



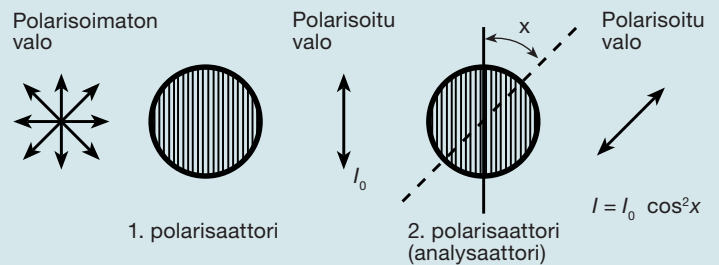
Kokeessa todennetaan Malusin laki.

Koe 1

Polarisoituneen valon intensiteetin tutkiminen luksimittarilla (39016).

Koe 2

Polarisoituneen valon intensiteetin tutkiminen Planckin vakion määrittäimellä (21030).



Polarisaattorin polarisointiastetta/-laatua voidaan tutkia johtamalla polarisoitua valoa toisen polarisaattorin (analysaattorin) läpi mittaamalla läpitulleen valon intensiteettiä analysaattorin kiertokulman x :n funktiona.

Ensimmäisessä kokeessa todennetaan Malusin laki kohdistamalla lineaarisesti polarisoitunut valo analysaattoriin. Analysaattorin jälkeistä tilannetta tarkastellaan luksimittariin kytketyn anturin avulla.

Toisessa kokeessa todennetaan Malusin laki kohdistamalla lineaarisesti polarisoitua valoa analysaattoriin ja tarkastelemalla analysaattorin jälkeistä tilannetta valokennon avulla. Kun sähkökenttä värähtelee, on sillä aina jokin huippuarvo $\hat{E}$. Valon intensiteetti on verrannollinen huippuarvon neliöön $\hat{E}^2$. Tällöin saadaan Malusin laki $I = I_0 \cos^2 x$. I_0 on analysaattoriin tulevan valon intensiteetti ja I on analysaattorin läpi tulleen valon intensiteetti. Kyseisen lain päätteli Etienne Malus vuonna 1809.

Välineet	Koe 1	Koe 2
39453 Punaisen valon polarisaatiosuodin	2	2
39016 Luksimittari 0,1 ... 20 000 lux	1	
21030 Planckin vakion määrittäin		1
19071 Pikoampeerimittari 100 pA – 1 mA		1
95105 Nemo-mittausohjelma	1	1
23081 Tehosäädin 20-150 W, 240 V	1	1
23080 Hehkulamppu 60 W E 27 kirkas	1	1
xxxxx Lampun suoja	1	1
39510 Urajalusta	2	2
51024 Jalusta ja tanko 60 cm	2	2
52003 Kaksoisreikäpuristin	2	2
52008 Leukapuristin, koura 80 mm	1	1
52006 Leukapuristin, koura 60 mm	1	1
Lisäksi tarvitaan		
Lampun alusta	1	1
Suojattu kaapeli		1



Kuva 1

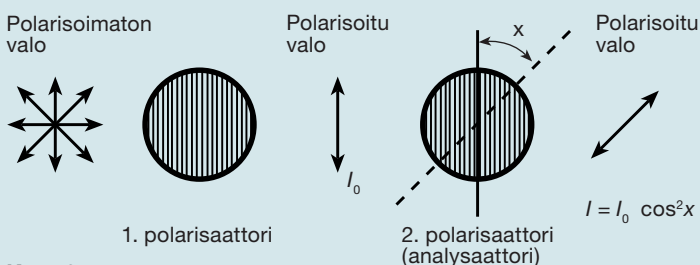
Koe 1

Polarisoituneen valon intensiteetin tutkiminen luksimittarilla.

Kokeen tavoitteet

1. Tutustua miten hehkulampusta tuleva valo polarisoidaan suodattimilla.
2. Tutustua luksimittarin toimintaan.
3. Oppia tekemään graafisia esityksiä tietokoneohjelmalla ja tulkitsemaan niitä.

Välineet	Koe 1	Koe 2
39453 Punaisen valon polarisaatiosuodin	2	
39016 Luksimittari 0,1 ... 20 000 lux	1	
95105 Nemo-mittausohjelma	1	
23081 Tehosäädin 20-150 W, 240 V	1	
23080 Hehkulamppu 60 W E 27 kirkas	1	
xxxxx Lampun suoja	1	
39510 Urajalusta	2	
51024 Jalusta ja tanko 60 cm	2	
52003 Kaksoisreikäpuristin	2	
52008 Leukapuristin, koura 80 mm	1	
52006 Leukapuristin, koura 60 mm	1	
Lisäksi tarvitaan		
Lampun alusta		



Kuva 2

Peruskäsitteet

Valo on poikittaista aaltoliikettä, jossa värähtelevinä suureina ovat sähkökenttä $\vec{E}$ ja sitä vastaan kohtisuorassa oleva magneettikenttä $\vec{B}$ siten, että molemmat kentät ovat kohtisuorassa valon etenemissuuntaan nähden. Jos kenttien värähtely tapahtuu yhtä voimakkaana kaikissa etenemissuuntia vastaan kohtisuorissa suunnissa, valo on polarisoitumatonta. Jos taas osa värähtelyistä puuttuu, niin valo on polarisoitunutta.

Valo on tasopolarisoitunutta, jos sähkökenttävektori $\vec{E}$ värähtelee vain tietyssä tasossa. $\vec{E}$:n suuntaa kutsutaan polarisaatio-suunnaksi ja tasoa polarisaatiotasoksi. Ympyräpolarisoitunutta valoa voi syntyä kahden tasoaallon lineaarikombinaationa, kun niillä on sama amplitudi ja $\pi/2$:n vaihe-ero ja ne ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Jos amplitudit ovat eri suuret, saadaan elliptisesti polarisoitunutta valoa.

Varsin yleisesti käytetty polarisaattori on Polaroid-kalvo. Polaroid-kalvossa on herapatiitti-nimisen aineen kiteitä, jotka on liitetty pitkiin samansuuntaisiin polyvinyylialkoholimolekyyleihin. Polaroid-suodatin läpäisee n. 80 % aallon intensiteetistä, jonka polarisaatiotaso on samansuuntainen suodattimen polarisaatio-akselin kanssa. Suodattimen läpäisy on 1 % tai vähemmän, jos aallon polarisaatiotaso on kohtisuorassa suodattimen akseliin nähden.

Mittausmenetelmä

Analysaattorin jälkeistä valon intensiteettiä tarkastellaan luksimittarin avulla. Mittarin arvot ovat verrannollisia valon intensiteettiin I .

Huom! Analysaattoriin on tultava lineaarisesti polarisoitunutta valoa (intensiteetti I_0). Tämä saadaan aikaan yhdellä polarisaattorilla. Koska valon intensiteetti on verrannollinen sähkökentän huippuarvon E neliöön E^2 , saadaan lopputuloksena Malusin laki $I = I_0 \cos^2 x$.

Asettelut

Koeasetelma on esitetty kuvassa 1.

Kokeen suoritus

a) Taulukkoarvojen mittaaminen ja laskeminen

Valonlähteenä käytetään hehkulamppua (60 W E27 kirkas), joka on kierretty lampun alustaan. Lampun ympärille on laitettu suoja. Suojassa olevan ympyränmuotoisen aukon kautta valo johdetaan ensimmäiseen polarisaattoriin. Lampun kirkkautta voidaan säätää tehosäätimen avulla.

Säädä lähinnä valonlähdetä olevan suodattimen asento niin, että kulma 0° on pystysuoraan. Tehosäätimellä lampun säädetään sopiva kirkkaus.

Säädä toista suodatinta niin, että valoa tulee eniten läpi. Mittarin lukema on verrannollinen läpitulevan valon intensiteetin maksimiin $I_{\max}$. Muuta kulmaa x kymmenen asteen välein ja ota vastaavat mittarin lukemat ylös taulukkoon. Laske taulukkoon myös sarake, jossa on teoreettinen ennuste $I_{\max} \cdot \cos^2 x$ (kuva 3).

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Esitä Nemo-tilukkolaskennan avulla mittarin lukema kulman x funktiona.

Intensiteetti on verrannollinen mittarin lukemaan.

Mittausarvojen välille voi piirtää viivan tarpeen mukaan (kuva 4).

c) Teoreettisen käyrän esittäminen

Esitä laskettu sarake kulman x funktiona samassa koordinaatistossa kohdan b) kanssa. Kyseessä on teoreettinen ennuste (kuva 5).

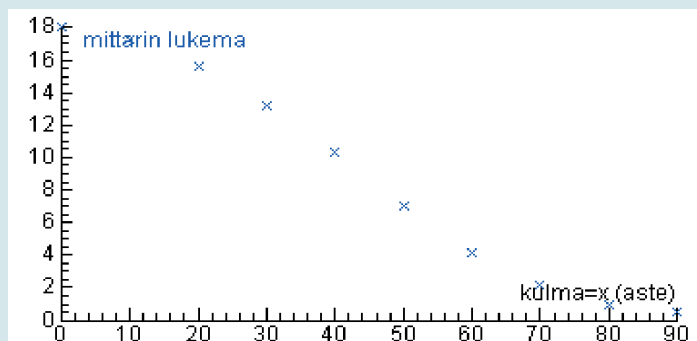
Mittausesimerkki

a) Taulukkoarvojen mittaaminen ja laskeminen

kulma = x / aste	Mittarin lukema	$\cos^2 x \cdot I_{\max}$
0°	18.00	18.00
10°	17.30	17.46
20°	15.60	15.89
30°	13.20	13.50
40°	10.30	10.56
50°	7.00	7.44
60°	4.20	4.50
70°	2.20	2.11
80°	1.00	0.54
90°	0.50	0

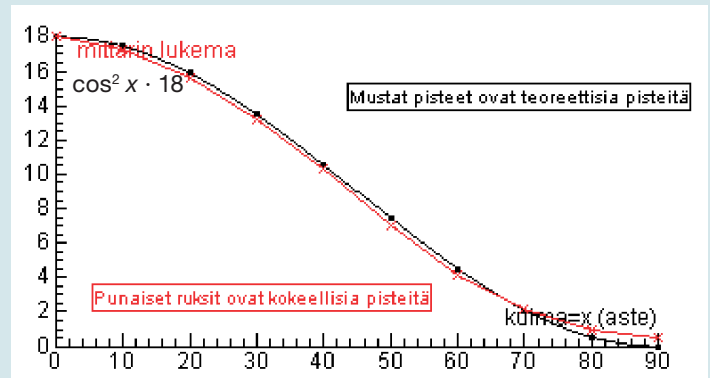
Kuva 3

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti



Kuva 4

c) Teoreettisen käyrän esittäminen



Kuva 5

Tulkinta ja tehtävät

a) Taulukkoarvojen mittaaminen ja laskeminen

Laskettu sarake voidaan myös tehdä Nemo-tilukkolaskennan avulla luomalle johonkin sarakkeista laskettu sarake.

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Ko. graafinen esitys ei anna vielä tarpeeksi informaatiota.

c) Teoreettisen käyrän esittäminen

Mitattua käyrää voidaan verrata teoreettiseen käyrään. Nähdään, että käyrät ovat hyvin samanlaisia. Jos merkitään I_0 illa maksimi-intensiteettiä, voidaan päätellä laki $I = I_0 \cos^2 x$.

d) Virhetarkastelu

Koska mittauspisteet ovat likimain teoreettisella käyrällä, virhe on pieni.

e) Vertailu kirjallisuuteen

Lain esitti ensimmäisenä Etienne Malus 1809.

f) Tehtävien vastauksia

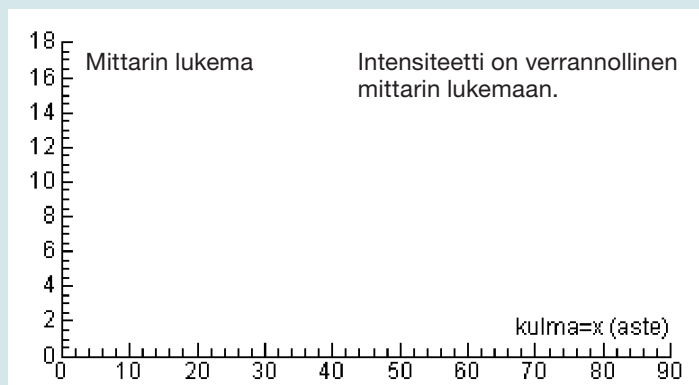
1. Polarisaatio-ilmiötä koskevan tiedon ehkä tunnetuin sovellutus on aurinkolasit, joissa on tasopolaroivat linssi. Aurinkolasit poistavat tehokkaasti vaakasuorista pinnoista tulevia heijastuksia sekä vaimentavat silmiin tulevan valon intensiteettiä. Valokuvauksessa käytetään myös polarisaatio-suodattimia. Suodattimilla voidaan myös aiheuttaa aallolle esimerkiksi $\lambda/4$ - tai $\lambda/2$ - aallon viiveen.
2. Polarimetri on laite, jolla voidaan tutkia optisesti aktiivisten liuosten ominaisuuksia kuten kiertykyä, konsentraatiota, pakkaskestävyyttä jne. Polarimetri koostuu yleensä valolähteestä, kollimaattorilinssistä, polarisaattorista (Nicolin prisma), näytekyvetistä, analysaattorista (Nicolin prisma), kiertokulma-asteikosta ja okulaarista. Nicolin prisma koostuu kahdesta kalkkisälpäprismasta, jotka on liitetty yhteen kanadapalsamilla.
3. Polarisoitua valoa voidaan käyttää erilaisten mekaanisten rakenteiden kuormitusten ja jännitysten tutkimiseen. Tutkitavasta rakenteesta on ensin tehtävä valoa läpäisevästä levystä (esim. akryylista) malli, jota tarkastellaan analysaattorin läpi polaroidussa valossa rakennetta kuormitettaessa. Monivärisestä kuvasta on pääteltävissä, mihin suurimmat kuormitukset rakenteissa keskittyvät.

a) Taulukkoarvojen mittaust ja laskeminen

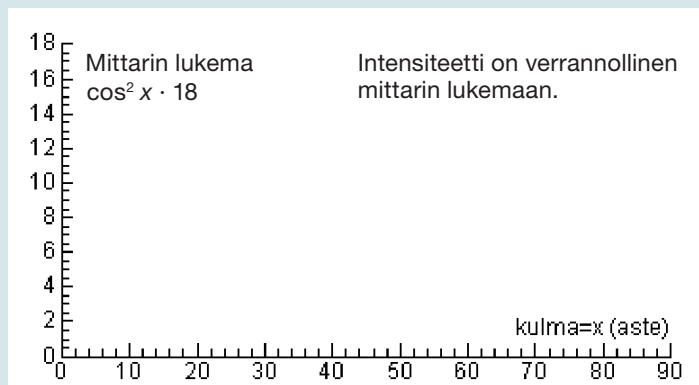
kulma = x / aste	Mittarin lukema	$\cos^2 x \cdot I_{\max}$
0°		
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		
90°		

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Esitä mittaustaulukko graafisesti Nemo-tilukkolaskenta-ohjelman avulla.

**c) Teoreettisen käyrän esittäminen**

Esitä samassa koordinaatistossa edellisen kanssa teoreettinen käyrä (Nemo-tilukkolaskentaohjelma)



Tulkitse millainen riippuvuus vallitsee intensiteetin ja kulman x välillä.

d) Virhetarkastelu

Pohdi mittauksen tarkkuutta.

e) Vertailu kirjallisuuteen

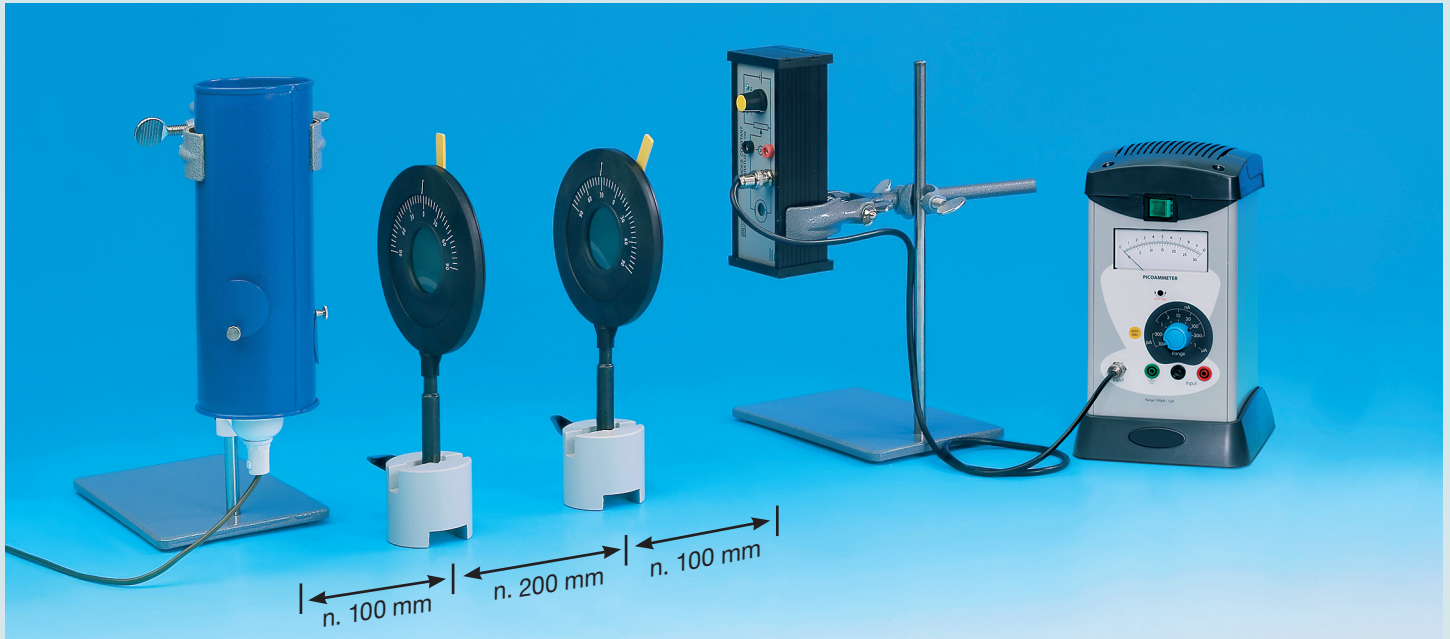
Etsi kirjallisuuden avulla henkilö ja vuosiluku, milloin kohdan c) esittämä laki selvitettiin ensimmäisen kerran.

f) Tehtäviä

1. Miten toimii aurinkolasit?

2. Miten toimii polarimetri?

3. Miten polarisoitua valoa hyödynnetään mekaanisten rakenteiden tutkimuksessa?



Kuva 1

Koe 2

Polarisoituneen valon intensiteetin tutkiminen Planckin vakion määrittäslaitteella (21030).

Kokeen tavoitteet

1. Tutustua miten hehkulampusta tuleva valo polarisoidaan suodattimilla.
2. Tutustua pienten virtojen mittaamiseen pikoampeerimittarilla.
3. Oppia tekemään graafisia esityksiä tietokoneohjelmalla ja tulkitsemaan niitä.

Välineet	Koe 1	Koe 2
39453 Punaisen valon polarisaatiosuodin		2
21030 Planckin vakion määrittäslaitte		1
19071 Pikoampeerimittari 100 pA – 1 mA		1
95105 Nemo-mittausohjelma		1
23081 Tehosäädin 20-150 W, 240 V		1
23080 Hehkulamppu 60 W E 27 kirkas		1
xxxxx Lampun suoja		1
39510 Urajalusta		2
51024 Jalusta ja tanko 60 cm		2
52003 Kaksoisreikäpuristin		2
52008 Leukapuristin, koura 80 mm		1
52006 Leukapuristin, koura 60 mm		1
Lisäksi tarvitaan		
Lampun alusta ja suojattu kaapeli (BNC)		

Peruskäsitteet

Valo on poikittaista aaltoliikettä, jossa värähtelevinä suureina ovat sähkökenttä $\vec{E}$ ja sitä vastaan kohtisuorassa oleva magneettikenttä $\vec{B}$ siten, että molemmat kentät ovat kohtisuorassa valon etenemissuuntaan nähden. Jos kenttien värähtely tapahtuu yhtä voimakkaana kaikissa etenemissuuntaa vastaan kohtisuorissa suunnissa, valo on polarisoimaton. Jos taas osa värähtelyistä puuttuu, niin valo on polarisoitunutta.

Valo on tasopolarisoitunutta, jos sähkövektori $\vec{E}$ värähtelee vain tietyssä tasossa. $\vec{E}$:n suuntaa kutsutaan polarisaatiosuunnaksi ja tasoa polarisaatiotasoksi. Ympyräpolarisoitunutta valoa voi syntyä kahden tasoaallon lineaarikombinaationa, kun niillä on sama amplitudi ja ne ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Jos amplitudit ovat eri suuret, saadaan elliptisesti polarisoitunutta valoa.

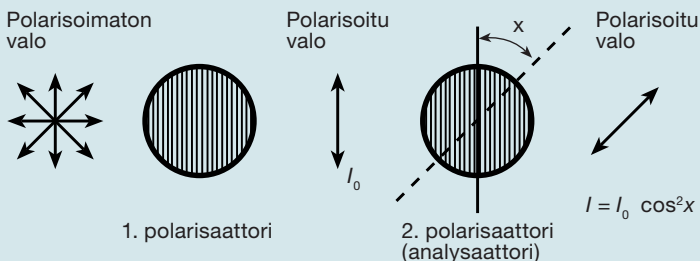
Varsin yleisesti käytetty polarisaattori on Polaroid-kalvo. Polaroid-kalvossa on herapatiitti-nimisen aineen kiteitä, jotka on liitetty pitkiin samansuuntaisiin polyvinyylialkoholimolekyyleihin. Polaroid-suodatin läpäisee n. 80 % aallon intensiteetistä, jonka polarisaatiotaso on samansuuntainen suodattimen polarisaatio-akselin kanssa. Suodattimen läpäisy on 1 % tai vähemmän, jos aallon polarisaatiotaso on kohtisuorassa suodattimen akseliin nähden.

Mittausmenetelmä

Analysaattorin jälkeistä valon intensiteettiä tarkastellaan valokennon avulla. Pikoampeerimittarin arvot ovat verrannollisia valon intensiteettiin I .

Huom! Analysaattoriin on tultava lineaarisesti polarisoitua valoa (intensiteetti I_0). Tämä saadaan aikaan yhdellä polarisaattorilla.

Koska valon intensiteetti on verrannollinen sähkökentän huippuarvoon $\vec{E}$, saadaan lopputuloksena Malusin laki $I = I_0 \cos^2 x$.



Kuva 2

Asettelut

Koeasetelma on esitetty kuvassa 1.

Kokeen suoritus

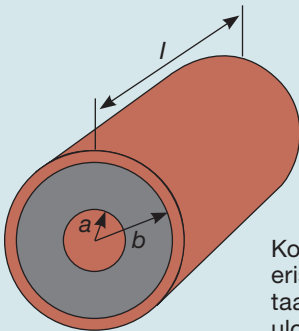
a) Taulukkoarvojen mittaus ja laskeminen

Pieni virta mitataan pikoampeerimittarilla (Kuva 3).



Kuva 3

Virta tuodaan suojatulla kaapelilla kohtaan Input. Suojattuna kaapelina käytetään koaksiaalikaapelia (kuva 4).



Koaksiaalikaapelissa silikonieriste eristää kaksi johtavaa osaa toisistaan. Sisempi johdesäde on a ja ulompi johdesäde on b . Kaapelin pituus on l .

Kuva 4

Käytä mittarissa herkintä aluetta ja säädä aluksi mittarin neula nolleen (auto zero ja meter reading).

Valonlähteenä käytetään hehkulamppua (60 W E 27 kirkas), joka on kierretty lampun alustaan. Lampun ympärille on laitettu suoja. Suojassa olevan ympyränmuotoisen aukon kautta valo johdetaan ensimmäiseen polarisaattoriin. Lampun kirkkautta voidaan säätää tehosäätimen avulla.

Säädä lähinnä valonlähdettä olevan suodattimen asento niin, että kulma 0° on pystysuoraan. Tehosäätimellä lampun puoleen säädetään sopiva kirkkaus. Säädä toista suodatinta niin, että valoa tulee eniten läpi. Mittarin (kuva 3) lukema on verrannollinen läpitulevan valon intensiteetin maksimiarvoon. Muuta kulmaa x kymmenen asteen välein ja ota vastaavat mittarin lukemat ylös taulukkoon. Laske taulukkoon myös sarake, jossa on teoreettinen ennuste $I_{\max} \cdot \cos^2 x$ (kuva 5).

Huom! Valokennoa käytetään myös Planckin vakion määrittämiseen. Säädä potentiometrin avulla vastajännite nolaksi.

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Esitä mittausarvot graafisesti Nemo-tyylitaulukkolaskennan avulla mittarin lukema kulman x funktiona. Intensiteetti on verrannollinen mittarin lukemaan. Mittausarvojen välille voi piirtää viivan tarpeen mukaan (kuva 6).

c) Teoreettisen käyrän esittäminen

Esitä laskettu sarake kulma x funktiona samassa koordinaatistossa kohdan b) kanssa. Kyseessä on teoreettinen ennuste (kuva 7).

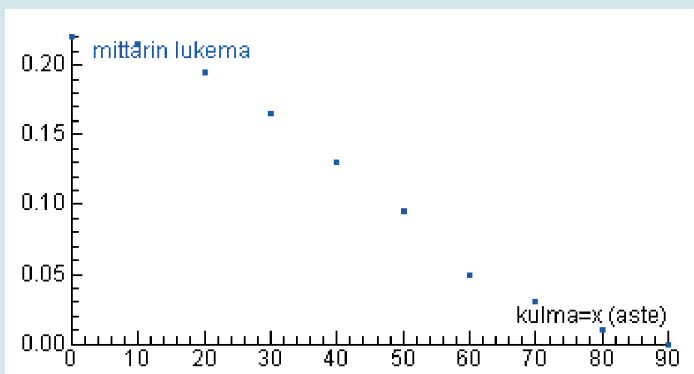
Mittausesimerkki

a) Taulukkoarvojen mittausta ja laskeminen

kulma = x / aste	Mittarin lukema	$\cos^2 x \cdot I_{\max}$
0°	0.220	0.220
10°	0.215	0.213
20°	0.195	0.194
30°	0.165	0.165
40°	0.130	0.121
50°	0.095	0.011
60°	0.050	0.055
70°	0.030	0.026
80°	0.010	0.007
90°	0	0

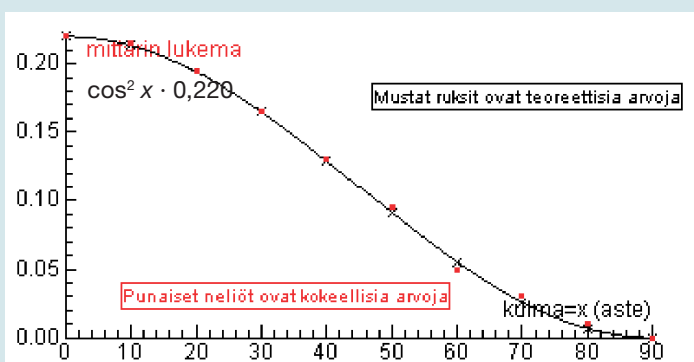
Kuva 5

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti



Kuva 6

c) Teoreettisen käyrän esittäminen



Kuva 7

Tulkinta ja tehtävät

a) Taulukkoarvojen mittausta ja laskeminen

Laskettu sarake voidaan myös tehdä Nemo-tilukkolaskennan avulla luomalla johonkin sarakkeista laskettu sarake.

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Ko. graafinen esitys ei anna vielä tarpeeksi informaatiota.

c) Teoreettisen käyrän esittäminen

Kokeelliset pisteet ovat lähellä teoreettisesti laskettua käyrää. Jos merkitään I_0 :lla intensiteettiä, joka vastaa maksimivirtaa, voidaan päätellä laki $I = I_0 \cos^2 x$.

d) Virhetarkastelu

Koska mittauspisteet ovat likimain teoreettisella käyrällä, virhe on pieni.

e) Vertailu kirjallisuuteen

Lain esitti ensimmäisenä Etienne Malus 1809.

f) Tehtävien vastauksia

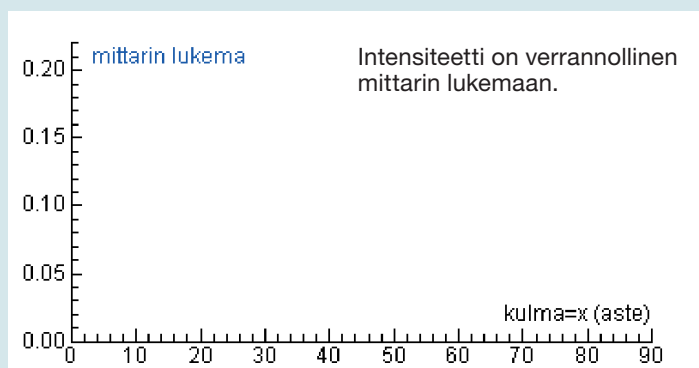
1. Polarisaatio-ilmiötä koskevan tiedon ehkä tunnetuin sovellutus on aurinkolasit, joissa on tasopolaroivat linssi. Aurinkolasit poistavat tehokkaasti vaakasuorista pinoista tulevia heijastuksia sekä vaimentavat silmiin tulevan valon intensiteettiä. Valokuvauksessa käytetään myös polarisaatiosuodattimia. Suodattimilla voidaan myös aiheuttaa aallolle esimerkiksi $\lambda/4$ - tai $\lambda/2$ - aallon viiveen.
2. Polarimetri on laite, jolla voidaan tutkia optisesti aktiivisten liuosten ominaisuuksia kuten kiertokykyä, konsentraatiota, pakkaskestävyyttä jne. Polarimetri koostuu yleensä valolähteestä, kollimaattorilinssistä, polarisaattorista (Nicolin prisma), näytekyvetistä, analysaattorista (Nicolin prisma), kiertokulma-asteikosta ja okulaarista. Nicolin prisma koostuu kahdesta kalkkisaipäprismasta, jotka on liitetty yhteen kanadapalsamilla.
3. Polarisoitua valoa voidaan käyttää erilaisten mekaanisten rakenteiden kuormitusten ja jännitysten tutkimiseen. Tutkitavasta rakenteesta on ensin tehtävä valoa läpäisevästä levystä (esim. akryylista) malli, jota tarkastellaan analysaattorin läpi polaroidussa valossa rakennetta kuormitettaessa. Monivärisestä kuvasta on pääteltävissä, mihin suurimmat kuormitukset rakenteissa keskittyvät.

a) Taulukkoarvojen mittaust ja laskeminen

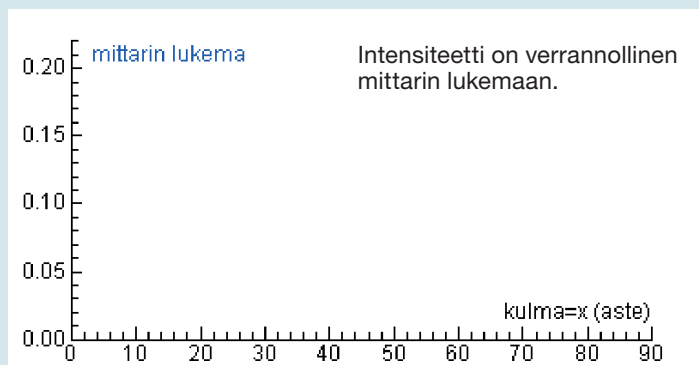
kulma = x / aste	Mittarin lukema	$\cos^2 x \cdot I_{\max}$
0°		
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		
90°		

b) Mittausarvojen esittäminen graafisesti

Esitä mittausaulukko graafisesti Nemo-tilukkolaskenta-ohjelman avulla.

**c) Teoreettisen käyrän esittäminen**

Esitä samassa koordinaatistossa edellisen kanssa teoreettinen käyrä (Nemo-tilukkolaskentaohjelma).



Tulkitse millainen riippuvuus vallitsee intensiteetin ja kulman x välillä.

d) Virhetarkastelu

Pohdi mittauksen tarkkuutta.

e) Vertailu kirjallisuuteen

Etsi kirjallisuuden avulla henkilö ja vuosiluku, milloin kohdan c) esittämä laki selvitettiin ensimmäisen kerran.

f) Tehtäviä

1. Miten toimii aurinkolasit?

2. Miten toimii polarimetri?

3. Miten polarisoitua valoa hyödynnetään mekaanisten rakenteiden tutkimuksessa?
