

# Lysets fysik - Optiske fibre

## P0-projekt



Forsidebillede: En oplyst plexiglasleder hvorpå gruppens navn er skrevet<sup>[1]</sup>

**Titel: Optiske fibre**

**Tema: Lysets fysik**

**Projektperiode: 01/09-18/09 2015**

**Projektgruppe: A415b**

**Synopsis:**



**AALBORG UNIVERSITET**  
STUDENTERRAPPORT

Første Studieår  
Fysik  
Strandvejen 12-14  
9000 Aalborg  
<http://fnb.aau.dk>

Denne rapport omhandler optiske fibre og hvordan lyset opfører sig heri. Bagerst i rapporten kan der findes en litteraturliste over det materiale, som er blevet anvendt til fremstillingen af rapporten. Der vil gennem rapporten løbende være referencer til denne litteraturliste. Billedet Litteraturen har også sin egen liste med henvisninger bagerst i rapporten. Til denne rapport er der blevet lavet 2 forsøg. I rapportens praktiske del findes opstilling, apparaturliste og udførsel først for forsøg, derefter opstilling, apparaturliste og udførsel for andet forsøg og til sidst databehandling for begge forsøg.

**Deltagere:**

**Aleksander Bach Lorentzen  
Marcus Kassow Rasmussen  
Niels Tobias Svendsen  
Rasmus Ole Ertmann**

**Vejledere:  
Mads Brincker**

**Oplagstal:  
Sideantal: 18  
Bilagsantal og -art: 0  
Afsluttet den. 18/09-2015**

*Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.*

Indledning

Formål

Teori

Lys

Brydningsindeks

Brydningsindeks - dispersion

Snells lov

Total indre refleksion.

Optiske fibre

Praktisk brug

Opstilling

Apparaturliste

Udførelse/Metode

Måledata

Resultatbehandling

Beregning af total indre refleksion i plexiglaslederen

Diskussion

Måleusikkerhed

Konklusion

Litteraturliste

# Indledning

I denne rapport er der fokus på lysets fysik og nærmere optiske fibre. Optiske fibre anvendes f.eks til at transportere data ved hjælp af lys. Det vil sige at optiske fibre faktisk anvendes som en leder af lys. Rapporten vil derfor omhandle måden lyset brydes i overfladen af et optisk fiber, hvordan et optisk fiber er lavet, hvordan det fungerer og hvilke fysiske love der spiller ind.

Det vil derfor være kigget meget på lys og lysets bevægelse gennem materiale og hvordan lyset reflekteres sig i materialet. Der vil også være forklaret, hvorfor lyset bevæger sig på denne måde.

Derudover vil rapporten også vise, at der også er blevet foretaget nogle forsøg, som viser hvordan lyset reflekteres ud fra forskellig vinkler og med forskellige bølgelængder. Der vil også være vist hvordan sådanne data behandles og hvilke fysiske love der er gældende for forsøget.

## Formål

- Hvordan kan brydningsindekset for plexiglas bestemmes, med Snells lov (som det optiske fiber er lavet af) når der sendes lys gennem det optiske fiber?
- Hvilken indfaldsvinkel skal lys have for at opnår total indre refleksion i cylinderglasset?
- Kan der ud fra det optiske fiber bestemmes en ændring i brydningsindekset ved forskellige bølgelængder.

## Teori

### Lys

Lys bliver i nutidens samfund brugt til mange ting. En af dem er at sende information, eksempelvis i optiske fibre. Men at kunne sende information effektivt gennem en optisk fiber, kræver at man ved, hvordan lys opfører sig. Gennem tiden er der blevet lavet mange eksperimenter med lys og det er blandt andet blevet konkluderet, at lys bevæger sig fra et punkt til et andet ved at tage den vej, der tager den mindste tid. Dette kaldes Fermats princip og herfra, som det senere vil blive vist, følger Snells lov, hvilken siger noget om lys' opførsel i blandt andet optiske fibre.<sup>1</sup>

## Brydningsindeks

Brydningsindekset for et materiale er defineret til at være lysets hastighed divideret i hastigheden, hvormed lys bevæger sig i det givne materiale:

$$n = \frac{c}{v}$$

Brydningsindekset indgår i Snells lov og forskellige brydningsindeks er skyld i, at der er forskellig indgangs- og udgangs-vinkler, når lys bevæger sig fra et materiale til et andet.<sup>[2]</sup>

## Brydningsindeks - dispersion

Brydningsindekset af et materiale kan beregnes på flere måder, men hvad er det egentlig der gør at lyset ændre den retning den rejser med når det bevæger sig fra et materiale til et andet. Det der sker når lys går fra vakuum til et materiale som f.eks. glas er at lysets gennemsnitshastighed vil falde fra  $3 * 10^8$  m/s til  $2 * 10^8$  m/s. Dette skyldes at men lyset bevæger sig gennem glasset vil det ramme et elektron som er bundet til et atom, atomet absorbere derefter lyset, hvilket får elektronen til at oscillere. Dette får elektronen til at fungere som en antenne som retter lyset mod et andet atom. Det der gør at lyset bevæger sig langsommere inde i glasset er altså den tid det tager for atomerne at absorbere lyset og sende det videre. Da hele lyset ikke rammer glasset på samme tid vil noget af lyset få sænket sin fart før resten af lyset, hvilket gør at lyset ikke vil bevæge sig med en anden vinkel inde i glasset end indgangsvinklen.<sup>[2]</sup>

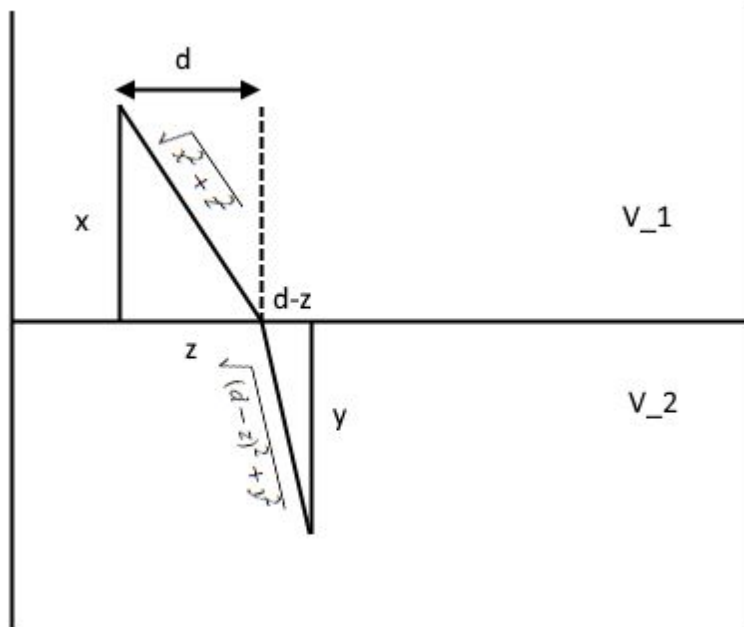
## Snells lov

Snells lov er en konsekvens af fermats princip, hvilket siger at lys bevæger sig fra et punkt til et andet, ved at tage den vej, som minimerer tiden, det tager for lyset, at komme fra det ene sted til det andet sted.

Snells lov siger, at

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

På tegningen bevæger lys sig fra et punkt til et andet, gennem to forskellige medier, hvor lyset bevæger sig med forskellig fart.



Figur. 1

Figur 1: Lys som bevæger sig fra et medie til et andet<sup>[2]</sup>

Der gælder at  $v = \frac{s}{t}$  og derved  $t = \frac{s}{v}$

Ud fra dette, kan et udtryk for den samlede tid, det tager for lyset, at komme fra det ene punkt til det andet opskrives:

$$t_{total}(z) = t_1 + t_2 = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} = \frac{\sqrt{x^2+z^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(d-z)^2+y^2}}{v_2}$$

idet  $z$  her er variabel. Fermats princip siger at lyset tager den vej der minimerer tiden, derfor må der gælde, at

$$\frac{dt_{total}}{dz} = 0$$

Den afledede af  $t_{total}$  findes:

Der vides at  $(f(g(x)))' = f'(g(x))g'(x)$ , at man kan differentiere en sumfunktion ledvist og at  $(cf(x))' = c(f(x))'$ . Derfor fås, at

$$\frac{dt_{total}}{dz} = \frac{d}{dz} \left( \frac{\sqrt{x^2+z^2}}{v_1} \right) + \frac{d}{dz} \left( \frac{\sqrt{(d-z)^2+y^2}}{v_2} \right) = \frac{1}{v_1} \frac{d}{dz} \sqrt{x^2+z^2} + \frac{1}{v_2} \frac{d}{dz} \sqrt{(d-z)^2+y^2}$$

Kædereglen bruges og der fås, at

$$\frac{dt_{total}}{dz} = \frac{1}{v_1} \frac{z}{\sqrt{x^2+z^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{d-z}{\sqrt{y^2+(d-z)^2}}$$

Den afledede var lig nul:

$$\frac{1}{v_1} \frac{z}{\sqrt{x^2+z^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{d-z}{\sqrt{y^2+(d-z)^2}} = 0 \iff \frac{1}{v_1} \frac{z}{\sqrt{x^2+z^2}} = \frac{1}{v_2} \frac{d-z}{\sqrt{y^2+(d-z)^2}}$$

punktet, der opfylder disse betingelser må umiddelbart være et minimum, idet at hvis man lader  $z$  blive større end  $d$  eller mindre end nul, er der nødvendigvis en hurtigere vej når  $d > z > 0$ , idet en sådan bane ville være en omvej.

Ved at betragte tegningen, kan man med klassisk geometri og trigonometri argumentere for, at brøkerne henholdsvis er lig sinus til indfaldsvinklen og sinus til udfaldsvinklen. Udnytter man samtidig at  $n=c/v \Leftrightarrow v=c/n$ , fås Snells lov:

$$\frac{1}{v_1 \sqrt{x^2+z^2}} = \frac{1}{v_2 \sqrt{y^2+(d-z)^2}} = n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

## Total indre refleksion

Der kan kun opstå total indre refleksion, når lyset bevæger sig fra et sted med en højere brydningsindeks til et sted med lavere brydningsindeks. Man oplever totalreflektion, når udfaldsvinklen er 90 grader, da lyset her vil blive reflekteret i stedet for at forlade materialet. Dette er total indre refleksion, hvor brydningen ikke kan observeres. For at opnå indre refleksion skal lyset ramme ved en bestemt vinkel. Denne vinkel kan beregnes ved:

$$\sin(i_g) = N_2/N_1$$

Hvor  $i_g$  er grænsevinklen målt i grader og  $N_1$  og  $N_2$  er brydningsindekset for vores startstof og vores slutstof henholdvist. Brydningsindekset for disse to er enhedsløse.[1]

Vi kan udlede denne ved brug af Snells lov. Her bliver det udledt at

$$N_1 \sin(\theta_1) = N_2 \sin(\theta_2)$$

Hvis vi vil have en brydningsvinkel på 90° kan vi sætte det til:

$$N_1 \sin(\theta_1) = N_2 \sin(90)$$

og da sinus til 90° er 1 vil vi kunne omskrive denne formel til at give os overstående. Altså.[3]

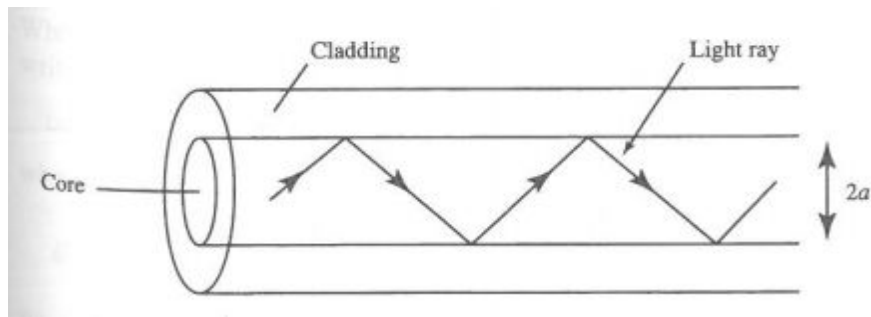
$$N_1 \sin(\theta_1) = 1 N_2$$

$$\sin(\theta_1) = N_2/N_1$$

Her er  $\theta_1 = i_g$

## Optiske fibre

Optiske fibre bliver anvendt til at transportere information fra et sted til et andet gennem lys. Dette gøres ved at sende lyset gennem nogle optiske fibre, hvor i der sker en total indre refleksion. Dette betyder at lyset reflekteres fra den ene ende af det optiske fiber til det andet. Der vil dog i praksis stadig være noget af lyset som ikke bliver totalt reflekteret, hvilket vil betyde at man ville miste en masse data på denne måde. Dette kunne dog løses ved at have en kerne del omgivet af en beklædningsdel. Kerne ville så have et højere refleksions index end beklædningen. Hvilket betyder at lyset vil blive total reflekteret inde i kernen, da lyset vil tage den vej der er hurtigst. Så derfor vil lyset reflektere sig ned gennem kernen i et zigzag mønster.[4]



Figur 2: billede af opbygningen af et optisk fiber <sup>[3]</sup>

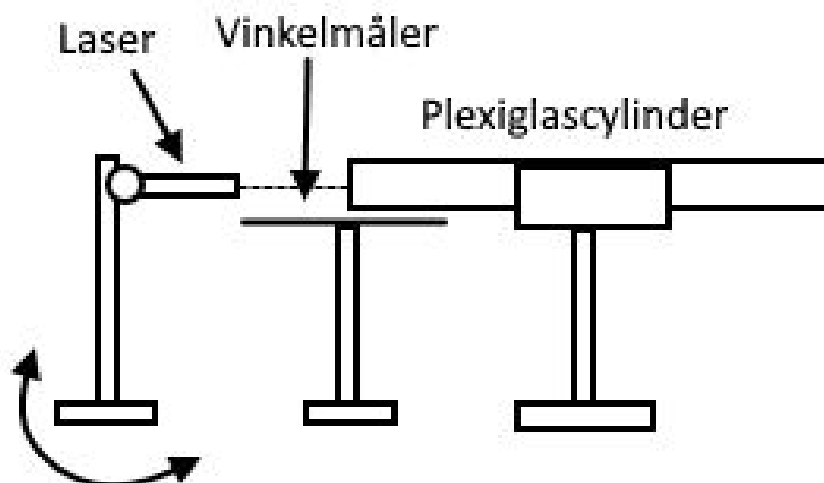
## Praktisk brug

Optiske fibre, bliver anvendt til at sende lyd, billeder og anden slags data fra et sted til et andet. De bliver derfor anvendt som Tv-kabler og lignende da de kan transportere dataen med meget lidt tab. Dette gør det også muligt at anvendet optiske fibre som internet kabler, og de anvendes til at fibernet. Dette er muligt da man kan sende utroligt store mængder data via et optisk kable.

## Opstilling

Forsøg Nr.1:

Figur. 3



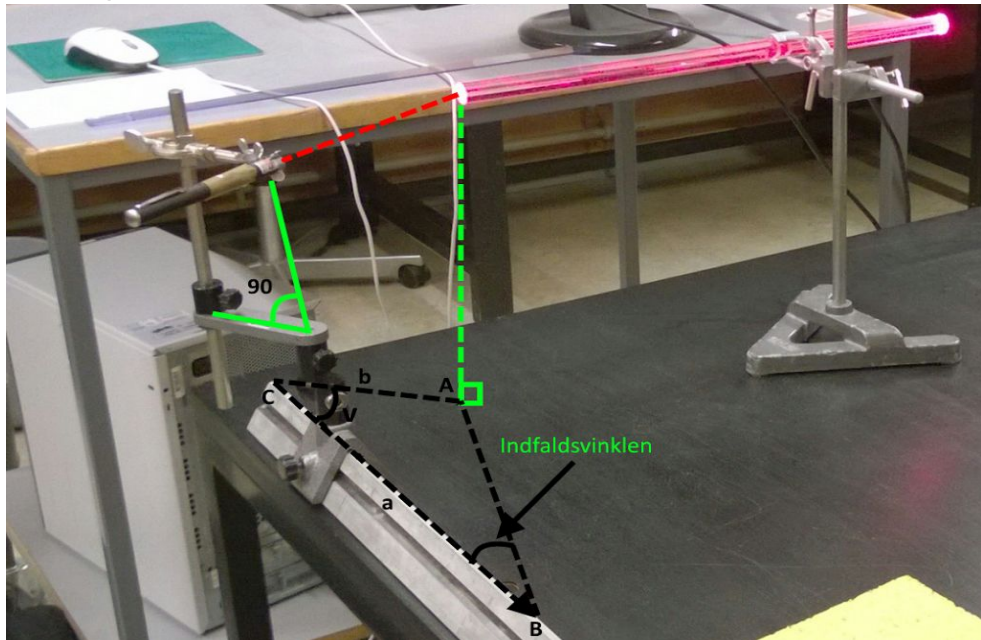
Stativ flyttes for at justere vinklen

Figur 3: Illustration af forsøgsopstilling for forsøg 1<sup>[4]</sup>

Billedet her illustrere forsøgsopstillingen. Vinkelmåleren placeres under plexiglaslederen således der måles 0 grader vinkelret ud fra cylinderens ende, på den måde vil den aflæste vinkel svare til indfaldsvinklen. Laseren placeres med munden lodret over kanten af vinkelmåleren. Dermed er det muligt, ved øjemål, at justere laseren til den ønskede vinkel.



## Forsøg Nr.2:



Figur 4: Illustration af forsøgsopstillingen for forsøg 2<sup>[5]</sup>

Her ses et billede af forsøgsopstillingen. Forsøgsopstillingen er således, at indfaldsvinklen beregnes ud fra en retvinklet trekant, som dannes illustreret på billedet. Vinklen  $v$  ved punkt C er 90 grader, hvor indfaldsvinklen beregnes ud fra  $\arctan$  af  $b$  over  $a$ .  $b$  har en konstant længde på 20cm mens  $a$  kan varieres for at give den ønskede vinkel.

Afstanden  $a$  måles ud fra den fod som laseren er fastgjort til. Laseren er fastgjort til stativet så laseren befinder sig lodret over rotationspunktet på stativet. På denne måde vil det ikke være en nødvendigt at måle afstanden fra laseren, men i stedet kan det gøres fra foden som den er spændt fast til.

## Apparaturliste

### Forsøg Nr.1:

- 50cm Lineal
- 532nm +/- 10nm Grøn Laser
- Ø 20mm Plexiglas cylinder 50cm lang
- Vinkelmåler
- 3 stk. stativ
- 2 Gribeklør
- 3 stk. skrueklemmer

### Forsøg Nr.2:

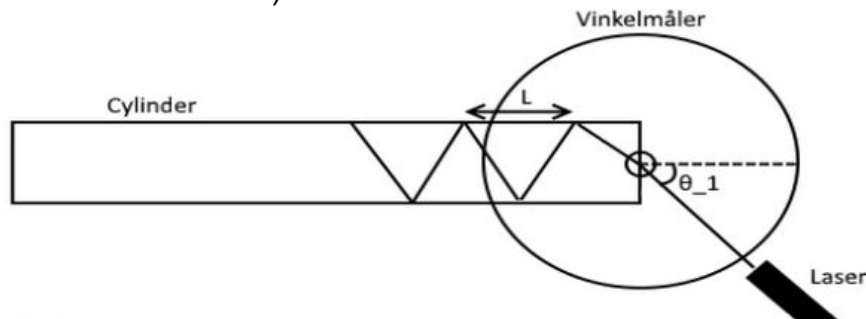
- 50cm Lineal
- 532nm +/- 10nm Grøn Laser
- 650nm +/- 10nm Rød Laser
- 405nm +/- 10nm Blå Laser
- Ø 20mm Plexiglas cylinder 50cm lang

- 100cm skinne
- 1 stativ
- 2 metal stænger
- 2 Gribeklør
- 1 fod der kan køre på skinnen
- 1 skrue klemme

## Udførsel/Metode

### Forsøg Nr.1:

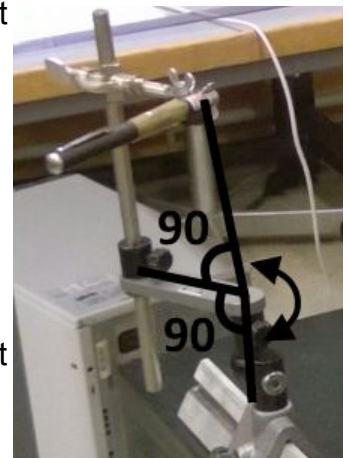
1. Opfør opstillingen som illustreret på figur 3.
2. Indstil laseren således, at dens stråle peger direkte ind i centrum af plexiglaslederen.
3. Efterfølgende tilpasses laseren således, at den danner en vinkel  $\theta$  på 20 grader med enden af plexiglaslederen.
4. Når laseren er fokuseret i centrum af cirklen og har en vinkel  $\theta$  på 20 grader foretages første måling.
5. Målingen foretages ved at afmåle de to første toppunkter der dannes når laseren reflekteres inde i plexiglasset. Som set på figur 4.
6. Målingen noteres.
7. Foretag trin 2-6 indtil der er foretaget målinger for hver 5'te grade (eks. 20-25-30-35-40 osv.)



Figur 5: billedet viser forsøgsopstilling 1 set oppefra<sup>[6]</sup>

### Forsøg Nr.2:

1. Opstil forsøget som set under "opstilling af forsøg Nr.2". Det er vigtigt at danne en ret vinkel mellem plexiglas cylinderen og den bane, hvorpå laseren skal bevæge sig.  
(Begrundelsen for dette er, at forsøget vil prøve at undgå måleusikkerheder omkring vinkelmåling og der er derfor taget en anden teknik i brug som bygger på bestemmelse af indfaldsvinklen ved brug af retvinklede trekanter.)
- 1.1 Mål og noter diameteren af plexiglas cylinderen da den skal bruges til at bestemme brydningsvinklen  $teta_2$ .
2. Når forsøget er opstillet indstilles gribekloen, som er ansvarlig for at holde laseren, således, at kloens, og dermed også laserens, omdrejningspunkt befinder sig lodret ned for fodens (som køre langs banen) omdrejningspunkt. Illustreret som figur (5).



På denne måde skal man ikke tage højde for laserens afstand vinkelret på det optiske fiber da den vil stemme overens med fodens afstand.

3. Foden skubbes langs banen til den ønskede afstand 11,5cm.
4. Laseren drejes nu således den rammer plexiglaslederens ende, hvilket vil danne den ønskede "zig-zag" effekt inde i cylinderen.
5. Lyset slukkes og persienner trækkes for så det er muligt at observere laseren inde i cylinderen.
6. Efterfølgende måles afstanden L som set på figur 1.
7. Når afstanden er målt, skubbes foden langs skinnen til afstanden 23,8cm og laseren drejes så den igen rammer enden af cylinderen og der foretages en ny måling af L.
8. Herefter flyttes foden til afstanden 42,9. Laseren indstilles og L noteres.
9. Når L er noteret for de tre vinkler udskiftes den røde laser med den grønne og trin 3-7 gentages igen.
10. Når dette er gjort for grøn skiftes der til den blå laser og trin 3-7 gentages igen.

## Måledata

### Forsøg Nr.1:

Måling nr.	$\theta_1$ [rad]	Afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]	diameter [cm]
1	0,35	8,1	2
2	0,44	6,9	2
3	0,52	4,85	2
4	0,61	4,4	2
5	0,70	4,1	2
6	0,79	3,65	2
7	0,87	3,2	2
8	0,96	3,0	2
9	1,05	2,65	2
10	1,13	2,55	2
11	1,22	2,4	2
12	1,31	2,3	2

13	1,40	2,25	2
----	------	------	---

Ovenfor ses datasættet som blev indsamlet fra forsøg Nr.1.

### Forsøg Nr.2:

Ved dette forsøg er afstanden  $\frac{1}{2}L$  blevet målt gentagende gange og det resulterende gennemsnit er her blevet indsat som den målte afstand  $\frac{1}{2}L$ .

Rød Måling 650nm	diameter [cm]	Teta 1 [rad]	Afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]
1	2,00	0,52	5,8
2	2,00	0,87	3,4
3	2,00	1,13	2,7
Grøn Måling 532nm	diameter [cm]	Teta 1 [rad]	Afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]
1	2,00	0,52	5,2
2	2,00	0,87	3,3
3	2,00	1,13	2,6
Blå Måling 405nm	diameter [cm]	Teta 1 [rad]	Afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]
1	2,00	0,52	6,3
2	2,00	0,87	3,6
3	2,00	1,13	2,8

## Resultatbehandling

### Forsøg Nr.1:

d: Diameter af plexiglaslederen.

$\theta_1$ : Indfaldsvinklen i radianer.

$\theta_2$ : Udfaldsvinklen i radianer.

$\frac{1}{2}L$ : Den halve afstand fra et refleksions toppunkt inde i plexiglaslederen til det næste.

$n_1$ : Brydningsindekset for det materiale som lyset bevæger sig fra.<sup>[5]</sup>

$n_2$ : Det beregnede brydningsindeks for det materiale som lyset bevæger sig til.

% afvigelse: Fejlprocenten beregningerne afviger fra den opslåede brydningsindeks af  $n_2$ .<sup>[6]</sup>

Måling nr.	d [cm]	$\ominus_1$ [rad]	$\ominus_2$ [rad]	Afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]	n1 [Luft]	n2 [Plexiglas]	% afvigelse
1	2	0,35	0,24	8,1	1,000293	1,427	4,21
2	2	0,44	0,28	6,9	1,000293	1,518	-1,91
3	2	0,52	0,39	4,85	1,000293	1,312	11,95
4	2	0,61	0,43	4,4	1,000293	1,387	6,95
5	2	0,70	0,45	4,1	1,000293	1,467	1,57
6	2	0,79	0,50	3,65	1,000293	1,472	1,21
7	2	0,87	0,56	3,2	1,000293	1,446	2,97
8	2	0,96	0,59	3,0	1,000293	1,477	0,86
9	2	1,05	0,65	2,65	1,000293	1,438	3,49
10	2	1,13	0,67	2,55	1,000293	1,469	1,41
11	2	1,22	0,69	2,4	1,000293	1,468	1,46
12	2	1,31	0,72	2,3	1,000293	1,472	1,18
13	2	1,40	0,73	2,25	1,000293	1,483	0,49
					Median:	1,449	2,76

$\ominus_2$  er bestemt ved denne formel:

$$\tan(\ominus_2) = \frac{d}{\frac{1}{2}L}$$

Eks.

tages arctan til denne værdi, fås  $\ominus_2$ :

$$\arctan(0,02m/0,081m) = 0,24rad = 13,87^\circ$$

$n_2$  er bestemt ud fra denne formel:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ , kendt som Snell's lov.

Herfra følger, at

$$\frac{n_1 \sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_2$$

Eks.

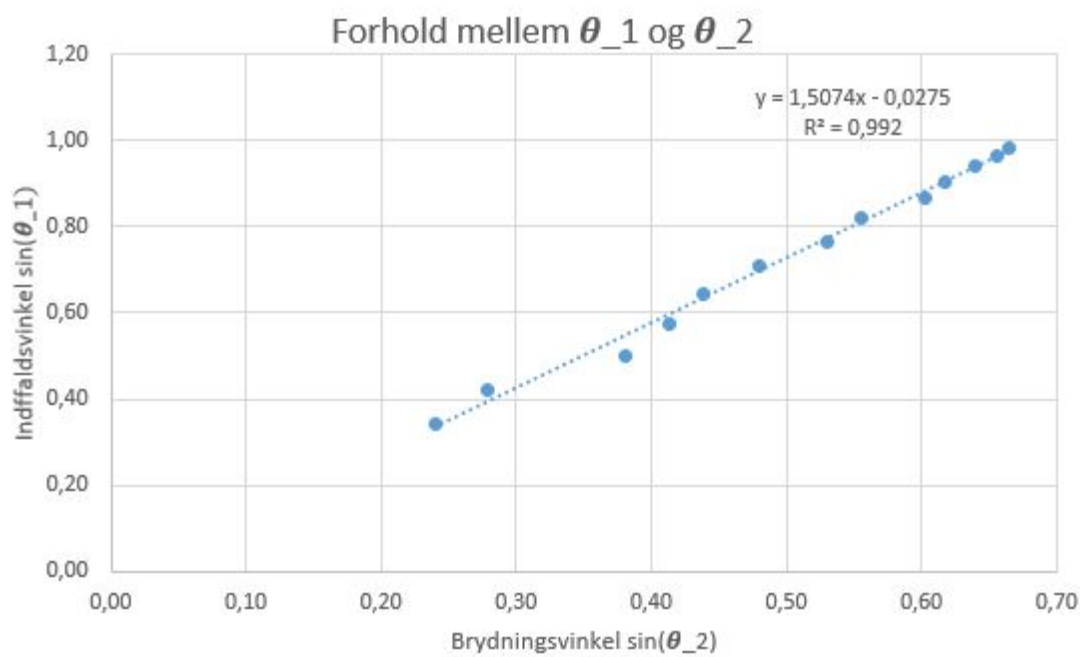
$$\frac{1,000293 * \sin(0,35)}{\sin(0,24)} = 1,427$$

Medianerne er bestemt på følgende måde:

$$n_{2_M} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n}$$

hvor  $n_i$  er den i'ende måling af  $n_2$  ved samme betingelser.

Følgende graf viser forholdet mellem den målte indfaldsvinkel og den beregnede brydningsvinkel.



Som det ses på grafen eksistere der en lineær sammenhæng mellem sinus til indfaldsvinklen ( $\theta_1$ ) og sinus til brydningsvinklen ( $\theta_2$ ).

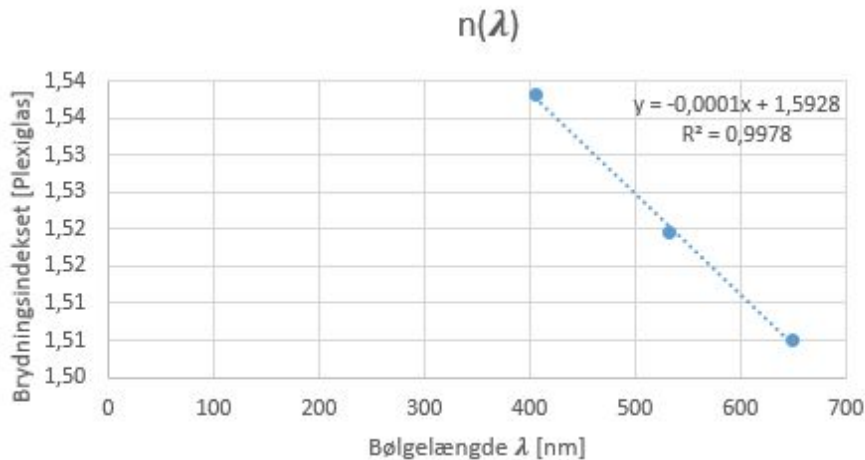
Grafen bruges til at vise hvorvidt de målte data stemmer overens med den teoretiske værdi.

### Forsøg Nr.2:

Rød Måling [650nm]	d [cm]	$\theta_1$ [rad]	$\theta_2$ [rad]	afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]	n1 [Luft]	n2 [Plexiglas]
1	2,0	0,52	0,33	5,8	1,000293	1,54
2	2,0	0,87	0,53	3,4	1,000293	1,52
3	2,0	1,13	0,65	2,7	1,000293	1,50
Grøn Måling [532nm]	d [cm]	$\theta_1$ [rad]	$\theta_2$ [rad]	afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]	n1 [Luft]	n2 [Plexiglas]
1	2,0	0,52	0,37	5,2	1,000293	1,40

2	2,0	0,87	0,55	3,3	1,000293	1,46
3	2,0	1,13	0,66	2,6	1,000293	1,47
Blå Måling [405nm]	d [cm]	$\ominus_1$ [rad]	$\ominus_2$ [rad]	afstand $\frac{1}{2}L$ [cm]	n1 [Luft]	n2 [Plexiglas]
1	2,0	0,52	0,31	6,3	1,000293	1,65
2	2,0	0,87	0,51	3,6	1,000293	1,58
3	2,0	1,13	0,63	2,8	1,000293	1,54

Denne tabel viser de målte og beregnede værdier for de tre forskellige laser lys. Beregning af brydningsvinklen ( $\ominus_2$ ) og brydningsindekset for plexiglasset er blevet bestemt på samme måde som for gående eksperiment.



På denne graf ses brydningsindekset som funktion af bølgelængden. Som det kan ses på grafen dannes der et lineært mønster mellem de 9 datapunkter. (De 3 punkter som ses på grafen består hver især af 3 punkter)

## Beregning af total indre refleksion i plexiglaslederen

Ved at bruge formlen for den kritiske indfaldsvinkel kan indfaldsvinklen, hvor der er totalrefleksion:

$$\sin(i_g) = N_2/N_1$$

Her er  $n_1$  brydningsindekset for plexiglas, som blev bestemt og  $n_2$  er brydningsindekset for luft. Derved bliver sinus til den kritiske vinkel

$$\sin(i_g) = 1/1,45 = 0,7$$

$$i_g = \arcsin(0,7) = 44^\circ$$

Altså skal lyset mindst ramme med  $44^\circ$  for at der sker total indre refleksion.

Herefter kan den maksimale indfaldsvinkel, hvormed lyset kommer ind i cylinderen beregnes:

Idet vores optiske fiber var retvinklet i enderne, svarer en indfaldsvinkel på siden på mere end 44 grader til en udfaldsvinkel fra endestykket på  $90^\circ - 44^\circ = 46^\circ$  eller mindre.

Dette er ikke noget problem, idet i tilfældet af at indfaldsvinklen er lig  $90^\circ$ , fås at udfaldsvinklen inde i plexiglasset er under 46 grader:

$$\sin(90)n_1 = \sin(\theta_2)n_2 = n_1 \Leftrightarrow \sin(\theta_2) = \frac{n_1}{n_2} = 1/1,45$$

Tages arcsin til denne sinusværdi, fås at

$$\arcsin(1/1,45) = 44^\circ = \theta_{2max}$$

Den maksimale udfaldsvinkel, som der kan forekomme, er altså inden for kriterierne for total indre refleksion, som var 46 grader eller under. Derfor vil der altid opstå totalrefleksion, uanset vinklen hvormed man sender lys ind i plexiglaslederen på denne flade..

## Diskussion

I eksperimenterne var vores måleusikkerhed forholdsvis stor, idet vi for eksempel ikke kunne påvise brydningsindeksets afhængighed af lysets bølgelængde. Grunden til dette er højst sandsynligt vores egen måleusikkerhed ved øjemål, som langt fra var optimalt. Vi kunne i stedet have haft bedre opstillingsudstyr, med bedre mulighed for afmåling af vinkler og længder.

Vi fandt også ud af, selvom plexiglaslederen var cylinderformet, at det umiddelbart var ligemeget om vi ramte ind vinkelret på indersiden eller ej, hvilket vi ellers havde brugt ret meget tid på at sikre os.

I forhold til den lineære sammenhæng, der ses mellem bølgelængde og brydningsindeks, kan man sige, at der ikke er nok målepunkter til, at man med rimelig sikkerhed kan konkludere en sammenhæng mellem bølgelængde og brydningsindeks, idet det kan være en tilfældighed. Det har dog ikke været mulighed for at danne en større mængde målepunkter, da der var en begrænset mængde laser vi havde rådighed over.

Derudover er argumentet for minimal tid i udledningen af Snells lov en smule svagt, idet det ikke rent matematisk er blevet bevist, at det fundne punkt var et minimum.

## Måleusikkerhed

Til at udføre eksperimentet, er der blevet brugt øjemål og en vinkelmåler med en præcision på 0,5 grader. Dette betyder at der er en usikkerhed mellem 0,01 og 0,09 grader. Ved hver vinkelmåling.

Ved måling af afstanden L blev der brugt en lineal med en præcision på 0,5 mm, dette betyder at målinger af L har kan variere med 0,01 mm til 0,09 mm.

Da Usikkerheden nu er kendt kan resultatet derfor bestemmes med en præcision på kun 1 decimal.



Disse usikkerheder kan give afvigelser i det endelige resultat, for at undgå fejl vil resultatet derfor blive afrundet til 1 decimal.

Derudover har det, at der er brugt øjemål ved aflæsningen af lineal, som blev holdt i hånden, også stor indflydelse på præcisionen af målingerne.

## Konklusion

Det kan konkluderes ud fra forsøget og de fundne data at det er muligt at finde brydningsindekset i det optiske fiber, som vi i vores eksperiment med plexiglaslederen har bestemt til at være lig 1,45 for denne type plexiglas.

Derudover kan der også konkluderes ud fra forsøget, at brydningsvinklen inde i plexiglaslederen altid opfylder kriterierne på en vinkel under 46 grader for totalreflektion inde i cylinderen og der vil derfor altid forekomme totalreflektion, uanset indgangsvinklen, da det ville kræve en indfaldsvinkel på over 90 grader.

Der kunne yderligere konkluderes, at det ikke med sikkerhed var muligt, at bestemme en ændring i brydningsindekset ved forskellige bølgelængder med det givne udstyr, idet vores øjemål og praktiske måleusikkerhed kan give anledning til store fejlmålinger.

# Litteraturliste

1. Optical\_fiber\_Jewett\_and\_Serway\_992-996\_%20.pdf (17-9-2015) opgivet materiale
2. Refraction\_of\_light\_Jewett\_and\_Serway\_985-989\_%20.pdf (17-9-2015) opgivet materiale
3. <http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-3/Total-Internal-Reflection> (17-9-2015)
4. Optical\_fiber\_Wilson\_and\_Hawkes\_359-360\_.pdf (17-9-2015) opgivet materiale
5. [Bestemt ved tabelopslag i *Essential University Physics Volume 2 af Richard Wolfson*]
6. Det opslåede brydningsindeks for plexiglas:  
[www.refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly\(methyl\\_methacrylate\)&page=Szczurowski](http://www.refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly(methyl_methacrylate)&page=Szczurowski), 07/09-15

## Billed-litteraturliste

1. Eget billede
2. Eget billede
3. Fra Optical\_fiber\_Wilson\_and\_Hawkes\_359-360\_.pdf (17/09-15) ( opgivet materiale)
4. Eget billede
5. Eget billede
6. Eget billede
7. Eget billede