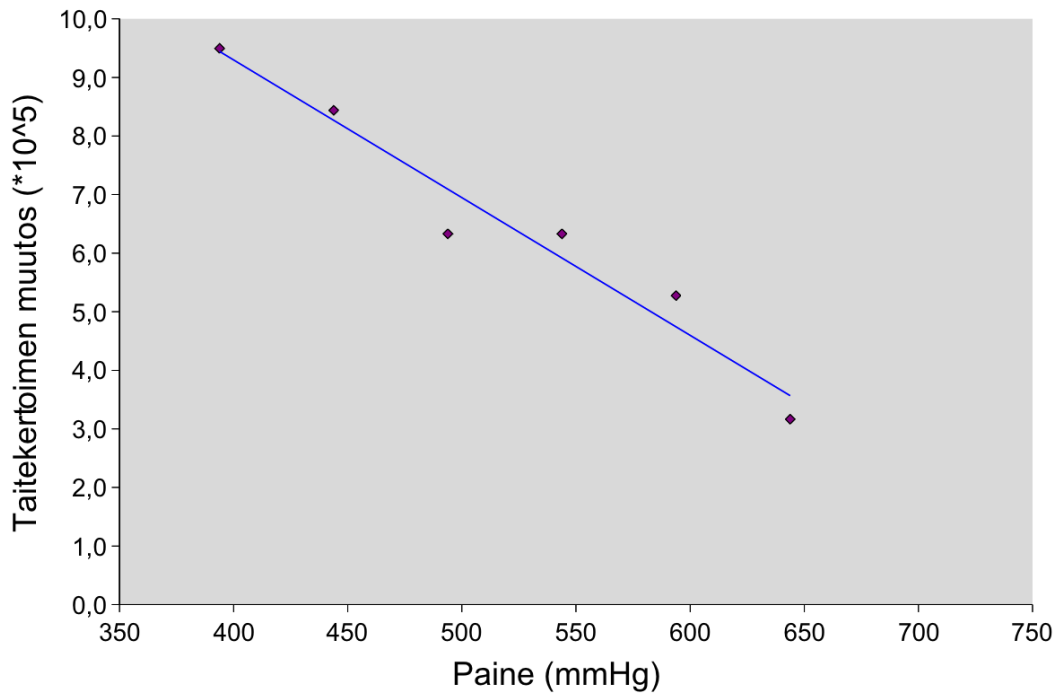
Pisteet piirrettiin kuvaajaan (kuva 2). Niistä approksimoitiin lineaarinen suora taulukkolaskentaohjelman lineaarisen regression avulla. Suoran kulmakerroin oli $-0,0235 \pm 0,00265 \frac{10^5}{\text{mmHg}}$. Suora oli laskeva, koska siinä kuvattiin taitekertoimen muutosta. Paineen laskiessa, taitekerroinkin pienenee. Jos taitekertoimet tunnettaisiin ja niistä piirrettäisiin suora, suoran kulmakerroin olisi saadun kulmakertoimen itseisarvo.

Ilman taitekerroin määritettiin suoran kaavasta $y = kx + b$. Kulmakertoimeksi asetettiin edellä määritetty $0,0235$ ja b :ksi tyhjiön taitekerroin 1 . Huomionarvoista kulmakertoimen käytössä oli, että kx oli kertaluokkaa 10^5 . Taitekertoimeksi paineessa $748,86$ mmHg saatiin $1,000174892$.

Lasin taitekerroin määritettiin taulukossa 3 esitetyille mittausarvoille kaavalla 3. Lasin taitekertoimeksi saatiin $1,52257$. Laskutoimitusten tulokset taulukossa 6.

Taulukko 6: Lasin taitekertoimen määrittäminen

| m | n |
|------|---------|
| 20 | 1,47061 |
| 40 | 1,48799 |
| 60 | 1,52576 |
| 80 | 1,54950 |
| 100 | 1,57901 |
| k.a. | 1,52257 |



Kuva 2: Taitekertoimen muutos paineen funktiona

6 Virhearvio

Ilman taitekertoimelle laskettiin virhe funktion maksimivirheen kaavalla, joka tässä tapauksessa oli

$$\Delta y \leq |k|\Delta x + |x|\Delta k. (4)$$

Ilmapuntarin virhe ei ollut tiedossa, joten ilmanpaineen virheeksi arvioitiin 0,1 mmHg. Ilman taitekertoimen maksimivirheeksi saatiin 0,0000197155.

7 Yhteenveto

Laserin aallonpituudeksi määritettiin 630 ± 13 nm.

Ilman taitekertoimen arvoksi määritettiin $1,00017 \pm 0,00002$. Kirjallisuudessa ilman taitekertoimelle esiintyy mm. arvoja 1,0002763 (Aallonpituus 600 nm, läm-

pötilä 15° , paine 1,013 bar eli n. 760 mmHg) ja 1,0002758 (aallonpituus 650 nm, lämpötila 15° , paine 1,013 bar eli n. 760 mmHg) [2]. Näin ollen saatu arvo on liian pieni. Todennäköisesti virhettä mittauksessa on aiheuttanut tyhjiöpumpun vuotaminen ja muut sen käytön ongelmat. Lisäksi siirtyneiden interferenssijuovien määrä oli pieni eli mittaus oli karkea.

Lasin taitekertoimeksi määritettiin 1,52257. BK7-lasilaadun taitekerroin aallonpituudelle 656,3 nm on 1,51432 [3] ja kruununlasin taitekerroin 1,50 - 1,54 [4]. Määritetty taitekerroin on siis ainakin oikeaa suuruusluokkaa.

Lisäksi kaikissa mittauksissa on voinut esiintyä virhettä liittyen interferenssijuovien määrän laskemiseen.

Viitteet

- [1] “Fysiikantyöt 1 opintomoniste 4.3. diffraktio,” TTY, 2007. [Online]. Available: <http://moodle.tut.fi/file.php/2016/4.3.diffraktio.pruju.paivitetty.20090929.pdf>
- [2] M. Kervinen and J. Smolander, *MAOL-taulukot*, 2nd ed. Keuruu: Otava, 2000.
- [3] “Bk7 description on altechna co ltd. website,” Altechna Co Ltd., 2010. [Online]. Available: http://www.altechna.com/product_details.php?id=41
- [4] “List of reflective indices,” Wikipedia, 2010. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_refractive_indices

Liitteet

1. Mittauspöytäkirja