

---

# Klausur zur Experimentalphysik 3

Prof. Dr. L. Oberauer  
Wintersemester 2010/2011  
15. Februar 2011

---

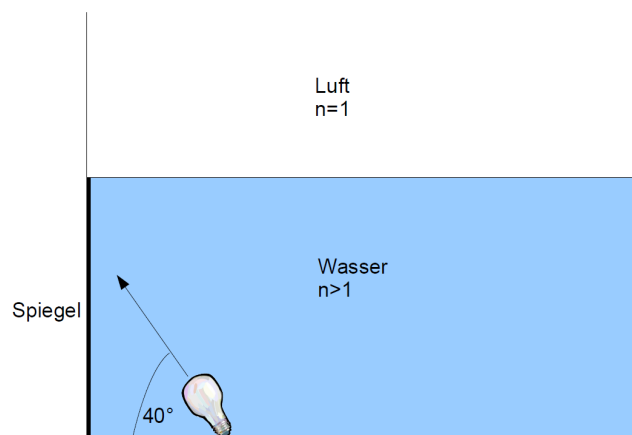
Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 beidseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Bearbeitungszeit 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

## Aufgabe 1 (7 Punkte)

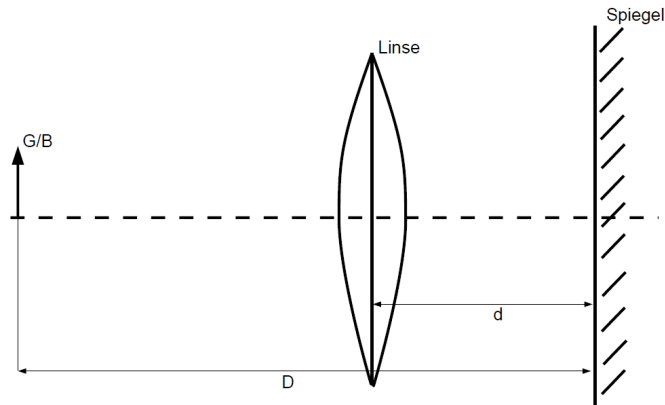
Die Brechzahl  $n$  in einem Medium ist eine Funktion der Frequenz. Es liegt also Dispersion vor. Im folgenden soll ein Wasserbecken indirekt beleuchtet werden. Dazu wird eine Lampe am Beckenboden angebracht. Das Licht fällt auf einen Spiegel, der an einer Seite des Beckens angebracht ist. Der Winkel zwischen Lichtstrahl und Beckenboden beträgt  $40^\circ$ . Vom Spiegel trifft der Lichtstrahl auf die glatte Wasser-Luft Grenzfläche. Die Brechzahl der Luft sei für alle Frequenzen  $n_L=1.000$ . Für Wasser sei die Brechzahl abhängig von der Frequenz, für rotes Licht  $n_R = 1.295$  und für grünes Licht  $n_G = 1.300$ .



- Übernehmen Sie die Zeichnung und skizzieren Sie qualitativ den Strahlengang.
- Bestimmen Sie die Lichtgeschwindigkeiten  $c_R$  für rotes und  $c_G$  für grünes Licht im Wasser.
- Berechnen Sie für rotes Licht alle Ein- und Ausfallswinkel, die an den optischen Grenzflächen auftreten. Geben Sie alle vier Winkel explizit an.
- Blaues Licht wird an der Wasser-Luft Grenzfläche totalreflektiert und läuft dann an der Grenzfläche entlang (Ausfallswinkel  $90^\circ$ ). Bestimmen Sie die Brechzahl  $n_B$  für blaues Licht.

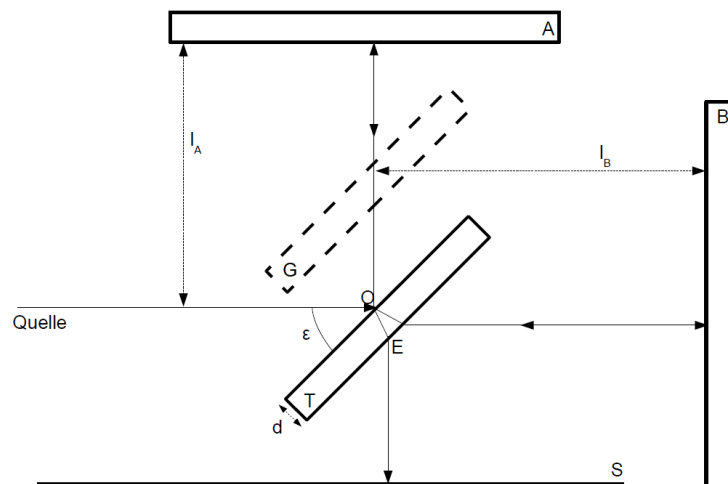
## Aufgabe 2 (6 Punkte)

In einem Abstand  $D = 2\text{m}$  vor einem ebenen Spiegel befindet sich ein Gegenstand  $G$ . Dieser soll durch eine zwischen  $G$  und dem Spiegel aufgestellte dünne Sammellinse der Brennweite  $f = 0.25\text{m}$  so abgebildet werden, dass sich der Gegenstand  $G$  und sein Bild  $B$  genau decken. In welchen Abständen  $d$  vom Spiegel kann die Linse aufgestellt werden, damit dies erreicht wird?



## Aufgabe 3 (12 Punkte)

Ein Michelson-Interferometer besteht aus zwei Spiegeln  $A$  und  $B$  und einer halbdurchlässigen Strahlteiler-Platte  $T$  der Dicke  $d = 2\text{mm}$  mit der Brechzahl  $n = 1.7$ . Sie ist um  $\epsilon = 45^\circ$  gegen den einfallenden Strahl geneigt. An ihrer Vorderseite wird das auftreffende Licht der Wellenlänge  $\lambda = 438\text{nm}$  in zwei Teilstrahlen aufgeteilt. Die Abstände zwischen  $T$  und  $A$  bzw.  $B$  sind  $l_A$  bzw.  $l_B$ .



- Die Platte  $G$  sei zunächst nicht vorhanden. Berechnen Sie die optischen Weglängen  $x_A = \overline{OAOE}$  und  $x_B = \overline{OBOE}$  der beiden Teilstrahlen. Wie groß ist der optische Gangunterschied  $\Delta = x_B - x_A$  zwischen den Strahlen, wenn  $l_A = l_B$  ist?
- In den Strahlengang zu Spiegel  $A$  wird nun eine Glasplatte  $G$  derselben Brechzahl und Dicke wie  $T$  parallel zu  $T$  aufgestellt. Wie groß ist jetzt  $\Delta$ ?
- Welche Eigenschaft muss das von der Quelle  $Q$  ausgesandte Licht haben, damit auf dem Schirm  $S$  Interferenzerscheinungen entstehen? Welche Bedingung muss dann  $\Delta$  erfüllen, damit am Schirm maximale Helligkeit zu sehen ist?

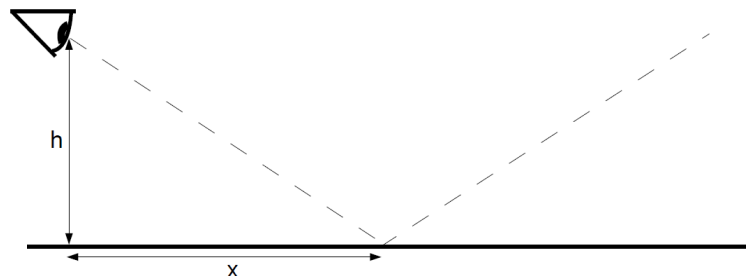
#### Aufgabe 4 (5 Punkte)

Ein einfaches astronomisches Fernrohr besteht aus einer Sammellinse als Objektiv und einem Okular, mit dem ein vom Objektiv erzeugtes, reelles Zwischenbild beobachtet wird.

- Skizzieren Sie den Strahlengang des Fernrohres.  
**Hinweis:** Man beobachtet mit entspanntem Auge, das "auf unendlich" eingestellt ist.
- Welche Brennweite hat das Objektiv des Fernrohres, wenn der Mond im Zwischenbild 1cm Durchmesser hat? Der Winkeldurchmesser des Mondes sei  $0.5^\circ$ .
- Welche Vergrößerung ergibt sich bei einer Brennweite des Okulars von 10mm?

#### Aufgabe 5 (11 Punkte)

Ein Student (Augenhöhe  $h = 150\text{cm}$ ) blickt auf eine Wasserpflanze ( $n_{\text{Wasser}} = 1.33$ ), welche mit einem dünnen Ölfilm der Dicke  $d$  bedeckt ist ( $d = 0.13\mu\text{m}$ ,  $n = 1.4$ ).



- In welchem Abstand  $x$  erscheint das vom Ölfilm reflektierte Licht rot ( $\lambda = 650\text{nm}$ ), in welchem Abstand grün ( $\lambda = 530\text{nm}$ )? Das Licht erscheine rot (grün), wenn für die entsprechende Wellenlänge konstruktive Interferenz auftritt.
- Der Ölfilm verdunstet nun langsam. In welcher Richtung bewegt sich der rot reflektierende Teil des Films? Begründen Sie Ihre Antwort.
- In welchem Bereich kann die Schichtdicke variieren, damit man in niedrigster Ordnung genau einen Streifen roten Lichts beobachtet?

### Aufgabe 6 (9 Punkte)

- a) Licht der Intensität  $100\text{W/m}^2$  aus einer Halogenlampe falle auf einen idealen Linearpolarisator mit senkrechter Durchlassrichtung. Wie groß ist die Intensität beim 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  $45^\circ$  gedreht. Wie groß ist nun die Intensität nach allen drei Polarisierungen? Erklären Sie das auftretende "Paradoxon"!
- c) Ein Lichtstrahl wird durch zwei gekreuzte perfekte Polarisationsfilter geleitet, zwischen denen sich ein dritter, ebenfalls perfekter Polarisationsfilter befindet, der mit der Kreisfrequenz  $\omega$  rotiert. Zeigen Sie, dass der transmittierte Lichtstrahl mit der Frequenz  $4\omega$  moduliert ist. Wie verhalten sich Amplitude und Mittelwert der transmittierten zur einfallenden Flussdichte?

### Aufgabe 7 (7 Punkte)

Röntgenstrahlung mit einer Wellenlänge von  $20\text{pm}$  treffen auf freie Elektronen in einer dünnen Aluminiumfolie und werden durch den Compton-Effekt gestreut.

- a) Welche Energie und welchen Impuls hat ein Photon der eingehenden Röntgenstrahlung?
- b) Nach Streuung in der Folie werden Photonen unter einem Winkel von  $60^\circ$  relativ zur Eingangsrichtung gestreut. Wie groß ist der Anteil der Eingangsenergie der Photonen, den diese auf das Elektron übertragen? Welche Wellenlängenverschiebung tritt auf?
- c) Was ist der maximal mögliche Energieverlust, den ein Photon mit Wellenlänge  $\lambda$  erfahren kann?
- d) Warum betrachtet man gemeinhin nur den Fall der Streuung an freien Elektronen und nicht etwa an Protonen? Berechnen Sie die Comptonwellenlänge für ein Proton und kommentieren Sie diese.

### Anhang:

Elektrische Feldkonstante:	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elementarladung:	$e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Magnetische Feldkonstante:	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{VsA}^{-1}\text{m}^{-1}$
Boltzmannkonstante:	$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{JK}^{-1}$
Planck'sche Konstante:	$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$
Lichtgeschwindigkeit:	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$
Neutronenruhmasse:	$m_N = 1.6749 \cdot 10^{-27} \text{kg} = 939.57 \text{MeV}/c^2$
Elektronenruhmasse:	$m_e = 511 \text{keV}/c^2$