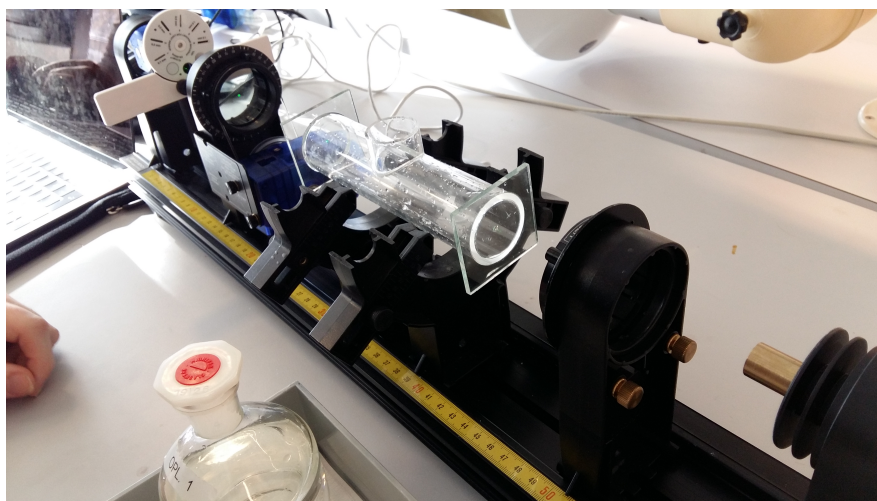




Optisk Rotation

FKF - Institut for Fysik, Kemi og Farmaci

10. november 2021



Forord

Velkommen til FysikLabs laboratorieøvelser.

I FysikLab har I mulighed for at udføre aktiviteter og forsøg, som supplerer og perspektiverer materialet fra Jeres egen undervisning. Her lærer I, hvordan matematikken kan anvendes til at bygge og analysere modeller, der beskriver fysiske fænomener. I lærer også, hvordan man udfører eksperimenter og analyserer resultaterne.

Vi anbefaler, at I tager jer tid til at lege med opstillingerne og at I selv prøver jer frem til at finde løsninger til de stillede opgaver. Af erfaring ved vi, at man opnår både overraskende og interessante resultater, hvis man ikke altid følger bogen, så I opfordres til at stille jeres egne teorier op og afprøve dem. Det er i øvrigt også den mest naturlige måde at forstå fysik på!

Laboratorieplads

Alle arbejdspladser er udstyret med en Microsoft Windows PC, som har officepakken installeret. Da bordpladsen i laboratoriet er begrænset, kan I desværre ikke bruge egne laptops. Bemærk at der er særlige programmer installeret på PC'erne, der kommunikerer med den eksperimentelle opstilling. Bemærk også at denne software kan gemme data i filformater, som måske ikke kan åbnes på jeres computere derhjemme, så vælg det rigtige format når I gemmer data på et medbragt USB-stik.

Sikkerhed

I laboratoriet gælder de almindelige arbejdsmiljøregler, som man skal orientere sig om på instituttets hjemmeside, før man møder op til laboratorieøvelserne: https://www.sdu.dk/da/om_sdu/institutter_centre/fysik_kemi_og_farmaci/arbejdsmiljo.

Alt udstyr er gennemprøvet og lever så vidt som overhovedet muligt op til de gældende sikkerhedsstandarder. Det er den studerendes pligt at gøre personalet opmærksom på eventuelle fejl og mangler ved udstyr, som kan bringe en selv eller andre personer i fare. Ligeledes skal man altid arbejde med omhu og omtanke på en sådan måde, at man ikke udgør en fare for de andre.

Mad- og drikkevarer er ikke tilladt i laboratoriet.

Indhold

1	Introduktion	3
2	Teori	3
2.1	Polarisationsfiltre	4
2.2	Optisk Isomeri og Optisk Rotation	5
2.3	Drejning af planpolariseret lys	6
3	Opgaver	7
3.1	Andengradspolynomium	8
3.2	Rotation af sukker	8
3.3	Specifik rotation fra hældning	8
3.4	Udledning af Malus' lov	9
4	Vejledning til forsøg	9
4.1	Udstyr	9
4.2	Indledende opsætning og indstilling	9
5	To Polarisatorer: Malus' Lov	11
6	Optisk Rotation af Sucrose-opløsninger	12
7	Optisk Rotation af D og L-Carvon	13
8	Hvad har vi lært?	14

1 Introduktion

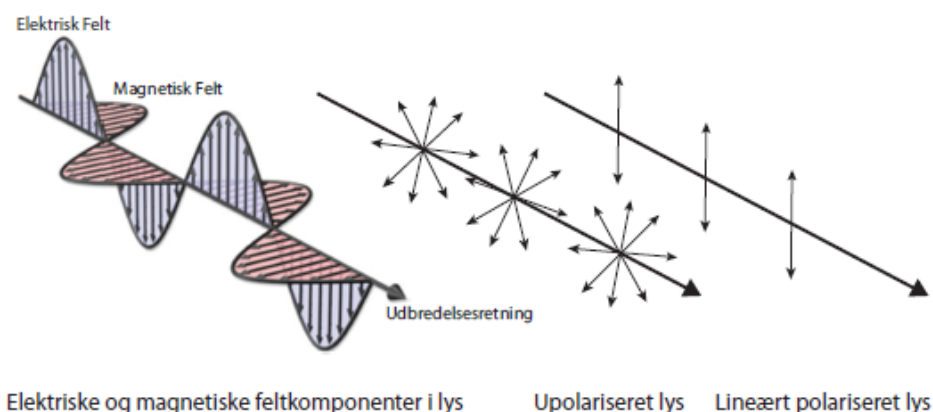
Denne vejledning er udviklet af FysikLab på SDU med henblik på gymnasieelever, som skal beskæftige sig med øvelser i optisk rotation. I både teorien og forsøgene beskrevet her er der taget udgangspunkt i noget af det stof, der bliver undervist i på første-året på fysik samt fysik og teknologi uddannelsen. Den fysik, der er beskrevet i denne øvelsesvejledning, er inden for det felt, der kaldes *klassisk fysik*, og som er en udbygning af det gymnasielle pensum. Vi opfordrer derfor til, at i stiller en masse spørgsmål til de studerende, i møder på universitetet, både til det faglige, men også til studielivet som helhed.

2 Teori

Lys kan beskrives som en bølge sammensat af et svingende elektrisk felt, symboliseret med $\vec{E}$, og et magnetisk felt, symboliseret med $\vec{B}$. Vi kalder den retning lysstrålen sendes i for *udbredelsesretningen*, og der gælder at $\vec{E}$ og $\vec{B}$ svinger vinkelret på udbredelsesretningen. Til det nuværende formål, kan vi nøjes med at kigge på det elektriske felt $\vec{E}$. Vi er interesserede i hvordan dette felt svinger, og i særdeleshed hvilken orientering, det har. Overvej nu en lysstråle som udbreder sig i en retning, og forestil jer at der vinkelret på denne retning, er et elektrisk felt der svinger op og ned, ligesom i figur 1. Orienteringen af dette elektriske felt kaldes for polariseringen af lyset. Det er denne egenskab i skal studere ved at lave nogle forsøg.

Helt almindeligt dagslys, eller lys fra en glødelampe, som oftest gengiver dagslys temmelig godt, har ingen polarisation og kaldes derfor upolariseret lys. Det vil sige at det elektriske felt har en helt tilfældig retning, og man tegner oftest dette som vist på figur 1. Lys, som har en bestemt orientering af det elektriske felt, som f.eks. nogle laserlys, kaldes for polariseret lys, og kan også ses på figur 1¹. Illustrationen viser lineært polariseret lys, også kaldet planpolariseret lys. Planpolariseret lys viser sig særlig nyttigt til, at studere optisk aktive stoffer, som f.eks. sukrose. Optisk aktive stoffer har den egenskab, at de kan dreje planpolariseret lys.

¹Her taler vi kun lineært polariseret lys, da cirkulært og elliptisk polariseret lys ikke er nødvendigt for udførelsen af øvelsen.



Figur 1: Illustration af udbredelsen af en bølge, samt upolariseret og lineært polariseret lys.

2.1 Polarisationsfiltre

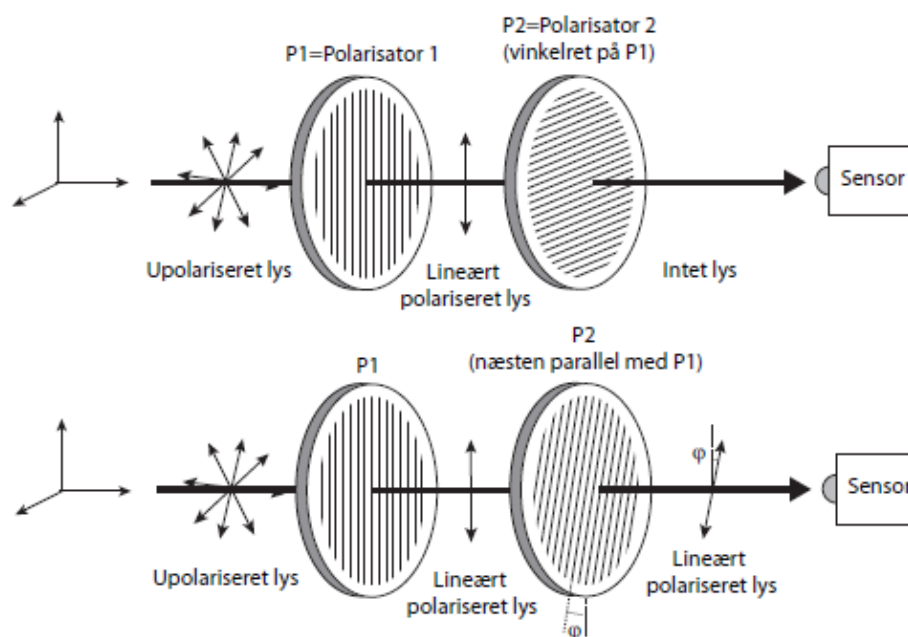
For at danne planpolariseret lys kan der benyttes såkaldte polarisationsfiltre. Et polarisationsfilter er designet således at det kun tillader lys med en bestemt polarisation at passere. Dem i skal benytte tillader passage af lineært polariseret lys. Hvis upolariseret lys rammer et sådan filter vil halvdelen lyset passere, og halvdelen vil blive absorberet. Dette kan ses på intensiteten af lyset som halveres. Hvis lys derimod allerede er planpolariseret, f.eks. fordi det har passeret gennem et polarisationsfilter, så vil endnu et lineært polariseringsfilter kunne slukke helt for lyset. Dette er vist på figur 2. Hvis P2 står roteret så det tillader lineært polariseret lys i samme retning som P1, vil det ikke have nogen betydning for det lys der bliver transmitteret (sendt igennem). Hvis det derimod står vinkelret på, som i øverste situation i figur 2, så vil det slukke helt for lyset, da det ikke vil tillade lys med den polarisation P1 laver, at passere.

I kommer til, at lave dette forsøg, og dermed se, hvad der sker, når P2 roteres med en vinkel ϕ i forhold til P1. Det kan beskrives ved brug af Malus' lov, hvor I er intensiteten af lyset:

$$I \propto \cos^2 \phi \quad (2.1)$$

Tegnet $\propto$ betyder proportional med.

Udledningen af denne ligning er overladt til en opgave, som de interesserede kan give sig i kast med. I finder opgaven i sektion 3.4.



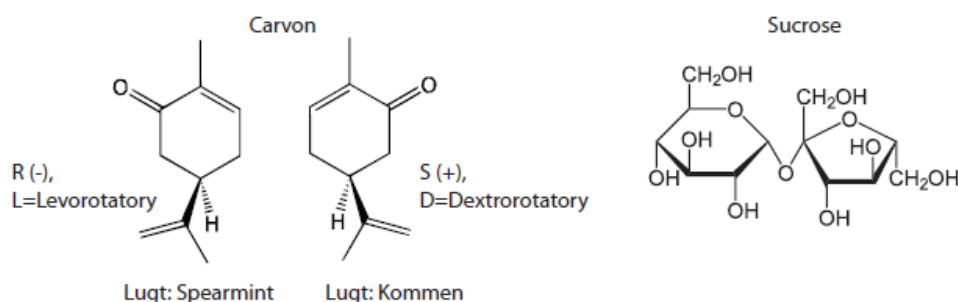
Figur 2: To polarisationsfiltre sat efter hinanden. Det første giver lineært polariseret lys, og det andet kan roteres, og kan f.eks. blokere alt lyset.

2.2 Optisk Isomeri og Optisk Rotation

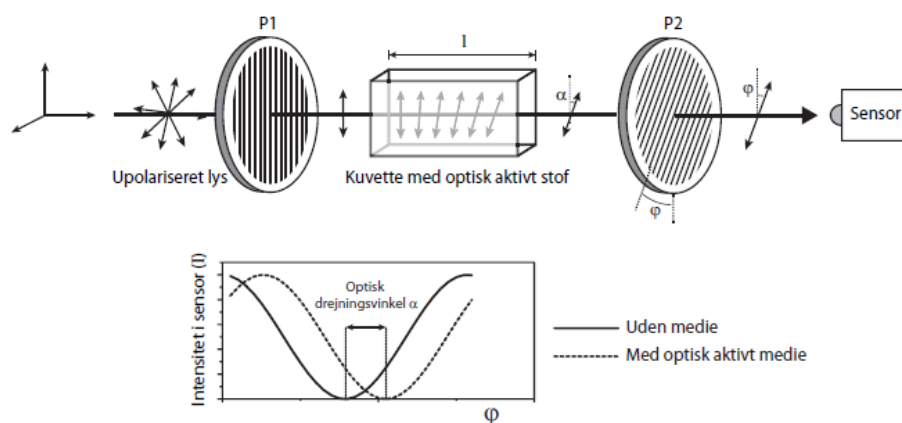
Optisk rotation skyldes at stoffets molekyler ikke er spejlsymmetriske. Fraværet af spejlsymmetri kaldes også optisk isomeri, og betyder at molekylet rumligt er opbygget således at det er forskelligt fra sit eget spejlbillede, på samme måde som venstre og højre hånd er forskellige. (Man kan aldrig få højre og venstre hånd til at passe oven på hinanden). Man kalder denne typer molekyler for *chirale*. De to spejlbilledeformer af et chiralt stof har samme fysiske og kemiske egenskaber, undtagen deres evne til at dreje polarisationsretningen af lineært polariseret lys, og deres reaktionsforhold overfor andre chirale forbindelser. Den ene af de spejlbilledeisomere former drejer polarisationsretningen af planpolariseret lys til venstre, mens den anden form drejer til højre.

Forskellen mellem de to spejlbilleder kan give forskellige biologiske egenskaber; således har carvon, der stammer fra grøn mynte, tydelig mynteduft, hvorimod spejlbilledeisomeren carvon fra kommen, har kommeduft. Skønt de er fysisk og kemisk identiske, reagerer de forskelligt med næsens asymmetriske duftreceptorer.

Optisk isomere forbindelser er særdeles almindelige i naturen og forekommer oftest kun som den ene isomer. Således er levende organismers aminosyrer alle af en bestemt isomer familie, og mange af aminosyrernes spejlbilledeisomere er simpelthen giftige. Tilsvarende er sukkerarter som glucose og sucrose chirale molekyler. Lægemidlet thalidomid, der tid-



Figur 3: De tre molekyler i kommer til at arbejde med. Til venstre, de to forskellige isomere af Carvon. Til højre sucrose i den form vi har i laboratoriet.



Figur 4: Illustration af eksperimentel opstilling. Kuvette med længde l roterer lyset, som set på nederste del af figuren.

ligere blev anvendt som beroligende middel for gravide, gav alvorlige fosterskader. Det er et syntetisk stof bestående af to spejlbilledeisomerer, hvoraf kun den ene isomer var årsag til ulykkerne. Derfor er den stereokemiske opbygning af f.eks. et lægemiddel af afgørende betydning for dets biologiske og derigennem helbredsmæssige effekt.

Traditionelle kemiske synteser skelner ikke mellem de to spejlbilledeisomere former, som derfor typisk dannes i lige store mængder. En opløsning der indeholder lige meget af den højredrejende og vensterdrejende form kaldes en *racemisk* blanding, og vil ikke påvirke lysets polarisationsretning. I naturen fremstilles mange stoffer ved processer der kan skelne mellem de to former. Det er typisk processer der katalyseres af enzymer.

2.3 Drejning af planpolariseret lys

Når man sender lineært polariseret lys gennem et såkaldt *optisk aktivt* medie, observeres det fænomen at polarisationsretningen drejer. I øvelsesopstillingen (se figur 6) kan vi observere fænomenet på følgende måde:

Hvis vi udfører en rotation af $P2$, og samtidig måler lysintensiteten I , vil vi finde en periodisk variation af intensiteten som angivet i ligning (2.1).

Hvis der ikke er noget optisk aktivt medie mellem polarisatorerne ($P1$ og $P2$) vil der optræde et minimum i intensiteten, når vinklen mellem polarisatorerne er 90 grader. Anbringes et optisk aktivt medie, som eksempelvis en sukkeropløsning, mellem polarisatorerne, vil dette minimum flytte til en anden vinkel end 90 grader. Det forklares ved at sukkeropløsningen drejer lysets polarisationsretning. Drejningsvinklen α afhænger af sukkeropløsningens koncentration c og lysets vejlængde l gennem væsken. Desuden afhænger α af det opløste stof, da forskellige optisk aktive stoffer har forskellig evne til at dreje lysets polarisation. Der gælder følgende relation:

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot c \quad (2.2)$$

Her er:

α = Den *målte* optiske rotation.

$[\alpha]$ = Stoffets *specifikke* rotation. Denne størrelse er karakteristisk for *stoffet*.

l = Lysets vejlængde i det optisk aktive medie. **Bemærk:** l måles i decimeter!

c = Opløsningens koncentration målt i g per ml opløsning (g/ml).

3 Opgaver

Følgende opgaver er lavet for at sikre, at i har en grundlæggende forståelse af, hvad i skal lave i laboratoriet, så i får mest muligt ud af tiden.

Det anbefales, at i laver opgaverne på papir, da vi som fysikere oftest arbejder sådan. Vi laver analytiske udregninger (løsning af ligninger med symboler) og tegner skitser over de systemer, vi arbejder med. Det er derfor en god øvelse at kunne tegne nogle ganske simple grafer i hånden og navngive dem, så i ved hvad, der er hvad.

Hint: Benyt farver, stiplede linjer, osv. for let at kende forskel.

3.1 Andengradspolynomium

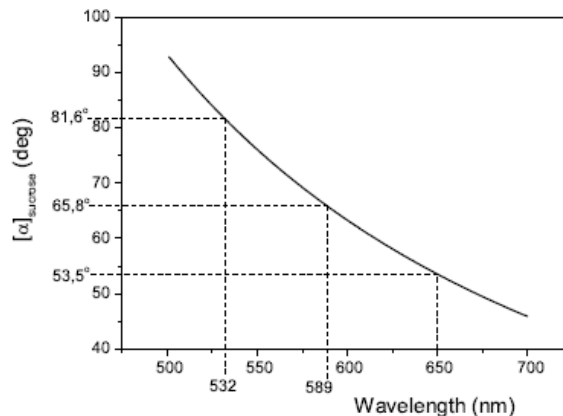
I øvelsen skal i bestemme minimumsposition af en svingning ved at fitte et andengradspolynomium til et udsnit af jeres data. Dette kan gøres fordi i indirekte gør brug af et kompliceret men yderst brugt matematisk koncept kaldet taylor-polynomier.

Beregn x_{min} (svarende til x -værdien der giver en minimum værdi af y) givet at $y = Ax^2 + Bx + C$.

3.2 Rotation af sukker

I denne opgave skal de teoretiske værdier for rotation, α , af sukker beregnes. Der forekommer en laser med bølgelængder på henholdsvis $\lambda_g = 532$ nm og $\lambda_r = 650$ nm i laboratoriet, og i skal beregne teoretiske værdier for dem begge. Aflæs på nedenstående graf på figur 5 den specifikke rotation $[\alpha]$, og benyt at beholderen til sukker er $l = 1,5$ dm lang.

Koncentrationen af sukker antager følgende værdier i eksperimentet: $0,48g/ml$, $0,36g/ml$, $0,24g/ml$, $0,12g/ml$, $0,048g/ml$.



Figur 5: Den specifikke rotation for sucrose som funktion af bølgelængde.

3.3 Specifik rotation fra hældning

Omskriv ligning (2.2) til et udtryk hvor i kan finde den specifikke rotation, $[\alpha]$, når koncentrationen plottes på x-aksen, og rotationen på y-aksen, samt at længden af beholderen kendes.

3.4 Udledning af Malus' lov

Denne opgave er sværere end de andre. For at løse den skal I vide at intensiteten af lys er givet som $I \propto E^2$.

Vis ved at projicere det elektriske felt på den optiske akse at Malus' lov fremkommer. Find desuden proportionalitetskonstanten:

$$I \propto \cos^2 \phi \quad (3.1)$$

4 Vejledning til forsøg

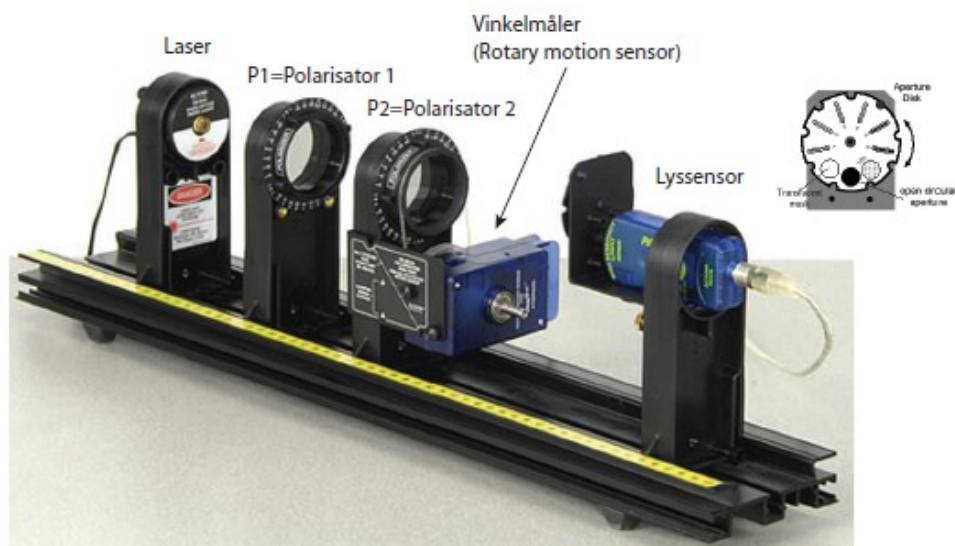
4.1 Udstyr

Alt udstyr er fra firmaet Pasco:

- Optisk Skinne
- Diodelaser (rød $\lambda = 650$ nm eller grøn $\lambda = 532$ nm)
- Polarisator 1 i holder. Pol-filteret kan drejes i holderen
- Polarisator 2 i holder. Pol-filteret kan drejes i holderen. Pol-filteret er koblet til digital vinkelmåler.
- Lys-sensor i holder.
- 2 stk Pasport USB interface til computer
- Computer med programmet Capstone
- Til forsøg med væsker desuden en væskecelle samt sukkeropløsninger mv.

4.2 Indledende opsætning og indstilling

1. Tilslut lys-sensor og vinkelmåler til computeren gennem PASPORT USB-interface. På siden af lysmåleren indstilles følsomheden til 'Sun' (0-10000). Sensoren er forsynet med forskellige blænder. Vælg 'open circular aperture'.
2. Tilslut og tænd diodelaseren. I kan selv vælge om I vil benytte den røde eller grønne laser, men husk hvad I vælger, da resultaterne afhænger af bølglængden.
3. Tænd computeren og start programmet Capstone (Pasco).
4. Fjern P2 (komponenterne kan løftes ud af skinnen). Ved at stille på skruerne på bagsiden af laseren, sørges for, at lysstrålen rammer sensoren.



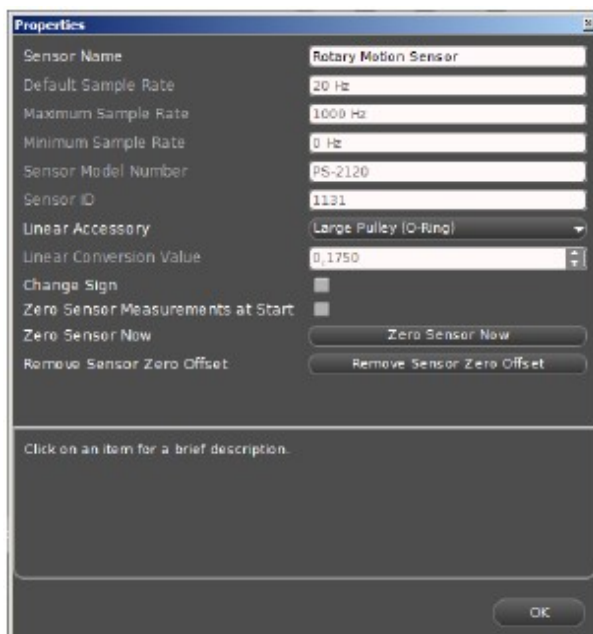
Figur 6: *Det experimentelle setup, som i vil møde i laboratoriet.*

5. Kontroller at computeren registrerer lyset og reagerer på ændringer. Prøv at lege lidt med systemet for at få en ide om, hvordan det reagerer. I kan se Jeres data ved at oprette en visnings-side (Page). Der er mulighed for at vælge forskellige visningsformater som f.eks. Graph eller Digits. Der er forskellige muligheder for at optage data:
 - Fast Monitor Mode: Viser data uden at gemme. Perfekt til indledende opsætning hvor vi skal overvåge intensiteter uden at gemme.
 - Keep Mode: Gemmer kun data når det trykkes på knappen 'Keep Sample'. Relevant i de fleste af eksperimenterne i denne øvelse da vi er interesseret i manuelle målinger hver gang vi har ændret vinklen af P2.
 - Continous Mode: Her måler systemet med en fast frekvens.
6. Anvend til de første justeringer 'Monitor Data' og drej P1 til lysintensiteten er maximal. (Husk at laserlyset jo er polariseret). I kan med fordel finjustere strålens retning på bagsiden af laseren for at maksimere intensiteten i sensoren.
7. Monter igen P2.
8. Drej P2 til lysintensiteten igen er maximal. Nu er P1 og P2 ensrettede, og det egentlige forsøg kan begynde.

5 To Polarisatorer: Malus' Lov

Her vil vi undersøge kombinationen af to polarisatorer uden en væskecelle mellem dem. Start målingerne i Capstone. Du skal nu skifte til 'Keep Mode' som beskrevet ovenfor og vist i figuren herunder. Vinklerne måles i radianer.

Det er desuden vigtigt, at vinkelmålingen **ikke** nulstilles mellem hvert nyt datasæt. For at sikre dette vælger I 'Hardware Setup - Properties' og tjekker, at boksen 'Zero Sensor Measurement at Start' ikke er valgt. (se figur 7): Det vil være relevant at se resultaterne i



Figur 7: I dette vindue kan I sikre jer at Zero sensor measurements at start **ikke** er aktiv

en (vinkel, lysintensitet)-graf. Hvis grafen viser noget andet, klik da på aksens tekst (Der kan f.eks. stå 'Time (s)') og vælg 'Angular Position'.

Fremgangsmåde:

1. Start målingen ved at trykke 'Preview'.
2. Drej P2 og optag datapunkter ved at trykke på knappen 'Keep Sample'.
3. Gentag målingerne indtil der er registreret mindst én periode og mindst et tydeligt minimum. Der er ingen grund til at optage mere end 2 perioder.
4. I stedet for 'Keep mode' kan eventuelt benyttes 'Continuous sampling' med en sample frekvens på 5-10 Hz.

Hvad kan I konkludere ud fra denne måling? Hvor lang er en periode (vinkel) for svingninger i lysintensiteten?

6 Optisk Rotation af Sucrose-opløsninger

Ud over det udstyr, der tidligere er benyttet, skal i bruge:

- Væskecelle på holder. Cellen er af acrylplast med et hul i toppen til at påfylde væske. Cellen skal placeres mellem de to polarisatorer på to holdere med justerbare arme. Sørg for at armene justeres således, at laserstrålen passerer nogenlunde gennem midten af cellen.
- Opløsninger af sucrose, dvs. almindeligt sukker i ren form. For eksempel med følgende koncentrationer: 0,48 g/ml, 0,36 g/ml, 0,24 g/ml, 0,12 g/ml, 0,048 g/ml.

Fremgangsmåde for måling:

1. Anbring en tom væskecelle mellem P1 og P2.
2. Indstil P2 så lysintensiteten er maximal.
3. Lav målinger som i forsøget med 2 polarisatorer.
4. Målingerne skal mindst strække sig over en periode, så I får et tydeligt minimum frem.
5. Efter måling på den tomme celle: tryk stop og undlad at dreje på P2 (vigtigt!).
6. Der hældes nu en sukkeropløsning i væskecellen. Start med den svageste sukkerkoncentration.
7. Start målingerne igen (ny måleserie), idet I nu drejer den modsatte vej, tilbage til udgangspunktet. I skulle nu gerne se, at minimum i lysintensitet optræder ved en anden vinkel end for den tomme celle.
8. Stop måleserien. Gem datafilen under et passende navn.
9. Skyl væskecellen med rent vand og gentag ovenstående med en anden koncentration af sukkeropløsning. Husk at gemme filerne med forskellige navne ('Save Experiment As'). I kan med fordel vælge at gemme alle målinger på forskellige sukkeropløsninger i den samme fil og sammenligne dem alle med den første måling på en tom celle.

Efter måleserien er færdiggjort, skal de optiske rotationer for opløsningerne bestemmes. I kan gøre dette ved at benytte knappen: 'Apply selected curve fits to active data' i graph-vinduet. Udfør fit til et andengradspolynomium i omegnen af et minimum ved at vælge dataområdet med musen og funktionen 'Highlight range of points in active data'. Benyt koeficienterne i de fittede andengradspolynomier til at bestemme den nøjagtige position af hvert minimum ($y = Ax^2 + Bx + C \Rightarrow x_{min} = ?$). Beregn herudfra den optiske

rotation (i grader) relativ til den tomme celle. Til dataanalysen kan det være praktisk at oprette et excel ark hvor alle koefficienter (A,B,C) og koncentrationer er angivet, og den resulterende optiske rotation bliver beregnet for hver koncentration. Til slut plottes nu koncentrationen (g/ml) på x-aksen og optisk rotation α på y-aksen. Fra hældningen af den rette linie kan I nu bestemme den specifikke rotation $[\alpha]$ for sucrose ved den benyttede bølglængde, jvnf. (2.2).

Sammenlign jeres målte specifikke rotation med det forventede tabelværdi (Beregnet i opgave 3.2). Husk at den specifikke optiske rotation afhænger af bølglængden af lyset.

7 Optisk Rotation af D og L-Carvon

Vi skal her undersøge det chirale molekyle carvon. Carvon i ren form er ved stuetemperatur en gullig væske. I laboratoriet findes to væskeceller af glas, som indeholder henholdsvis D og L-formen af carvon. Cellerne er lukkede med tætsluttende skruelåg pga. den kraftige lugt af stofferne. **Pas på glas-cellerne da de er kostbare! Undlad at skrue låget af de optiske celler!**

Undersøg først om I kan skelne mellem lugten af de to spejlisomere former af carvon. Dette gøres ved lugte til opløsningerne i nogle små glas med carvon-prøver, som findes i laboratoriet. Undlad at åbne begge glas samtidig, da lugtene så blandes. **Undlad også at sætte næsen helt hen til glassets åbning, da lugten er ret kraftig.** I stedet kan lidt af duften viftes ud med hånden. Derefter lukkes det første glas, og I kan lugte til det andet på samme måde.

Kan I skelne mellem lugtene (ikke alle mennesker kan registrere en forskel)? Hvad siger dette om lugtreceptorerne i næsen? Forklar om I ud fra forsøget vil forvente en forskel i virkningen af de to spejlbilledformer af et lægemiddel.

For at måle den optiske rotation af carvon anbringes den ene af cellerne i holderen mellem polarisatorerne som før. Det er sikkert nødvendigt at justere armene på holderen, så laserstrålen går gennem midten af cellen. Pas på cellen ikke falder ned. Nu måles den optiske rotation af carvon på samme måde som beskrevet for sucrose i afsnit 6. Bestem α ved at fitte til andengradspolynomier som før. Til sidst måles den optiske drejning af den anden carvon-isomer på samme måde.

Sammenlign rotationen for de to optiske isomerer af carvon. Hvad er forskellen, og stemmer observationen med, hvad I forventede? Bestem endelig den specifikke rotation $[\alpha]$ for D og L-carvon. Bemærk at for et rent stof (i modsætning til en opløsning) erstattes

koncentrationen i ligning (2.2) med densiteten af stoffet målt i g/ml ($\rho_{carvon} = 0,96\text{g/ml}$):

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot \rho \quad (7.1)$$

8 Hvad har vi lært?

Efter endt gennemgang af teori, forsøg samt databehandling, skulle i gerne kunne svare på følgende spørgsmål:

- Hvorfor det er vigtigt at skelne mellem de forskellige isomere i forbindelse med lægemidler.
- Hvilke komponenter skal vi benytte for at foretage målingerne, og hvad er deres respektive effekt?
- Hvordan drejer to spejlisomere lyset? Er der en symmetri?