

---

# Probeklausur zur Experimentalphysik 3

Prof. Dr. L. Fabbietti, Dr. B. Ketzer

Wintersemester 2012/2013

10. Januar 2013

---

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 beidseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

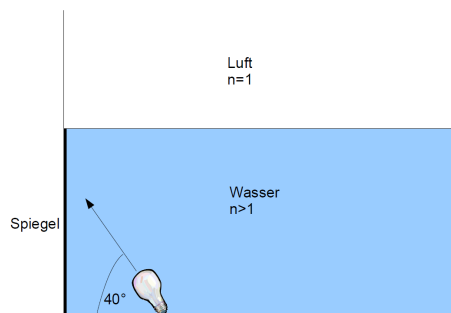
Bearbeitungszeit 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

## Aufgabe 1 (6 Punkte)

- Erklären Sie, warum ein Teil des Lichts des Himmels polarisiert ist. In welche Richtung ist das Licht polarisiert? Wann ist dieser Effekt am stärksten und warum?
- Überlegen Sie sich wie die Brillen in einem moderneren 3D-Film, funktionieren, bei dem der 3D-Effekt auch dann erhalten bleibt wenn der Betrachter seinen Kopf zur Seite neigt.
- Erklären Sie die Begriffe zeitliche und räumliche Kohärenz.

## Aufgabe 2 (6 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 den Strahlengang (mit Winkeln).
- Bestimmen Sie die Lichtgeschwindigkeiten  $c_R$  für rotes und  $c_G$  für grünes Licht im Wasser.

- (c) Berechnen Sie für rotes Licht alle Ein- und Ausfallswinkel, die an den optischen Grenzflächen auftreten. Geben Sie alle vier Winkel explizit an.
- (d) 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 3 (3 Punkte)

Betrachten Sie ein Gaußsches Wellenpaket

$$f(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(k) e^{i(kx - \omega t)} dk,$$

wobei

$$F(k) = \left( \frac{\sigma}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[ \frac{-(k - k_0)^2 \sigma^2}{2} \right]$$

eine Gauß-Funktion ist, zentriert um  $k = k_0$  und mit einer Varianz  $\sigma^{-2}$ .

- (a) Wie breitet sich dieses Wellenpaket in einem dispersionsfreien Medium mit  $\omega = vk$  aus (Erklärung)?
- (b) Wie breitet sich dieses Wellenpaket in einem Medium mit linearer Dispersionsrelation  $\omega = v_g k + \alpha$  aus (die Phasengeschwindigkeit ist in diesem Beispiel nicht konstant)?

### Aufgabe 4 (4 Punkte)

Die Transmissionsachsen zweier Polarisationsfolien seien gekreuzt, so dass kein Licht sie durchdringt. Eine dritte Folie werde so zwischen die ersten beiden gestellt, dass ihre Transmissionsachse mit der ersten einen Winkel  $\theta$  bildet. Umpolarisiertes Licht der Intensität  $I_0$  treffe auf die erste Folie. Geben Sie eine allgemeine Formel an, die den Zusammenhang von der durchgelassenen Intensität mit  $I_0$  und  $\theta$  beschreibt.

- (a) Skizzieren Sie den Verlauf der Funktion.
- (b) Berechnen Sie die Intensität des Lichts nach Durchgang durch alle drei Folien für  $\theta = 45^\circ$
- (c) für  $\theta = 30^\circ$

$$\text{Hinweis: } \sin \phi \cos \phi = \frac{1}{2} \sin 2\phi$$

### Aufgabe 5 (7 Punkte)

Der Brechungsindex von Luft bei  $T = 300\text{K}$  und Druck  $p = 1\text{atm}$  beträgt  $n = 1.0003$  in der Mitte des sichtbaren Spektrums. Nehmen Sie bei  $T = 300\text{K}$  eine isotherme Atmosphäre an. Berechnen Sie den Faktor, um den die Erdatmosphäre dichter sein müsste, damit die Krümmung eines horizontalen Lichtstrahls der Erdkrümmung auf Meereshöhe entspräche. Dies würde bedeuten, dass man bei wolkenlosem Himmel die ganze Nacht lang einen romantischen Sonnenuntergang beobachten könnte. Allerdings wäre das Bild der Sonne stark vertikal gestaucht.

**Hinweis:** Der Brechungsindex  $n$  habe die Eigenschaft, dass  $n - 1$  proportional zur Dichte sei. In dieser isothermen Atmosphäre gilt die barometrische Höhenformel:

$$\rho(h) = \rho_0 \exp\left(-\frac{h}{8700\text{m}}\right), \quad (1)$$

wobei  $\rho(h)$  die Dichte sei,  $\rho_0$  die Dichte auf Meereshöhe und  $h$  die Höhe über der Meereshöhe ist, sodass gilt

$$n(r) - 1 = \rho \exp\left(-\frac{r - R}{8700\text{m}}\right), \quad (2)$$

wobei  $\rho$  der Dichtekoeffizient ist. Der Erdradius ist gegeben durch  $R = 6400 \times 10^3\text{m}$ . Denken Sie an das Fermatsche Prinzip.

### Aufgabe 6 (4 Punkte)

Licht der Wellenlänge  $\lambda = 589,3\text{nm}$  in Luft treffe so auf eine Scheibe Kalkspat ( $N_o = 1,65836$ ,  $N_{ao} = 1,48643$ ), dass der ordentliche und außerordentliche Strahl sich in die gleiche Richtung ausbreiten.

- (a) Wann ist dies der Fall?
- (b) Wie groß ist die Phasendifferenz  $\delta$  der beiden Strahlen nach Durchlaufen der Schichtdicke  $d = 2\lambda$ ?

Hinweis: Berechnen Sie zunächst die Anzahl der Wellenlängen, die die jeweiligen Strahlen im Kalkspat zurücklegen müssen.

### Aufgabe 7 (4 Punkte)

Berechnen Sie die Brennweite einer dicken bikonvexen Linse aus Kronglas SK 1 und den Krümmungsradien  $20\text{cm}$  und  $-20\text{cm}$ . Die Linse sei  $4\text{cm}$  dick und befinde sich in Luft ( $n_L = 1$ ,  $n_{KG} = 1,616$ ).

### Aufgabe 8 (8 Punkte)

Auf einer Wasserpflanze ( $n_W = 1,3$ ) schwimme eine dünne Ölschicht der Dicke  $d$ . Man betrachtet die Schicht und das darin reflektierte Sonnenlicht unter einem Winkel  $\alpha$  zur Normalen.

- (a) Zeigen Sie, dass die optische Wegdifferenz zwischen dem an der Grenzfläche Luft-Öl einfach reflektierten Strahl und dem an der Grenzfläche Öl-Wasser einfach reflektierten Lichtstrahl

$$\Delta s = 2d\sqrt{n_{\text{Öl}}^2 - \sin^2 \alpha} \quad (3)$$

beträgt und skizzieren Sie die Strahlengänge.

- (b) Geben Sie die Bedingung für konstruktive Interferenz zwischen den beiden reflektierten Lichtstrahlen an, wenn das Öl einen Brechungsindex von  $n_{\text{Öl}} = 1,6$  bzw.  $n_{\text{Öl}} = 1,2$  hat.
- (c) Berechnen Sie die minimale Dicke  $d$  der Ölschicht für  $n_{\text{Öl}} = 1,6$ , so dass das reflektierte Sonnenlicht bei Betrachtung unter einem Winkel von  $\alpha = 45^\circ$  grün ( $\lambda = 500\text{nm}$ ) erscheint.