



Optiske målinger

I dette eksperiment skal du måle optiske egenskaber af forskellige objekter med størst mulig nøjagtighed ved hjælp af det udliveredede udstyr.

Bemærk, at der under bordet befinder sig to store vandflasker. De skal benyttes i det andet eksperiment, så **du må ikke drikke vandet fra disse flasker.**

I del A skal du benytte to forskellige metoder til at måle brydningsindeks af en gennemsigtig skive. Den første metode er traditionel, mens den anden metode er original og har større nøjagtighed.

I del B skal du måle forholdet mellem laserens bølgelængde λ og gitterkonstanten d for et diffraktionsgitter med det formål at opnå højest mulig grad af nøjagtighed.

I del C skal du måle brydningsindeks for et ligesidet glasprisme, og igen forsøge at opnå højest mulig nøjagtighed.

For at udføre eksperimenterne vil eksamenslokalet være mørkelagt i 100 minutter, startende 20 minutter efter prøvens begyndelse (du kan benytte din bordlampe når nødvendigt). Det er mest hensigtsmæssigt at udføre målingerne hørende til del A i mørke, men det er dog stadig muligt at udføre de fleste af målingerne selv om der er lys i eksamenslokalet.

Du kan benytte væggene i dit arbejdsområde som en skærm og anvende tape på væggene.

I forsøgene her skal du benytte en laserdiode som lyskilde.

Sikkerhedsinstruktioner:

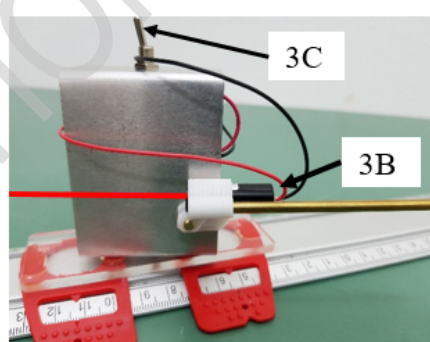
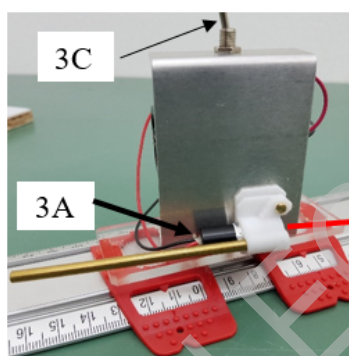
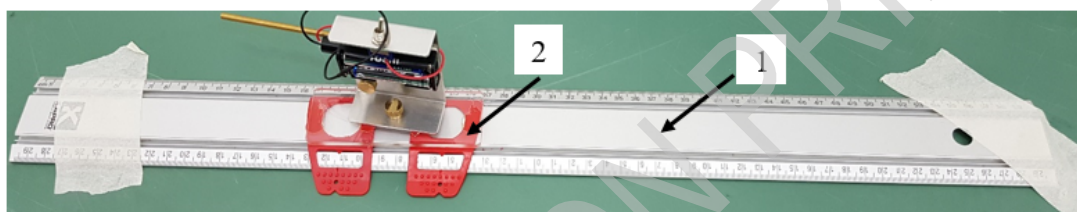
- **SE ALDRIG direkte ind i laserstrålen!**
- I alle forsøg skal laserstrålen være vandret. Når du skal måle laserstrålen på en flade skal du **sikre dig, at dit hoved ALTID er over strålens niveau.**
- Ret ikke strålen mod den åbne ende af dit arbejdsområde.
- Sluk laseren på afbryderknappen, når du ikke laver målinger.

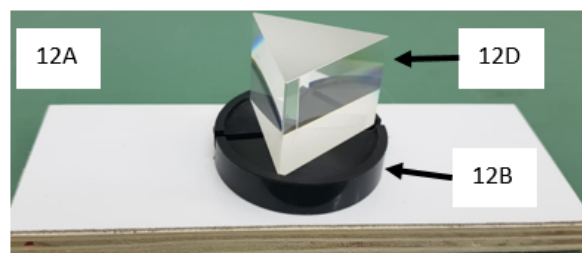
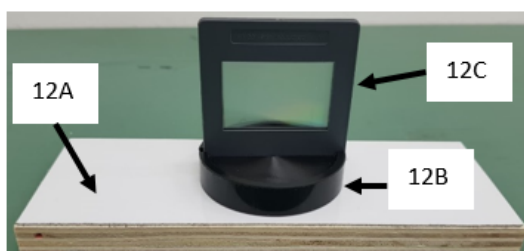
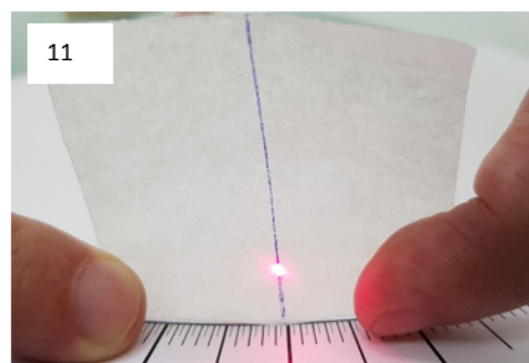
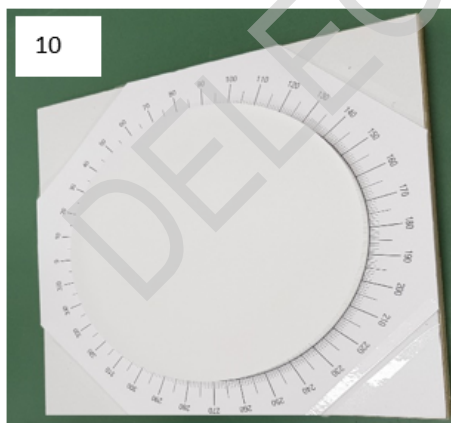
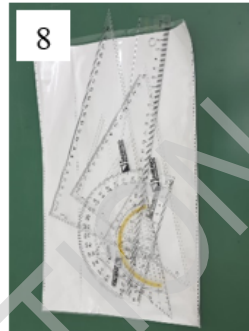
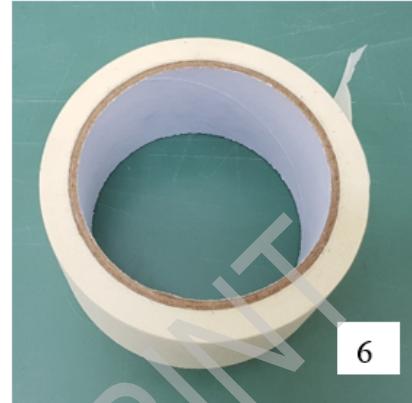
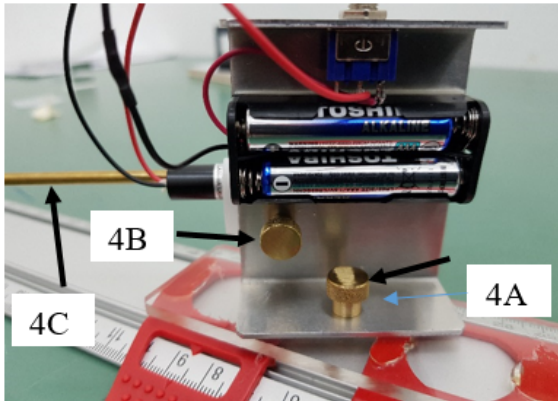
Eksperimentelt udstyr

Det eksperimentelle udstyr nr 1-9 benyttes i alle deleksperimenter, og det eksperimentelle udstyr nr 10-12 benyttes i nogle af deleksperimenterne. Bemærk, at du har flere optiske komponenter til rådighed - for at undgå tilsmudsning skal du sørge for ikke at berøre ved disse komponenters optiske sider.

1. Lang skinne/lineal (60 cm lang)
2. Skyder/glider monteret på på linealen (til parallelforskydning af en laserstråle).
3. Laser til montering på skyderen. Laseren kan drejes i vandret plan samt i lodret plan. to forskellige højder: Laseren kan sættes lav højde 3A for delforsøg A og stor højde 3B for delforsøg B og C. Tænd/sluk-knappen for laseren er vist som 3C.
4. Opstillingen er stabil, når skruerne 4A og 4B er strammet. Efter behov kan de løsnes, når laseren skal drejes. Når den lille metalpind 4C drejes 180 grader ændres højden af laseren. Med skyderen på linealen kan man parallelforskyde laserstrålen. Du må ikke dreje selve laseren omkring stråleaksen, da strålens polarisation på forhånd er finindstillet til maksimal refleksion.
5. Skærm: Benyt arbejdsområdets vægge.
6. En rulle tape, som kan benyttes til at fastgøre udstyr til bordet.
7. Målebånd.
8. En udvalg af linealer.

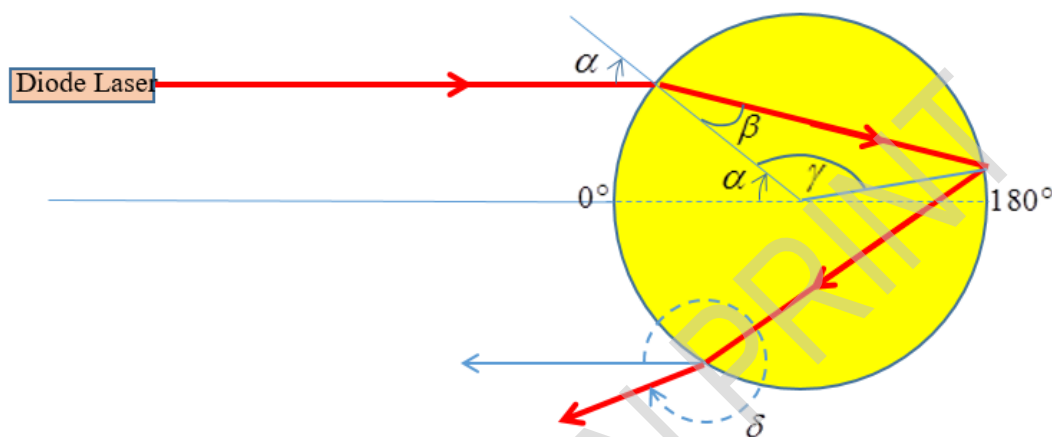
9. Bordlampe.
10. Cirkulær, gennemsigtig skive med diameter 20.00 cm, fastgjort til en vinkelmåler, der er limet fast på en træplade (benyttes i del A). Du skal fjerne de fire små træklodser, som sidder på træpladen.
11. Pergamentpapir, som ved kontakt med skivens kant kan benyttes som halvgennemsigtig skærm, der midlertidigt kan holdes (med hånden) ved kanten af skiven. Dette muliggør måling af det punkt, hvor strålen kommer ud fra skiven uden at tilsmudse kanten af skiven (i del A). Tegn en lodret streg så du nemt kan aflæse vinklen (som vist på billedet). Desuden kan du vurdere vinkeludtværingen, som skyldes den oprindelige stråles "tykkelse".
12. Et træplade (12A) med en cylinderformet holder (12B), der kan roteres om sin lodrette akse. Her kan diffraktionsgitteret (12C) og senere det trekantede glasprisme (12D) monteres.





Del A: Brydningsindeks for en skive (5.5 point)

I denne del skal du måle brydningsindeks for en gennemsigtig skive ved at observere strålegangen af laserlyset, når det brydes i og reflekteres inden i skiven.



En skitse af forsøget

Definitioner og symboler:

α	Indfaldsvinklen mellem skiven og den indkommende laserstråle
$2\Delta\alpha$	Vinkeludtværingen af indfaldsvinklen, dvs. størrelsen af udværingen af indfaldsvinklen α som følge af strålens tykkelse
β	Brydningsvinklen inden i skiven.
γ	$= 180^\circ - 2\beta$
n	Brydningsindeks for det materiale som skiven er lavet af
N	Det antal gange, som en stråle rammer skivens kant for derefter forlade skiven gennem luften (på tegningen er $N = 3$)
δ	Vinklen mellem en vektor modsat rettet den indkommende stråle og en vektor i retning af en stråle der forlader skiven, målt med uret (skitsen viser vinklen δ for tilfældet $N = 3$)
$2\Delta\delta$	Vinkelspredningen af den udgående stråle ved vinklen δ

Man kan vise, at α , β og δ opfylder følgende ligning:

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta). \quad (1)$$

Du behøver ikke at udlede ovenstående ligning, men kan blot benytte den.

Fastgør med tape den lange lineal/skinne på bordet. Start med at få laserstrålen til at være som den blå linje på figuren, dvs. fortsætte som en diameter gennem skiven. For at kunne kontrollere indfaldsvinklen, parallelforskyder du laseren. Fastgør derefter med tape træpladens hjørner til bordet. Justér strålen til vandret retning gennem skiven vha. metalpinden 4C.

Laseren kan indstilles i to forskellige højder: Den lave højde benyttes i delforsøg A og den store højde benyttes i delforsøg B og delforsøg C.



Laseren er indstillet på forhånd, så den indkommende stråle er S-polariseret (en polarisering, hvor refleksionen er størst). Du skal derfor *ikke* ændre polarisationen af laserstrålen, og derfor **ikke rotere laserens omkring sin strålingsakse!**

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | Tegn en skitse af din opstilling, som viser parallelforskydningsskinnen med glideren, skiven og hele strålegangen af strålen fra laseren. Indtegn indfaldsvinklen α .
Udfør en længere række målinger for indfaldsvinkler i intervallet $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$, og indskriv α , $\Delta\alpha$, δ , $\Delta\delta$ i tabel 1. | 1.0pt |
|------------|---|-------|

- | | | |
|------------|--|-------|
| A.2 | Benyt målingerne fra den foregående delopgave til at tegne et passende graf, fra hvilken du kan bestemme brydningsindeks n og usikkerheden Δn . Har du brug for at beregne yderligere størrelser, benyt da de tomme kolonner i tabel 1. Bestem n og Δn . | 1.0pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.3 | For målingerne udført i A1 skal du tegne grafen af δ som funktion af α . Markér ved usikkerhedsfaner ved hvert målepunkt usikkerheden $\Delta\delta$ og $\Delta\alpha$. Udfør yderligere målinger til præcis bestemmelse af den mindste værdi for δ og den tilhørende værdi af α . Betegn disse værdier med δ_{\min} og α_{\min} .
For at kunne identificere minimumspunktet med størst nøjagtighed, kan du benytte arbejdsområdets vægge som en skærm for de udgående stråler. | 0.5pt |
|------------|---|-------|

En anden metode til at måle brydningsindeks

Du skal her udvikle en alternativ metode til at opnå præcise resultater. I dette delspørgsmål skal du **ikke udføre usikkerhedsberegninger**, selv om du skal forsøge at opnå størst mulig nøjagtighed. Du skal dog forklare de ligninger og udregninger, som du benytter. Skriv ligningerne i svararket.

- | | | |
|------------|--|-------|
| A.4 | Baseret på den graf du fandt i A3 skal du finde på en metode til at måle brydningsindeks ud fra en bestemt foretrukket indfaldsvinkel. Skriv ligningen som kan benyttes ned. | 0.7pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.5 | For $N = 3$ skal du udføre de nødvendige målinger for at kunne beregne brydningsindeks med høj nøjagtighed ved at bruge din metode fra A4. <ul style="list-style-type: none"> Tegn en skitse af skiven og strålegangen, og angiv på skitsen de størrelser du har målt. Dokumentér de målinger, du har udført. Udfør en beregning baseret på målingerne til bestemmelse af brydningsindeks n for skiven (ved den højest mulige nøjagtighed). Du kan benytte vedlagte ekstra grafark om nødvendigt. | 0.8pt |
|------------|---|-------|

- A.6** Gentag dit forsøg fra foregående del, men nu for $N = 4$ og $N = 5$ (her behøver du ikke tegne en skitse af systemet og strålegangen). 1.5pt
- Dokumentér de målinger, som du har udført for $N = 4$.
 - Udfør en beregning baseret på målingerne til bestemmelse af brydningsindeks n (ved højest mulig nøjagtighed).
 - Dokumentér de målinger, som du har udført for $N = 5$.
 - Udfør en beregning baseret på målingerne til bestemmelse af brydningsindeks n (ved højest mulig nøjagtighed).
 - Beregn middelværdien $\langle n \rangle$ for brydningsindeks ud fra dine resultater fra målingerne for $N = 3$, $N = 4$ og $N = 5$.

Del B: Parametre for et gitter (2.5 point)

I denne del skal du ikke foretage usikkerhedsberegninger.

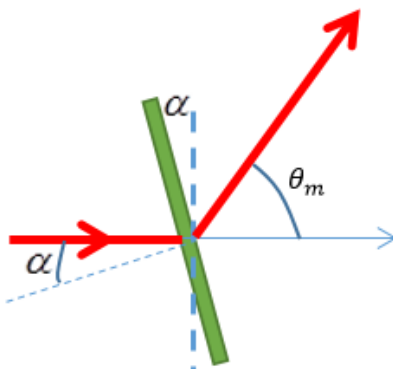
I denne del skal forholdet λ/d bestemmes. Her er λ laserens bølgelængde, og d er gitterkonstanten (afstanden mellem midtpunkterne for to af gitterets nabospalter).

Når en laserstråle passerer et gitter, vil vinklen θ_m mellem retningen af den indgående stråle og retningen (for maksimal intensitet) af orden m være givet ved:

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

hvor

m	ordenen
α	vinklen mellem den indkommende stråle og gitternormalen
θ_m	vinklen mellem den indkommende stråles og strålen af orden m
d	gitterkonstanten - afstanden mellem midtpunkterne for to af gitterets nabospalter



For store værdier af diffraktionsordenen m fås større bølgelængdeopløsning. Således vil præcise målinger

med høj orden give mindre relativ usikkerhed for λ/d .

Ved at løsne skruen 4B og dreje laseren 180 grader i lodret plan opnår man stillingen i 3B (pas på ledninger), hvor højden nu er ændret. Nu kan man foretage eksperimenterne i del B og del C. Med stangen 4C finjusteres laseren så strålen er vandret til målinger med gitteret. Indstil laseren så den rammer skærmen (væggen) vinkelret. Placer gitteret i holderen 12B. Gitteret skal orienteres så mærkatet på gitteret er øverst og vender lod laseren. Ethvert gitter har et ID-nummer. Gitterets ID-nummer står på mærkatet. **Notér gitterets ID-nummer i boksen i svararket.**

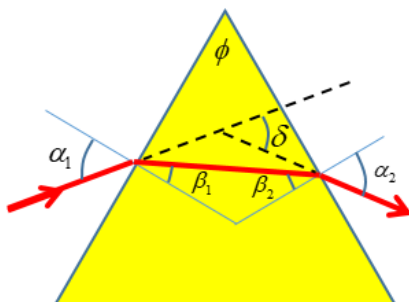
I resten af del B kan du måske benytte en fremgangsmåde som ligner en fra sidste halvdel af del A.

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.1 | <ul style="list-style-type: none"> Tegn i svararket en skitse af opstillingen, som viser placeringen af laseren, gitteret, laserstrålen, pletterne på skærmen samt de målte størrelser. Udfør målinger for $m = 1$. Notér dine målinger og find herfra forholdet λ/d. Udfør målinger for $m = 2$. Notér dine målinger og find herfra forholdet λ/d. | 0.7pt |
|------------|--|-------|

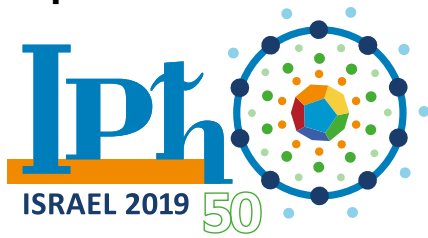
- | | | |
|------------|--|-------|
| B.2 | Bestemmelse af forholdet λ/d ved brug af højere orden ($m > 2$). <ul style="list-style-type: none"> Tegn to skitser i svararket for henholdsvis $m = 3$ og $m = 4$. Tegn i svararket en skitse af opstillingen, som viser placeringen af laseren, gitteret, laserstrålen, pletterne på skærmen samt de målte størrelser. Udfør målinger for ordnerne $m = 3$ og $m = 4$. Notér dine målte værdier. For hvert m skal du bestemme forholdet λ/d. | 1.8pt |
|------------|--|-------|

Del C: Brydningsindeks for glasset i et trekantet prisme (2.0 point)

I denne del anvendes et ligesidet, trekantet prisme af glas med et højt brydningsindeks med plane, højpolerede sider. Vinklen mellem siderne kan afvige lidt fra 60° , men ikke mere end 0.7° . Formålet med denne del er at bestemme glassets brydningsindeks. For at korrigere for små afvigelser fra 60° , kan man benytte tilnærmelserne $\sin x \approx x$ og $\cos x \approx 1$ når x er lille og er målt i radianer. **I denne del kræves usikkerhedsberegninger.** Figuren viser eksempler på strålegangen for en stråle som trænger ind i prismet gennem én side og forlader det gennem en anden side.



Anbring lineal med skyder et passende sted, så laserens placering giver mulighed for at opnå størst mulige nøjagtighed.



Anbring prismet i holderen 12B.

C.1 I det symmetriske tilfælde, $\alpha_1 = \alpha_2$, (prismets hovedstilling) gælder den følgende ligning for et ligesidet prisme: $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$. 0.4pt

- Find en metode, som tillader at finde brydningsindekset med størst mulig nøjagtighed.
- Angiv i svararket de formler, du anvender til at bestemme brydningsindekset.

C.2 1.6pt

- Angiv i svararket de størrelser, du har målt med værdier inklusive usikkerheder.
- Beregn glassets brydningsindeks for den anvendte laserbølgelængde samt usikkerheden.