
Polarimeter

Gunar Stevens

Tweede Bachelor Fysica en Sterrenkunde

Opstelling X

Groep 5

5 oktober 2023

Samenvatting

In het besproken experiment van dit verslag werd het optisch draaivermogen van twee kwarts-plaatjes met een verschillende dikte bepaald, en werd op basis hiervan het optisch draaivermogen van kwarts gedetermineerd. Vervolgens hebben we dezelfde procedure toegepast op een suikeroplossing en konden we, aan de hand van een gegeven voorbeeld, de concentratie aan suiker in oplossing berekenen. Ten slotte trachtte men de wet van Malus te verifiëren aan de hand van een fotodiode. Maar dit bleek maar in zekere mate succesvol.

1 Inleiding

In dit verslag worden de resultaten van het experiment met betrekking tot de polarimeter besproken zowel als conclusies getrokken uit desbetreffende resultaten. De proef verliep in twee onderdelen, zijnde het onderzoek naar optisch draaivermogen van verschillende optische actieve stoffen in verschillende fases, en de verificatie van de wet van Malus. Het optisch draaivermogen van een vaste stof is gedefinieerd als:

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{d} \quad (1)$$

Hierbij representeert α de hoek tussen de initiële polarisatiestand van het licht, en de polarisatiestand na dat het licht door de stof heeft gereisd. Grootheid d staat voor de dikte van de stof, m.a.w. de weglengte van het licht. Voor een vloeistof definieert met het specifiek draaivermogen als:

$$[\alpha]_{sp} = \frac{[\alpha]}{C} = \frac{\alpha}{C \cdot l} \quad (2)$$

Waarbij C de concentratie van de stof in oplossing beduidt en l de weglengte. Hieruit volgt dat het draaivermogen recht evenredig is met de concentratie van de stof via het specifiek draaivermogen. De voorgaand besproken wet luidt:

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \quad (3)$$

Deze beweert dat de intensiteit van lineair gepolariseerd licht gereduceerd wordt met een factor $\cos^2(\theta)$ wanneer dit licht een polarisator doorgaat. Hierbij staat θ voor de hoek tussen de voorkeursrichting van de polarisator, en de initiële polarisatiestand van het licht.

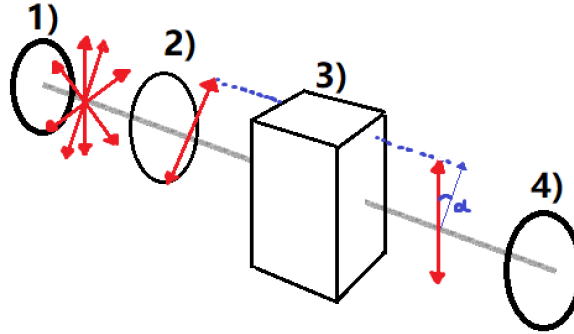
2 Experimentele methode

2.1 Bepaling optisch draaivermogen

In deze sectie wordt er gebruik gemaakt van de polarimeter van Laurent en een natrium-lamp (zie Figuur 1 voor referenties).

De natrium-lamp zal willekeurig gepolariseerd licht sferisch uitzenden(1). Aan de kant van de lamp, beschikt de polarimeter over een polarisator. Deze polarisator zal van dit willekeurig gepolariseerd licht enkel licht dat op een welbepaalde voorkeursrichting gepolariseerd is doorlaten(2). Deze voorkeursrichting wordt doorheen de proef geassocieerd met hoek β . De polarisator is zodanig gemonteerd op de kijkbuis dat de voorkeursrichting over 10° gedraaid kan worden. Aan het andere uiteinde van de kijkbuis zit de analysator(4). Deze beschikt ook over een voorkeursrichting die over 360° kan gedraaid worden en zal het uiteindelijke beeld bepalen. We zullen eerst de vier standen van homogene belichting zoeken bij een lege kijkbuis. Deze nemen we dan later in het practicum als referentiepunt. Ook moeten we de hoek van de polarisator correct calibreren door nabij duisternis de polarisator te draaien tot er een maximum wordt verkregen. Na calibratie en metingen van de polarimeter met lege kijkbuis, kan er in de buis

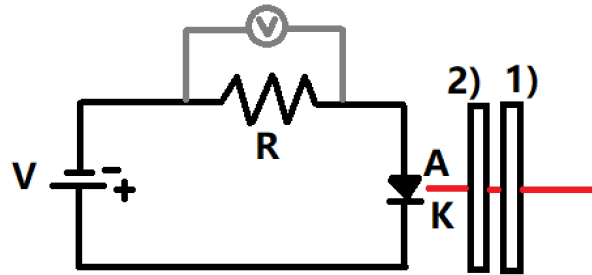
een stof geplaatst worden. Deze stof (als deze optisch actief is) zal het originele beeld 'draaien'¹ met een welbepaalde hoek α (3) (uit vergelijkingen 1 en 2). Uit het verschil tussen de metingen van de lege kijkbuis en de geoccupeerde kijkbuis, kan deze hoek gededuceerd worden. We onderzoeken twee kwartsplaatjes met diktes $d_1 = (1,00 \pm 0,01)$ mm horende bij kwartsplaatje(1), $d_2 = (2,00 \pm 0,01)$ mm die geassocieerd wordt met kwartsplaatje(2) en een suikeroplossing bevat in een buisje met lengte $l = (20,0 \pm 1,0)$ cm.



Figuur 1: Lichtgang door de polarimeter van Laurent beschreven in 2.1

2.2 Wet van Malus

Voor de verificatie van de wet van Malus wordt er gebruik gemaakt van (zie Figuur 2 voor referenties) een Reuter-lamp, een kijkbuis met polarisator(1) (bestaande uit een polaroid filter en is draaibaar over 360°) waarbij we achter de eerste polaroid filter over een tweede filter(2) beschikken die zal dienen als analysator, een fotodiode(A-K) (type BPX42), een multimeter(v) (Voltcraft VC830), een regelbare spanningsbron(PHYWE)(V) en een weerstand(R) van 820 kOhm.



Figuur 2: Gebruikte schakeling in 2.2

De Reuter-lamp wordt logischerwijze gebruikt als lichtbron, met de eigenschap dat deze lineair gepolariseerd licht produceert. Ter confirmatie wordt er nagegaan of er wel degelijk een intensiteitsverandering is achter de polarisator als deze over 90° wordt gedraaid. De polarisator op de kijkbuis bevat een polaroidfilter, waarin de ene polarisatierichting sterk geabsorbeerd wordt, en er een minimale hoeveelheid licht getransmitteerd wordt. Aan de andere kant van de kijkbuis hangt de fotodiode. Deze wordt aangesloten op een schakeling zoals weergegeven in Figuur 2. Als er licht invalt op de fotodiode van binnenin de kijkbuis, zal deze een stroom produceren in de schakeling. Door de spanning over de weerstand te bepalen, kunnen we de stroom in het circuit achterhalen (via de wet van Ohm). Deze heeft, dankzij de fotodiode, de eigenschap recht evenredig te zijn met de invallende lichtintensiteit op de fotodiode. Zo zullen we 10 verschillende standen van de polarisator (variërend van 0° tot 90° aangegeven door bijbehorende aanduidingen op de polarisator om de 10°) onderzoeken door de spanning over de weerstand in de schakeling te meten. Zij σ de evenredigheidsfactor is tussen de lichtintensiteit, en de gegenereerde stroom, dan volgt:

$$I_i(\theta) = \sigma I_c(\theta) \quad (4)$$

Alsook:

$$I_{i0} = \sigma I_{c0} \quad (5)$$

¹De term draaien is hier niet echt accuraat voor het beeld, het is eerder het polarisatievlak dat draait, niet het beeld. Het resultaat hiervan is dat men de analysator met dezelfde hoek zal moeten draaien om het beeld van een lege kijkbuis terug te verkrijgen.

Met I_i de intensiteit van het doorgelaten licht en I_c de gegenereerde stroom (I_{i0} en I_{c0} representeren dan de maxima). Zo wordt vergelijking 3:

$$\sigma I_c(\theta) = \sigma I_{c0} \cdot \cos^2(\theta) \implies I_c(\theta) = I_{c0} \cdot \cos^2(\theta) \quad (6)$$

En dus kunnen we de wet van van Malus aantonen door de stroom te vinden naarmate θ vordert.

3 Meetresultaten

3.1 Bepaling optisch draaivermogen

3.1.1 Homogene standen polarimeter

Bij de metingen van de hoeken van homogene stand werd de conventie D: donker en H: helder geutiliseerd.

Tabel 1: Hoeken van homogene stand

	α (in $^\circ$)	AF($^\circ$)
Stand 1(D)	5,00	0,25
Stand 2(H)	96,50	0,25
Stand 3(D)	185,50	0,25
Stand 4(H)	266,50	0,25

3.1.2 Calibratie β

De methodiek beschreven in de 2.1 werd gebruikt bij stand 1 en stand 3 (de donkere standen zijn preferabel voor deze metingen) waarbij voor stand 1 een hoek $\beta_1 = (2,5 \pm 0,25)^\circ$ werd gevonden en voor stand 3 een hoek $\beta_2 = (2,00 \pm 0,25)^\circ$. Er werd dus een waarde voor β van orde $(2,25 \pm 0,25)^\circ$ gebruikt.

3.1.3 Kwartsplaatje 1

Met subscript r op de absolute fout wordt er de reproduceerbare fout bedoeld, later in het verslag zal er nagegaan worden of de metingen effectief niet- of wel reproduceerbaar zijn. Deze reproduceerbare fout is gelijk aan de helft van de meetnauwkeurigheid (deze is namelijk $0,50^\circ$).

Tabel 2: Draaiingshoek veroorzaakt door het kwartsplaatje (1)

N $^\circ$	α ($^\circ$)	AF $_r$ ($^\circ$)
1	37,50	0,25
2	38,50	0,25
3	37,50	0,25
4	39,00	0,25
5	39,50	0,25
6	39,00	0,25
7	39,50	0,25
8	40,00	0,25
9	39,50	0,25
10	38,50	0,25

3.1.4 Kwartsplaatje 2

Tabel 3: Draaiingshoek veroorzaakt door het kwartsplaatje (2)

N°	$\alpha(^{\circ})$	$AF_r(^{\circ})$
1	56,50	0,25
2	58,00	0,25
3	57,50	0,25
4	57,50	0,25
5	57,00	0,25
6	58,00	0,25
7	57,00	0,25
8	57,50	0,25
9	57,50	0,25
10	58,50	0,25

3.1.5 Suikeroplossing

Tabel 4: Draaiingshoek veroorzaakt door de suikeroplossing

N°	$\alpha(^{\circ})$	$AF_r(^{\circ})$
1	33,00	0,25
2	34,00	0,25
3	34,00	0,25
4	33,00	0,25
5	32,00	0,25
6	34,50	0,25
7	33,50	0,25
8	33,00	0,25
9	32,50	0,25
10	32,50	0,25

3.2 Wet van Malus

Er kon geverifieerd worden dat de lichtintensiteit varieert als de polarisator gedraaid werd. Omdat de metingen worden gedaan via aanduidingen op de draaibare filter, schuilt er ook een absolute fout achter θ , zijnde de helft van de meetnauwkeurigheid (gelijk aan 10° , zie 2.2), $AF(\theta) = 5^{\circ}$.

Tabel 5: Spanning over de weerstand bij verschillende standen analysator

$\theta(^{\circ})$	Spanning(mV)	$AF_r(\text{mV})$
0	253,90	0,05
10	202,90	0,05
20	303,90	0,05
30	342,90	0,05
40	363,40	0,05
50	376,00	0,05
60	385,10	0,05
70	391,70	0,05
80	395,80	0,05
90	398,50	0,05

4 Berekeningen en bespreking

4.1 Foutenrekening

We onderzoeken de reproduceerbaarheid van metingen in sectie 3.1.3, 3.1.4 en 3.1.5. Dit kunnen we doen door de gemiddelde draaiingshoek te berekenen per optisch actieve stof, en de afwijking van elke individuele meting ten opzichte van dit gemiddelde te zoeken. Als we vinden dat voor elke meting de (absolute waarde van de) deviatie kleiner is dan de reproduceerbare fout, dan is de meting reproduceerbaar. Zo niet, dan vinden we de niet-reproduceerbare fout via:

$$AF(a) = 3 \cdot SF(a) = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_i d_i^2} \quad (7)$$

We vinden voor de gemiddelden van de metingen en hun deviaties(in absolute waarde) per individuele meting²

	Kwartsplaatje(1)	Kwartsplaatje(2)	Suikeroplossing
$\bar{\alpha}(^\circ)$	38,85	57,50	33,20
$ d_1 (^\circ)$	1,35	1,00	0,20
$ d_2 (^\circ)$	0,35	0,50	0,80
$ d_3 (^\circ)$	1,35	0,00	0,80
$ d_4 (^\circ)$	0,15	0,00	0,20
$ d_5 (^\circ)$	0,65	0,50	1,20
$ d_6 (^\circ)$	0,15	0,50	1,30
$ d_7 (^\circ)$	0,65	0,50	0,30
$ d_8 (^\circ)$	1,15	0,00	0,20
$ d_9 (^\circ)$	0,65	0,00	0,70
$ d_{10} (^\circ)$	0,35	1,00	0,70

Tabel 6: Gemiddelde draaiingshoeken en deviaties per individuele meting

We zien dat er bij elk medium wel minstens één meting is waarbij de deviatie groter is dan de reproduceerbare fout. We hebben dus te maken met niet-reproduceerbare metingen.

Verder is er in verdere berekeningen gebruik gemaakt van volgende formules:

$$RF(a) = \frac{AF(a)}{a} \quad (8)$$

$$RF(a/b) = RF(a) + RF(b) \quad (9)$$

4.2 Optisch draaivermogen

4.2.1 Kwarts

Via Tabel 6 en vergelijking 7 vinden we dus de draaiingshoek per meting en hun fouten. Voor kwartsplaatje 1 vinden we:

$$\alpha_1 = (38,85 \pm 0,80)^\circ \quad (10)$$

Wat via vergelijking 1 overeenstemt met een optisch draaivermogen, zijnde de draaiingshoek per mm, van de orde³:

$$[\alpha]_1 = (38,85 \pm 1,19)^\circ \quad (11)$$

Op analoge wijze gaan we te werk voor het tweede kwartsplaatje. Er volgt:

$$\alpha_2 = (57,50 \pm 0,54)^\circ \quad (12)$$

$$[\alpha]_2 = (28,75 \pm 0,41)^\circ \quad (13)$$

Zo kunnen we vergelijkingen 11 en 13 combineren voor het optisch draaivermogen van kwarts te bepalen:

$$[\alpha]_{\text{kwarts}} = (33,80 \pm 0,80)^\circ \quad (14)$$

²In het logboek werd er voor de gemiddelde draaiingshoek van het eerste kwartsplaatje een waarde van 38,50(°) genoteerd, dit is echter fout en de correcte waarde is te vinden in Tabel 6. De deviaties zijn wel juist gedocumenteerd in het logboek, en zijn ook terug te vinden in de tabel.

³Foutenrekening via vergelijkingen 8 en 9.

4.2.2 Suikeroplossing

Voor de suikeroplossing vinden we opnieuw via Tabel 6 en vergelijking 7:

$$\alpha = (33,20 \pm 0,75)^\circ \quad (15)$$

Hieruit volgt het optisch draaivermogen voor de suikeroplossing:

$$[\alpha]_{\text{opl}} = (0,166 \pm 0,013)^\circ \quad (16)$$

Er werd gegeven dat voor een suikeroplossing met suikerconcentratie van $(0,1619 \pm 0,0001) \text{ g/cm}^3$ een draaihoek heeft van $(21,67 \pm 0,02)^\circ$ waarbij de suikeroplossing bevat zit in een buisje met lengte $(20 \pm 1) \text{ cm}$. Uit deze gegevens kan het specifiek draaivermogen berekend worden, zijnde de evenredigheidsfactor tussen het draaivermogen en de concentratie van een opgeloste optisch actieve stof (zie vergelijking 2). Het specifiek draaivermogen luidt:

$$[\alpha]_{\text{sp}} = (669,0 \pm 34,0) \frac{^\circ \cdot \text{mm}^2}{\text{g}} \quad (17)$$

Nu kunnen we vergelijking 2 en 16 gebruiken om de concentratie te berekenen, er volgt:

$$C = (0,248 \pm 0,032) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (18)$$

4.2.3 Wet van Malus

Aan de hand van de wet van Ohm kunnen we Tabel 5 de gegenereerde stroom berekenen voor al onze waarden van θ :

Tabel 7: Stroom door de weerstand bij verschillende standen analysator

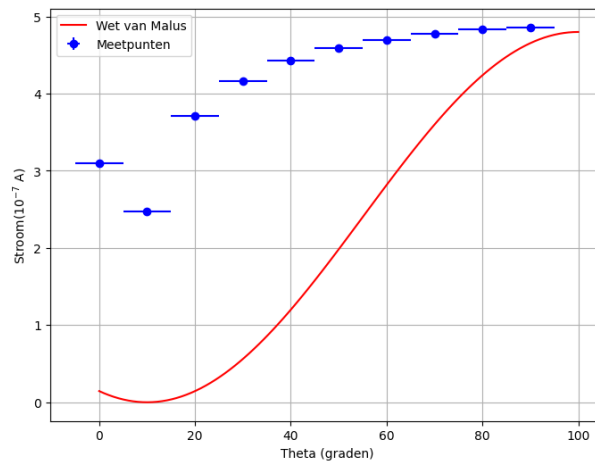
$\theta(^\circ)$	$I(\mu\text{A})$	$\text{AF}_r(\mu\text{A})$
0	0,310	$6,2 \cdot 10^{-5}$
10	0,247	$6,2 \cdot 10^{-5}$
20	0,371	$6,2 \cdot 10^{-5}$
30	0,416	$6,2 \cdot 10^{-5}$
40	0,443	$6,2 \cdot 10^{-5}$
50	0,459	$6,2 \cdot 10^{-5}$
60	0,470	$6,2 \cdot 10^{-5}$
70	0,478	$6,2 \cdot 10^{-5}$
80	0,483	$6,2 \cdot 10^{-5}$
90	0,486	$6,2 \cdot 10^{-5}$

Nu kunnen we de gevonden stroomwaarden plotten in functie van θ , naast de curve van Malus. We zien echter wel dat 0° (en 90°) niet overeenkomt met een minimum (resp. maximum) in stroom. Dit is te wijten aan de aanduidingen op de filter zelf. We kunnen wel schatten waar het minima zou moeten zijn in termen van θ en de maximale stroom benaderen. Zo zien we in Tabel 7 dat er een minimale stroom bereikt wordt tussen 0° en 20° . We kunnen dan een benaderende conclusie trekken dat het minima zich op $\theta = 10^\circ$ bevindt. Dit wilt zeggen dat het subsequent maxima zich dan op $\theta = 100^\circ$ zou moeten bevinden. Om I_0 dan te vinden kunnen we zien dat de verandering van de stroom naarmate θ vordert, daalt. En dus kunnen we zeggen dat $I_0 = I(\theta = 100^\circ) \approx I(\theta = 90^\circ)$. Zo krijgen we voor de curve van Malus: $I(\theta) = 0,486 \cdot 10^{-6} \cdot \cos^2(\theta)$, als we dit plotten krijgen we:⁴

5 Besluit

Als eerste werd het optisch draaivermogen van kwarts bepaald, aan de hand van twee verschillende kwartsplaatjes. Dit verwierf een uiteindelijk optisch draaivermogen ter grootte van $[\alpha]_{\text{kwarts}} = (33,80 \pm 0,80)^\circ$. Vervolgens hebben we dezelfde procedure herhaald met een suikeroplossing, dit gaf een optisch draaivermogen van $[\alpha]_{\text{opl}} = (0,166 \pm 0,013)^\circ$. Uit de gegeven situatie konden we het specifiek draaivermogen

⁴De fouten in beide θ en I zijn aangeduid, de laatste is echter niet waarneembaar omdat deze van verwaarloosbare orde is (zie Tabel 7).



Figuur 3: Curve van Malus en meetpunten met fout

berekenen, waaruit we de concentratie van onze suikeroplossing konden verkrijgen, met een grootte-orde van: $C = (0,248 \pm 0,032) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Als we kijken naar het gegeven voorbeeld, dan zien we dat onze bekomen waarde logische redenering volgt. Het desbetreffend voorbeeld heeft namelijk een lagere concentratie aan suiker, en bijgevolg een lagere draaiingshoek (de lengte van de buis hoeft geen aandacht aan besteed te worden, deze is namelijk gelijk in het voorbeeld en het experiment). Dit sluit aan bij de redenering dat een stof die denser is, het polarisatievlak meer gaat draaien. We wensten ook de wet van Malus te verifiëren. Als we een blik werpen naar Figuur 3 zien we dat onze meetpunten wel min of meer de trend volgen die de wet stelt, maar de grootte van de verandering is niet gelijk, zo zien we dat na een minimum de stroom zeer snel stijgt en al snel een 'plateau' bereikt. Terwijl het bij de curve van Malus iets gradueller verloopt. Hieruit kunnen we dus niet definitief de wet van Malus verifiëren.