Geometrische Optik

Lichtquelle 6V - 11W

Beschreibung

Metallgehäuse mit magnetischem Boden und verstellbarem Fokus. Auf der Vorderseite befinden sich 5 Öffnungen, die einzeln durch Magnetplättchen abgedeckt werden können.
Die Spannungsversorgung der Lampe (6V-11W) erfolgt über 2 Steckbuchsen, die sich auf der Rückseite des Gehäuses befinden.
Die Paralleleinstellung der Strahlen zur Tafelebene ist durch eine Rändelschraube auf der Rückseite des Gehäuses möglich.

Verwendung

Dieses Gerät ist besonders geeignet für Versuche innerhalb der geometrischen Optik.
Es wird empfohlen, dieses Gerät mit den unten aufgeführten Artikeln zu benutzen:

- Weiß lackierte Metalltafel, mit Fuß 2002257
- Satz für geometrische Optik (Reflexion - Brechung) 2002271
- Ergänzungsteile zur Optik 2002265
- 20 Blatt Winkelskala zur Verwendung als optische Scheibe 2002262

Man kann die Lichtquelle auch mit einem horizontalen Sockel verwenden.

Anwendung

Die Lampe kann als Lichtquelle für Versuche der klassischen Optik und speziell für verwendet werden.

- Reflexion
- Lichtbrechung
- Verwendung verschiedener Medien
- Planparallele Platte
- konvergente und divergente Linsen
- Linsensysteme

Ersatzbirne 6V/11W 2004475

Stromversorgungsgerät 2001304 oder 2003807

Satz geometrische Optik Reflexion – Brechung

Zusammensetzung

Diese Grundausstattung umfasst
- optische Scheibe auf Papier
- 1 halbkreisförmiger Körper aus Plexiglas D = 105 mm, mit Magnethalter
- 1 gleichschenkliges Prisma (30°)
- 1 Planspiegel mit Magnethalter

Ziel

Dieser Versuchssatz ist speziell für die Reflexions- und Brechungslehre entworfen worden. Zur Verwendung benötigt man die Lichtquelle 2002264 und die Metalltafel 600 x 400 mm 2002257.

Versuche

- Reflexion
- Brechung
- Dispersion und Ablenkung des Lichts durch ein Prisma

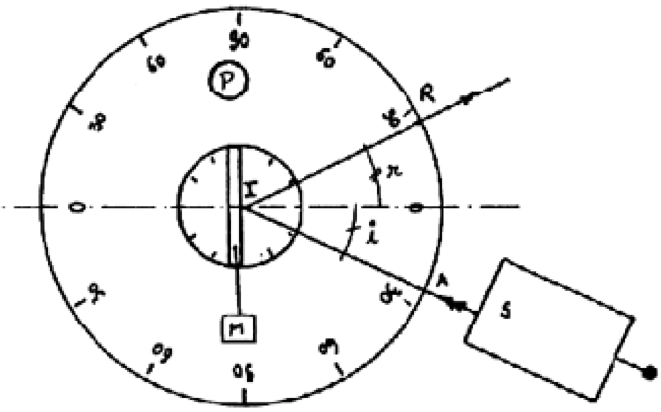
Reflexion

Empfohlenes Zubehör

- 1 Lichtquelle 2002264
- 1 Metalltafel 2002257
- 1 optische Scheibe
- 1 Planspiegel

Beschreibung

Man legt folgendes fest:



- einfallender Winkel AI
- Einfallspunkt I
- reflektierter Lichtstrahl IR
- Einfallsebene P
- Einfallswinkel i

Ausführung

Setzen Sie die Lichtquelle und die optische Scheibe auf die Tafel. Der Spiegel wird jetzt derart auf der optischen Scheibe angeordnet, daß seine Fläche genau zur 0°-Markierung steht und seine Achse genau auf die 90°-Markierung zeigt.
Benutzen Sie nur einen Strahl der Lichtquelle und notieren Sie den Reflexionswinkel für jeden Einfallswinkel.
Man kann den Einfallswinkel variieren, indem man die Position der Lampe verändert.

Man trägt die erhaltenen Ergebnisse in die Tabelle ein:

i (Grad)										
r (Grad)										

Bei normaler Reflexion gilt:

<u>1. Gesetz:</u>

Der einfallende Strahl, der reflektierte Strahl und die Normale auf der reflektierten Fläche liegen in der gleichen Ebene.

<u>2. Gesetz:</u>

Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel $r = 1$.

Gesetz der Strahlenumkehr

Der Weg des Lichts ändert sich nicht, wenn die Richtung des Lichtstrahls umgekehrt wird.

Rotation eines Planspiegels

Ohne den Ort der Lichtquelle zu verändern, variiert man den Winkel des Spiegels bezüglich. Bei jeder Veränderung wird der Rotationswinkel und der Winkel des reflektierten Strahls notiert.

β-Grade									
α-Grade									

Man erkennt:
Wenn man einen Planspiegel bei festem Einfallspunkt (Lichtstrahl *s*) um den Winkel um seine horizontale Achse dreht, erfolgt eine Ablenkung des ursprünglich reflektierten Strahls im gleichen Drehsinn um $\beta = 2\alpha$

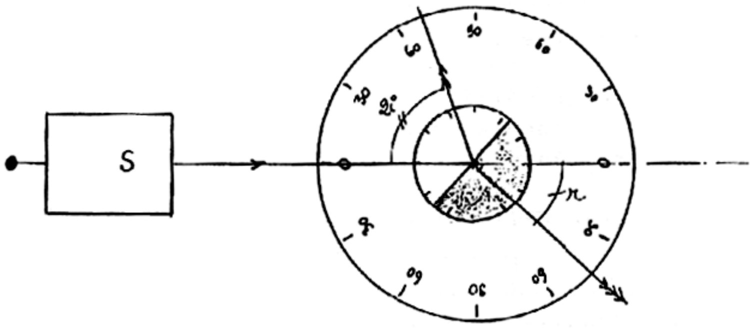
Brechung

Empfohlenes Zubehör

- 1 Lichtquelle 2002264
- 1 Metalltafel 2002257
- 1 halbkreisförmiger Körper D = 105 mm
- optische Scheibe

Ausführung

Die Lichtquelle 2002264 wird so auf die weiße Metalltafel gesetzt, dass der Strahl die 0°-Markierung der optischen Achse trifft.
Der halbkreisförmige Körper wird so auf den Mittelpunkt der optischen Scheibe plaziert, dass er senkrecht zum Strahl liegt. Der Strahl durchläuft den Körper, ohne abgelenkt zu werden.
Der Körper wird in 10°-Schritten gedreht. Man notiert die Brechungs- und Einfallswinkel.



Tragen Sie die Winkel in eine Tabelle ein

I (Grad)									
R (Grad)									
Sin i									
Sin r									
$\frac{\sin i}{\sin r}$									

Errechnen Sie den Durchschnittswert aller sin i / sin r.

a) Das Verhältnis vom Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ist konstant. (Gesetz von Descartes).
Man bezeichnet diese Konstante als Brechungsindex (Brechzahl) n.
Dieser Wert ergibt sich durch den Ausdruck

$\boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = n}$ oder $\boxed{\sin i = n \sin r}$

b) Dieser Index ist charakteristisch für ein Medium.

Übersicht

Wasser	n = 1,33
Diamant	n = 2,5
Glas	n = 1,5
Plexiglas	n = 1,5
Benzol	n = 1,5

Andere Versuche

Folgende Studien sind mit diesem halbkreisförmigen Körper ebenfalls möglich:
- max. Brechungswinkel
- Totalreflexion

c) Das Prisma
Empfohlenes Zubehör

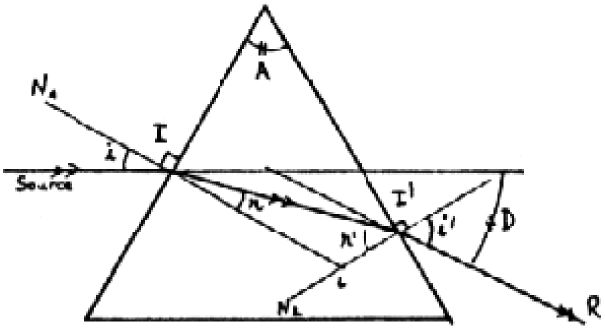
- 1 Lichtquelle 2002264
- 1 Metalltafel 2002257
- 1 Prisma (30°)
- 1 optische Scheibe

Beschreibung

Ein Prisma ist ein durchsichtiges Medium, welches durch 2 nicht parallele Flächen begrenzt wird.
Es ist gekennzeichnet durch einen Winkel A und seinen spezifischen Brechungsindex n.

Weitere Definition

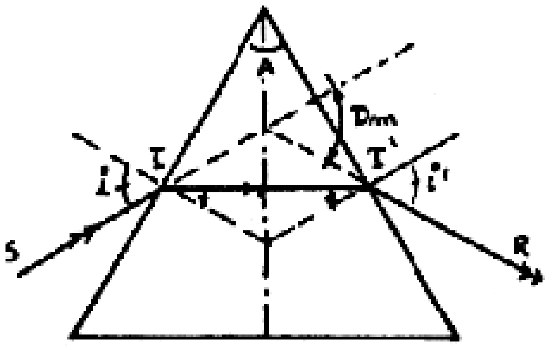
Im Prisma wird der Lichtstrahl zweimal von der brechenden Kante weg gebrochen.
Die Gesamtablenkung ist abhängig vom Einfallswinkel und dem brechenden Winkel



sin i = n sin r
r + r` = sin A
sin i´ = sin r´

Es gilt:

D	Gesamtablenkung = gesamte Richtungsänderung
i	Einfallswinkel an der 1.Grenzfläche
i'	Brechungswinkel an der 2.Grenzfläche
A	Brechender Winkel des Prismas



Bei symmetrischem Strahlengang, also i = i´ und r = r´ verläuft der Strahl im Prisma parallel zur Grundfläche, die Gesamtablenkung *D* erreicht ein Minimum. Mit dieser minimalen Abweichung Dm, A (brechender Winkel des Prismas) und *n* (Brechungsindex) ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$n = \frac{\sin\frac{Dm + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

Diese Formel ermöglicht die Errechnung vom Brechungsindex n anhand der Werte A und D - (A = 30°).

Anwendung

Um die oben beschriebenen Ergebnisse zu erhalten, arbeitet man mit der weißen Metalltafel. Man bestimmt die verschiedenen, für den jeweiligen Versuch notwendigen Winkel, indem man das Prisma in entsprechender Weise auf der optischen Scheibe plaziert.

Ergänzungsteile zur Optik 2002265

Zusammensetzung

Dieser Satz ist unentbehrlich zur Vervollständigung der geometrischen Optik 2002271.

Er besteht aus:

- 1 Bikonvexlinse f = +24 mm
- 1 Bikonvexlinse f = +50 mm
- 1 Plankonvexlinse f = +100 mm
- 1 Plankonkavlinse f = -100 mm

- 1 planparallele Platte
- 1 Prisma 30° ; 60° ; 90°
- 1 Küvette

Diese Teile sind magnethaftend und werden mit der Lichtquelle 2002264 und der Metalltafel mit Fuß 2002257 verwendet.

Zweck

Man kann folgende Versuche durchführen

1. Messung der Brennweite einer Linse
2. Linsensysteme (Anwendung)
3. Überprüfen der Bildumkehr
4. Brechungsebene: - planparallele Platte - Küvette
5. Prisma

1. Messung der Brennweite einer Linse

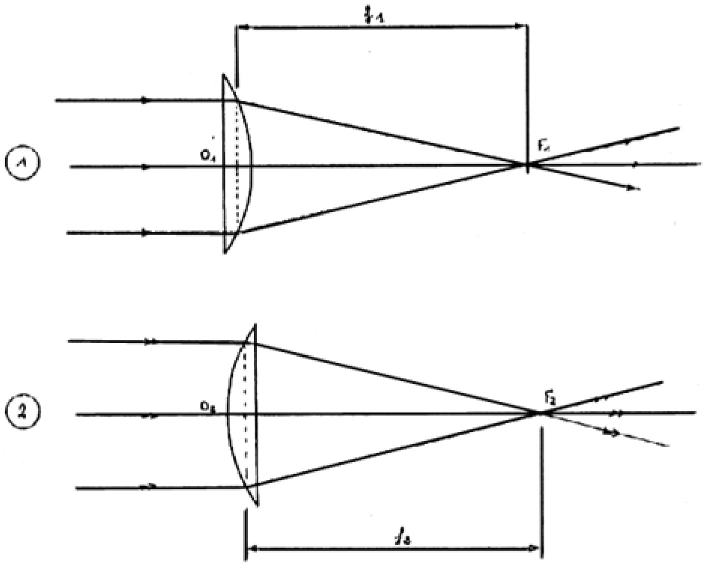
1.1 Konvergente Linsen

Empfohlenes Zubehör

- 1 Lichtquelle 2002264
- 1 Metalltafel 2002257
- 3 konvergente Linsen
- 2 verschiedenfarbige Filzschreiber
- 1 Maßstab

(1) <u>Plankonvexlinsen</u>

Nachdem man die Lichtquelle auf die Metalltafel gesetzt hat, schließt man sie an und stellt den Parallellauf der Strahlen ein.
Alle Strahlen, bis auf den mittleren, werden nun verdeckt.
Man zeichnet eine Gerade auf ein Blatt Papier und befestige es (z.B. mit Magnetstiften) derart auf der Metalltafel, dass die Gerade und der mittlere Strahl der Lichtquelle übereinander laufen.
Die Plankonvexlinse wird nun derart auf das Blatt gesetzt, dass der Strahl nicht abgelenkt wird. (Bestimmung der optischen Achse)
Danach werden die übrigen Strahlen nacheinander freigegeben.
Jetzt werden die abgelenkten Strahlen, sowie der Umriss der Linse nachgezeichnet.



Parallel zur optischen Achse fallende Lichtstrahlen werden im Brennpunkt gesammelt. (Reeler Brennpunkt)
Die Brennweite entspricht dem gemessenen Abstand zwischen reellem Brennpunkt und der Linsenmitte.

Versuchsergebnisse:

1. f_1 = 100 mm
2. f_2 = 100 mm

$f_1 = f_2$

Bestimmung der Konvergenzbedingung für dünne Linsen

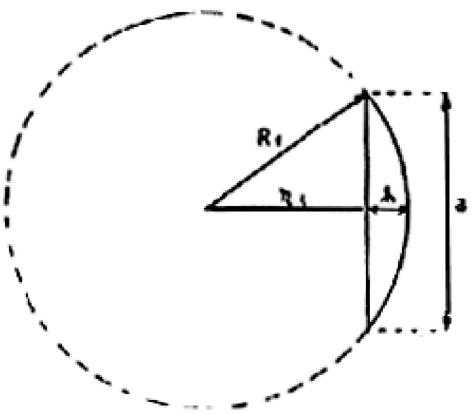
Gegeben ist eine Plankonvexlinse mit dem Krümmungsradius $R_1 \cong 50\,\mathrm{mm}$ + $R_2 = \infty$

Brechungsindex =1,5 (Plexiglas)

Algebraische Gleichung

$$c = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2}\right)$$

Berechnung von R_1:



a = 73 mm R1 = r1 + h

h = 16 mm $R_1 = \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}$

$$r_1 + h = \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} \Rightarrow r_1 = \frac{a^2}{8h} - \frac{h}{2}$$

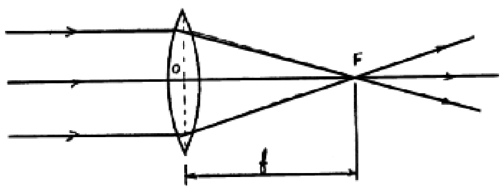
Zahlenbeispiel:
r_1 = 41,63 – 8 = 33,63 mm
$R_1 = r_1$ +h = 33,63 + 16 = 49,63 = 50 mm

Daraus folgt:

$$c = \frac{1}{f} = (1{,}5-1)\,.\left(\frac{1}{0{,}05} + \frac{1}{\infty}\right) = \frac{0{,}5}{0{,}05} = 10\,\mathrm{d}$$

$$\rightarrow \mathrm{c} = \frac{1}{\mathrm{f}} \Rightarrow \frac{1}{c} = 0{,}1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{mm} = \mathrm{f}$$

(2) <u>Bikonvexlinsen</u>



Um die optische Achse, den reellen Brennpunkt und die Brennweite zu bestimmen, verwende man die gleiche

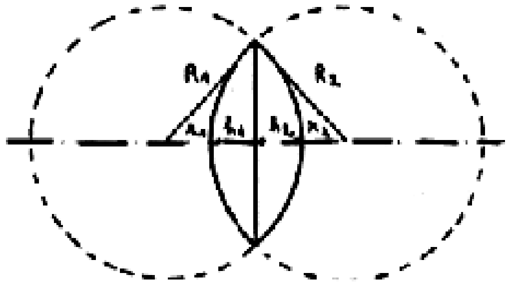
Versuchsanordnung, wie für die Plankonvexlinsen.

Versuchsergebnisse
Linse A: f = 50 mm
Linse B: f = 24 mm

Bestimmung der Konvergenzbedingung für dünne Linsen

Gegeben sind 2 Bikonvexlinsen A und B. Man überprüfe folgenden Zusammenhang:

$$c = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$



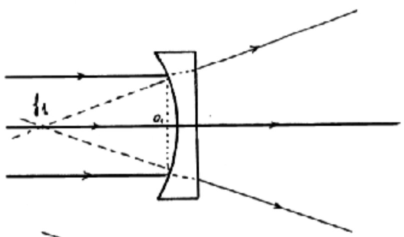
Linse A	42	42	8	8	50	50	20
Linse B	16	16	8	8	25	25	40
$n_A = 1{,}5 = n_B$	r1 mm	r2 mm	h1 mm	h2 mm	R1 mm	R2 mm	C-Dioptrien

Daraus folgt: $f_A = \frac{1}{CA} = \frac{1}{20} = 50\,mm$ und $f_B = \frac{1}{CB} = 24\,mm$

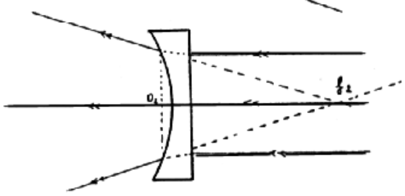
1.2 Divergente Linsen (plankonkav)

- Empfohlenes Zubehör
- 1 Lichtquelle 2002264
- 1 Metalltafel 2002257
- 1 Plankonkavlinse
- 1 weißes Blatt Papier
- 2 verschiedenfarbige Filzstifte
- 1 Lineal

Berechnung der Brennweite einer Linse



Um die optische Achse festzulegen, verfährt man wie bei den konvergenten Linsen beschrieben.
Danach werden die übrigen Strahlen nacheinander freigegeben. Dann zeichnet man wiederum die abgelenkten Strahlen und den Umriss der Linse nach. Man stellt fest, dass die auftauchenden Strahlen divergieren. Wir verlängern nun die Strahlen mit dem Filzstift derart, dass sie den Hauptstrahl in einem Punkt kreuzen. Dieser Punkt wird



reeller Brennpunkt genannt. Die Brennweite ist gleich dem Abstand zwischen reellem Brennpunkt und der Linsenmitte.

Versuchsergebnisse

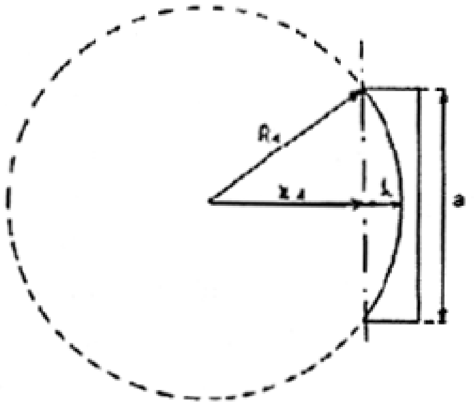
1. $f_1 = -100$ mm
2. $f_2 = -100$ mm

$f_1 = f_2$

Bestimmung der Konvergenzbedingung für dicke Linsen

Gegeben ist eine Plankonkavlinse mit den Krümmungsradien $R_1 \cong -50\,\mathrm{mm}$ und $R_2 = \infty$, Brechungsindex
n = 1,5 (Plexiglas).

Nachprüfen des folgenden Zusammenhangs: $c = \frac{1}{f} = (n-1) \cdot (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$



H = 19 mm
A = 80 mm

$$r_1 = \frac{a^2}{8h} - \frac{h}{2} = 34{,}605$$

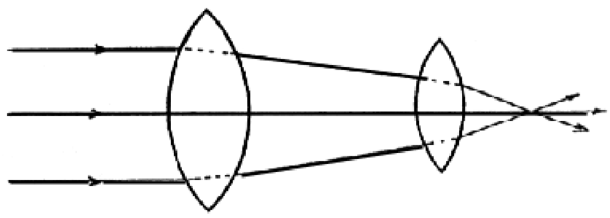
$$R_1 = (r + h_1) = 53{,}605$$

Daraus folgt: $c = \frac{1}{f} = \frac{0{,}5}{-53{,}605} = -9{,}33$ Dioptrien

f = 107,18 mm

2 Linsensysteme

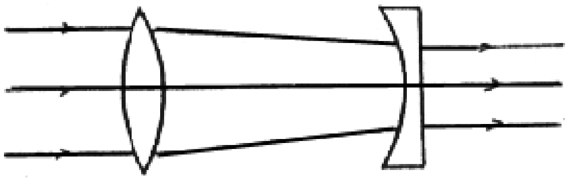
2.1 System mit 2 konvergenten Linsen



Wenn man 2 Bikonvexlinsen hintereinander anordnet, so steigt die Konvergenz der ersten Linse.

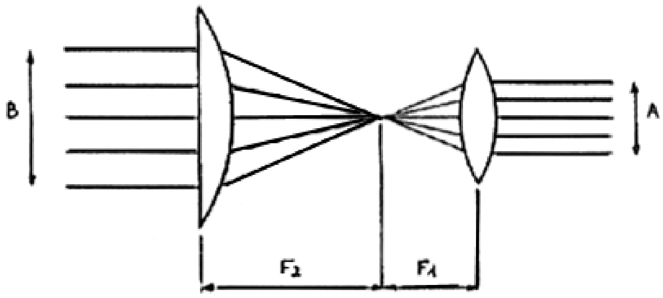
2.2 System mit einer konvergenten und einer divergenten Linse

Wenn man hinter eine Bikonvexlinse eine Bikonkavlinse anordnet, verringert sich die Konvergenz der Bikonvexlinse.



3. Anwendung

Wenn die Strahlen der Lichtquelle den Gegenstand A bilden, so ergibt B das Bild dieser Strahlen.
Man kann beobachten, dass das Bild B im Vergleich zu A vergrößert erscheint. Diese Vergrößerung lässt sich durch folgende Formel
Berechnen:



$$B \cong \frac{F_2}{F_1} . A \quad \text{oder} \quad \frac{B}{A} \cong \frac{F_2}{F_1}$$

4. Bildumkehr

Man verwendet eine konvergente Linse und eine Lichtquelle mit parallelen Strahlen. Jetzt verdeckt man eine Öffnung der Quelle mit einem transparenten farbigen Blatt Papier. Man folgt dem farbigen Lichtstrahl und stellt fest, daß dieser durch den Brennpunkt die optische Achse überquert und auf der anderen Seite weiter verläuft. Es ergibt sich eine Bildumkehr.

5. Brechungsebene

Das ist die Ebene, in der 2 transparente und homogene Medien mit verschiedenen Brechungsindexen liegen. Die Medien sind über eine Planfläche getrennt.

Beispiel:	1. Medium Wasser ,	2. Medium Luft oder
	1. Medium Glas,	2. Medium Luft

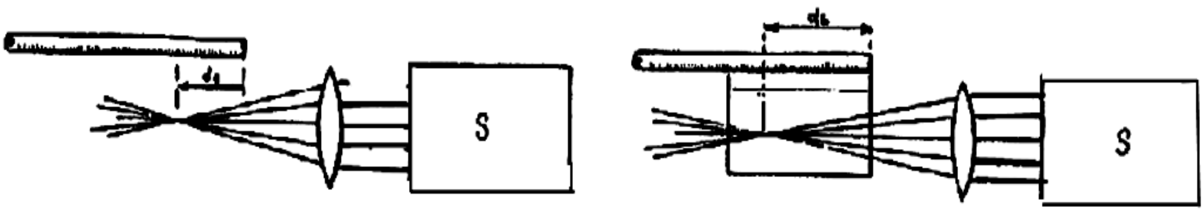
6. Küvette mit parallelen Seiten

Empfohlenes Zubehör

1 Metalltafel	2002257
1 Lichtquelle	2002264
1 Maßstab	2002260
1 Küvette mit parallelen Seiten	
1 konvergente Linse	

Versuch

Reelles Bild eines virtuellen Gegenstandes und Bestimmung der Formel für die Brechungsebene



Man setzt die Lichtquelle auf die Metalltafel und stellt die Strahlen parallel ein. Dann bringt man die Küvette mit der Öffnung nach oben auf die Metalltafel derart an, dass die optische Achse parallel zu den Seiten der Küvette ist, und die Lichtstrahlen sie durchqueren. Jetzt bestimmt man den Brennpunkt. Danach füllt man die Küvette mit Wasser und befestigt den Maßstab oberhalb der Küvette parallel zur optischen Achse. Man liest D1 ab
(Bild 1).
Jetzt wird die Küvette entlang des Maßstabes verschoben bis die Eintrittsfläche der Strahlen mit der 0-Markierung des Maßstabes übereinstimmt. Man liest D2 ab (Bild 2).
Man wiederholt diese beiden Messungen mit anderen Werten für D1
und D2 und trägt die verschiedenen Messwerte in eine Tabelle ein.

Experimentelle Bestätigung der Formel der Brechungsebene

$$\frac{D2}{D1} = \frac{n2}{n1} \qquad n2 = n1 \cdot \frac{D2}{D1}$$

zusammenfassende Tabelle

d1	30	40	50	60	70
d2	40	55	67	80	93
$\frac{d2}{d1}$	1,33	1,38	1,34	1,33	1,33

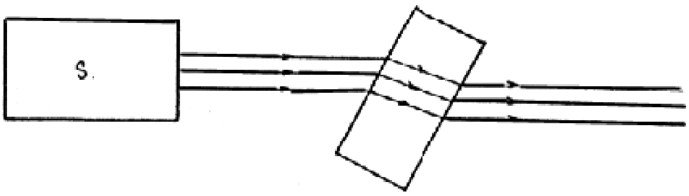
Schlussfolgerung: bei n1 (Brechungsindex von Luft) = 1
n2 (Brechungsindex von Wasser) =1,33

Man bestätigt durch die Formel: $n2 = n1 . \frac{D2}{D1} = \frac{D2}{D1}$

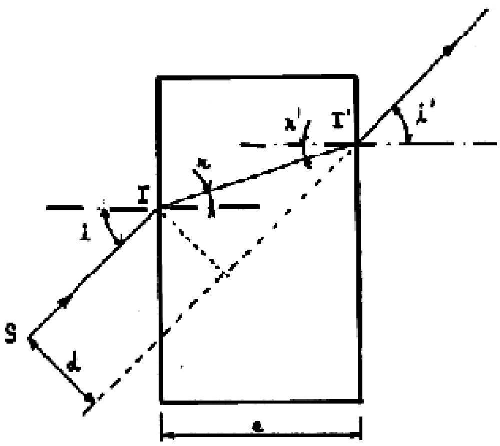
7. Planparallele Platte

Definition: Begrenztes durchsichtiges Medium mit mindestens 2 parallelen Flächen.

7.1. Lauf eines Lichtstrahls durch eine planparallele Platte



Man stellt eine planparallele Platte so auf, dass sie von den Lichtstrahlen der Lichtquelle 2002264 durchlaufen wird.
Man zeichne die Strahlen auf ein Blatt Papier ein.



1

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin i = n . \sin r \\ \sin i« = n . \sin r« \\ II . = \frac{e}{\cos r} \\ \sin(i - r) = \frac{d}{II'} \end{array} \right.$$

Erklärung

A: Der Austrittsstrahl ist parallel zum Einfallsstrahl.

- Der Strahl SI wird 2 mal hintereinander gebrochen (in I und I´)
- im Punkt *I* ergibt sich sin i = n . sin r im Punkt I´ergibt sich sin i´ = n . sin r´
- mit r = r´(innere Wechselwinkel) erhält man also sin i = sin i´ und damit i = i´
- unabhängig vom Wert des Einfallswinkels ist der austretende Strahl stets zum Einfallsstrahl parallel.

Die Translation des Lichtstrahls

Bestimmung von d als Funktion der bekannten Größen

$$d = e\,.\,\frac{\sin(i-r)}{\cos r} = e\,.\,\frac{(\sin i, \cos r\,.\,\cos i)}{\cos r} = e\,.\,\sin i\left(1 - \frac{\cos i}{n\,.\cos r}\right)$$

$$d = e\,.\,\sin i\,.\left(1 - \frac{\sqrt{1-\sin^2 i}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}\right)$$

Anwendungsbeispiel

Bei einem Brechungsindex von 1 (Luft als Medium) wird ein Strahlenbündel um abgelenkt.

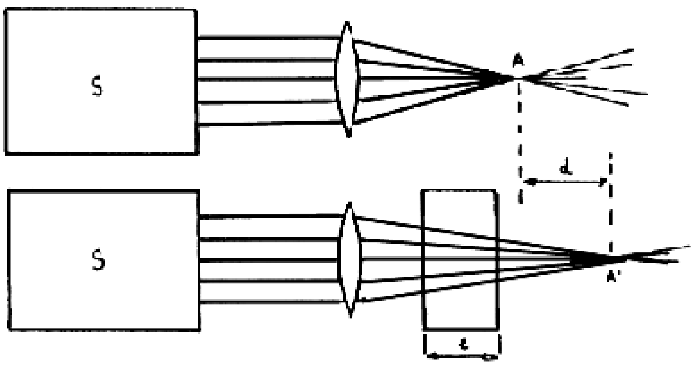
$$d = e\,.\,\sin i\left(1 - \frac{\sqrt{1-\sin^2 i}}{\sqrt{1-\sin^2 i}}\right) = 0$$

Man stellt durch diesen Versuch fest, dass sich bei einer Richtungsänderung von gleichsinnig verändert.
Die Translation ist sowohl abhängig von der Dicke der Platte, als auch ihrem Brechungsindex.

7.2 Reelles Bild eines virtuellen Gegenstandes

Man verwende den gleichen Versuchsaufbau wie bei der Küvette und überprüfe die Formel für die Brechungsebene sowie die erhaltene Gleichung:

$$= AA« \cong e\,.\,(1-\frac{1}{n})$$



8. Das Prisma

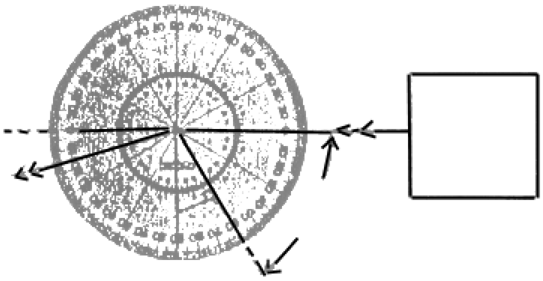
Die Def. des Prismas findet man auf Seite 7 unten "Satz geometrische Optik" 2002271.
Die hier verwendeten speziellen Prismen haben einen brechenden Winkel von jeweils 30°, 60° bzw 90°.Mit ihnen kann man den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Ablenkung eines Lichtstrahls und seinem Einfallsstrahl zeigen.

Empfohlenes Zubehör

- 1 Lichtquelle 2002265
- 1 Metalltafel mit Fuß 2002257
- 1 optische Scheibe
- 1 Prisma (30°, 60°, 90°)
- 1 Blatt Papier

Versuch

Man setzt die Lichtquelle auf die Metalltafel. Nach der Paralleleinstellung der Strahlen werden alle Öffnungen bis auf eine abgedeckt. Man plaziert die optische Scheibe und das Prisma derart auf der Tafel, dass das Blatt Papier zwischen beiden durch die Magnethaftung des Prismas auf der Tafel gehalten wird.
Man erhält folgendes Bild:

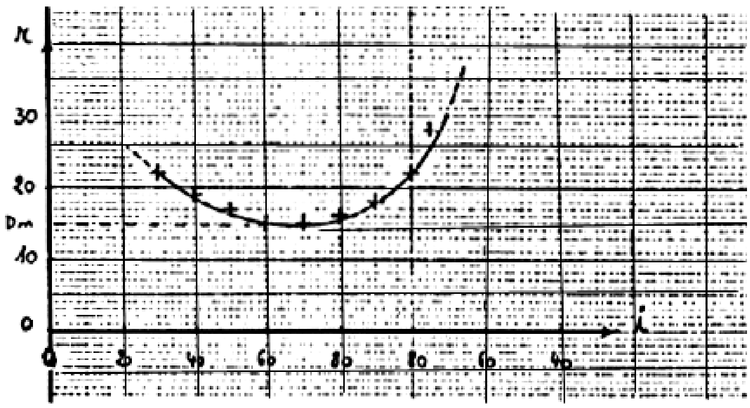


Anschließend trägt man die Winkel i und r in eine Tabelle ein (siehe unten).
Man erhält die verschiedenen Winkel, indem man das Prisma in Bezug auf das Zentrum der Scheibe dreht. Sowohl die Lichtquelle, als auch die optische Scheibe belässt man an ihrem Ort.

Ergebnisse (bei dem Prisma mit A = 30°)

i (°)	30	40	50	60	70	80	90	80	75
r (°)	22	19	17	15	15	16	18	22	28

Graph r = f (i)



Berechnung von n bei minimaler Ablenkung

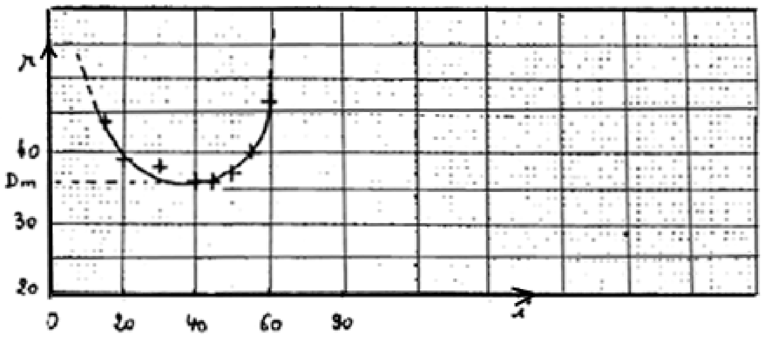
Formel für die minimale Ablenkung: $n = \frac{\sin\frac{Dm+A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

Gegeben ist: Dm = 15°, A = 30°, sowie n = 1,179 = 1,5

Ergebnisse (bei dem Prisma mit A = 60°

i (°)	15	20	30	40	45	50	55	60	
r (°)	44	39	38	36	36	37	40	47	

Graph r = f (i)



Berechnung von n bei minimaler Ablenkung

Formel für die minimale Ablenkung: $n = \frac{\sin\frac{Dm+A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

Gegeben sind: Dm = 36°, A = 60°, sowie n = 1,168 = 1,5

Wenn Sie Änderungs- und/oder Verbesserungsvorschläge haben, teilen Sie es uns bitte mit.