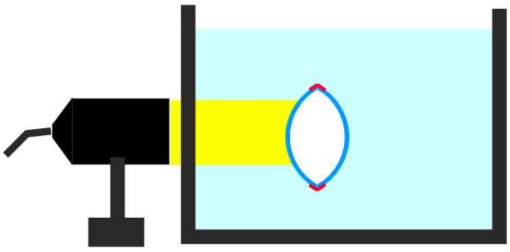
24. Übung zu Physik SS 2020

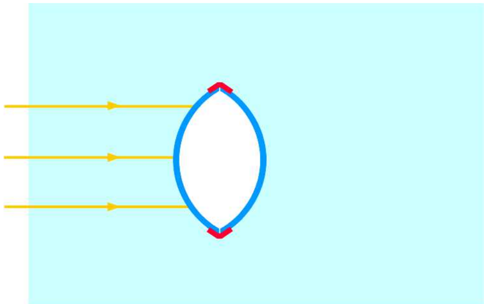
Ausgabe:02.06.2020 Prof. D. Suter

1. Luftlinse

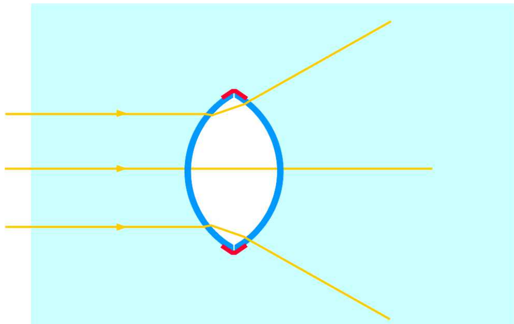
Aus zwei Uhrgläsern kann man sich eine bikonvexe luftgefüllte Linse herstellen. Zum Abdichten der Linse kann ein Stück Fahrradschlauch über die Berührstellen der Gläser gezogen werden.



Die im Wasser befindliche Luftlinse wird mit einem parallelen Lichtbündel bestrahlt. Erläutern Sie, wie die bikonvexe Luftlinse das parallele Bündel verändert. Überlegen Sie die Antwort mit Hilfe der Skizze, in die Sie den Verlauf der Parallelstrahlen qualitativ einzeichnen.



Beim Übergang von Wasser zu Glas wird das Licht nur wenig gebrochen. Beim anschließenden Übergang von Glas nach Luft wird das Licht vom Lot weg gebrochen, da Luft im Vergleich zum Glas das optisch dünnere Medium ist.
Beim Übergang von Luft nach Glas (rechte Linsenseite) erfolgt die Brechung zum Lot hin. Beim anschließenden Übergang von Glas nach Wasser findet wiederum wenig Brechung statt.



Insgesamt zeigt sich, dass die bikonvexe Luftlinse in Wasser wie eine Zerstreuungslinse wirkt (Kapitel 7.4.5).

2. Sammellinse

Wie groß ist der kleinste Abstand zwischen dem reellen Bild und Gegenstand ($g > f$) bei einer Sammellinse mit Brennweite f?

Der Abstand zwischen Bild und Gegenstand ist $s = g + b$. Aus der Abbildungsgleichung (Kapitel 7.4.4) $1/g + 1/b = 1/f$ folgt $b = gf/(g - f)$. Folglich gilt

$$s = g + b = s = g + \frac{gf}{g - f} = \frac{g^2}{g - f}$$

Aus der Extremalbedingung (der kleinste Abstand zwischen dem reellen Bild und Gegenstand) $ds/dg = 0$ folgt

$$\frac{ds}{dg} = \frac{2g(g - f) - g^2}{(g - f)^2} = 0$$

und für $g > f$ also

$$2g(g - f) - g^2 \Rightarrow g = 2f$$

Aus der Abbildungsgleichung folgt, dass für $g = 2f$ auch $b = 2f$ ist, daher ist der kleinste Abstand $s_{min} = g + b = 4f$. Daß es sich hierbei wirklich um ein Minimum handelt, kann man aus der zweiten Ableitung folgern.

3. Lochkamera

Von einem weit entfernten Objekt wird mit einer Kamera mit Blende 8 und einer Belichtungszeit von 1/200 Sekunden ein gut belichtetes Bild gemacht. Die Blende ist definiert als Verhältnis der Brennweite zum Durchmesser des Objektivs. Wie lange muss man mit einer Lochkamera mit 0,1 mm Lochdurchmesser und 10 cm Abstand zwischen Loch und Film belichten, um ein gleich gut belichtetes Bild zu erhalten?

Bei gleichem Abstand vom Objekt zur Kamera und bei gleichem Objekt ist die vom Objektiv aufgefangene Energie proportional zur Fläche des Objektivs und proportional zur Belichtungszeit. Die Fläche wiederum ist proportional zum Quadrat des Durchmessers. Das Objektiv strahlt diese Energie auf den Film. Die Helligkeit dieser Abbildung ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes. Damit folgt:

$$a\left(\frac{D_{Kamera}}{f}\right)^2 T_{Kamera} = a\left(\frac{D_{Lochkamera}}{d}\right)^2 T_{Lochkamera}$$

wobei T_{Kamera} und $T_{Lochkamera}$ die Belichtungszeiten, $\frac{f}{D_{Kamera}} = 8$ die Blende der Kamera, $D_{Lochkamera} = 0{,}1\ mm$ der Durchmesser der Lochkamera und $d = 0{,}1\ m$ der Abstand von Loch und Film bei der Lochkamera ist. Damit gilt

$$T_{Lochkamera} = \left(\frac{D_{Kamera}}{f}\right)^2 \left(\frac{d}{D_{Lochkamera}}\right)^2 T_{Kamera} =$$

$$\left(\frac{1}{8}\right)^2 \left(\frac{0{,}1}{0{,}1 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot \frac{1}{100}\ s = 156\ s$$

4. Polarisator

(a) Licht der Intensität $I_0 = 100\ W/m^2$ aus einer Halogenlampe falle auf einen idealen Linearpolarisator mit senkrechter Durchlassrichtung. Wie groß ist die Intensität bei Austritt? Hinter den ersten Polarisator schaltet man nun einen weiteren Linearpolarisator mit horizontaler Durchlassrichtung. Wie groß ist die Intensität nach dem zweiten Polarisator?

(b) Nun bringt man noch einen dritten Linearpolarisator zwischen die beiden ersten. Seine Durchlassrichtung ist um 45° gedreht. Wie groß ist nun die Intensität nach allen drei Polarisationen? Erklären Sie das auftretende "Paradoxon"!

(a) Nach Durchgang durch eine Folie bleibt die Hälfte der Intensität über, denn Licht kann ja immer in zwei senkrechte Komponenten aufgespalten werden. Also:

$$I_1 = \frac{I_0}{2} = 50\ W/m^2$$

Dann hat man eine gekreuzte Anordnung: D.h. es kommt gar keine Intensität mehr durch, denn alle horizontalen Komponenten sind ja zuvor herausgefiltert worden.

(b) Führt man den dritten Polarisator im Winkel von 45° ein, erhält man wieder Intensität. Zunächst nach dem zweiten Filter:

$$I_2 = \frac{I_0}{2} cos^2(45°) = \frac{I_0}{4} = 25\ W/m^2$$

Nach dem nächsten hat man wieder eine Halbierung der Intensität:

$$I_3 = \frac{I_2}{2} = 12{,}5\ W/m^2$$

Dies erscheint paradox. Wieso kommt wieder Intensität durch, wenn man in eine Anordnung, die nichts durchlässt, noch einen weiteren Filter hineinstellt? Die schwingenden Elektronen im zweiten Filter erzeugen wieder eine Komponente in der horizontalen Achse. Das linear polarisierte Licht dieses Filters lässt sich eben wieder in zwei senkrechte Komponenten zerlegen, die nun eben wieder eine geeignete Komponente enthalten. Diese Komponente wird also durch den Filter und den in ihm angeregten Schwingungen wieder erzeugt.