

---

# Probeklausur in Experimentalphysik 3

Prof. Dr. S. Schönert  
Wintersemester 2016/17  
12. Dezember 2016

---

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Doppelseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

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

## Aufgabe 1 (8 Punkte)

Welche der folgenden Funktionen beschreibt eine **fortschreitende** Welle? A, B und C sind Konstanten. Begründen Sie Ihre Antworten rechnerisch.

- (a)  $\psi(z, t) = Ae^{(2z+3t)^2}$
- (b)  $\psi(z, t) = A(z + t + B)$
- (c)  $\psi(z, t) = A \sin(Bz^2 - Ct^2)$

## Aufgabe 2 (8 Punkte)

- (a) Welcher Anteil der auftretenden Amplitude  $r$  bzw. Intensität der Lichtes  $R$  wird vom Glas reflektiert ( $n = 1,6$ ) bzw. transmittiert ( $t, T$ )?

Zur Reflexionsminderung bringt man auf das Glas eine dünne Schicht eines Materials mit geringerem Brechungsindex auf. Die Schichtdicke wird dabei so bemessen, dass die an der Vorder- und Rückseite der Vergütungsschicht reflektierten Strahlen destruktiv interferieren - am besten bei gleicher Amplitude. Gehen Sie von senkrechtem Einfall aus.

- (b) Welchen Brechungsindex  $n_v$  muss eine dünne Vergütungsschicht haben, damit die Bedingung gleicher Amplituden erfüllt ist? Vernachlässigen Sie Vielstrahlinterferenz.

### Aufgabe 3 (16 Punkte)

Aus dem Oszillatormodell der Dispersion erhält man für verdünnte Gase die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten:

$$\epsilon(\omega) = 1 + \frac{e^2 N}{\epsilon_0 m_e} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}.$$

$N$ ,  $\omega_0$  und  $\gamma$  sind die Teilchendichte, Resonanzfrequenz und Dämpfungskonstante des Mediums.

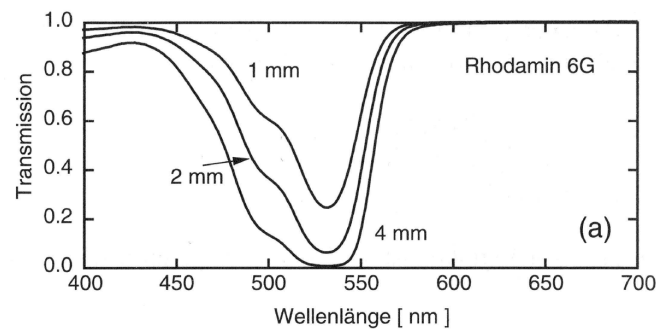
- (a) Wie lautet der Beitrag zu  $\epsilon(\omega)$ , der von der Bewegung freier Elektronen in einem Metall herrührt?

(Hinweis: Überlegen Sie, welche Rückstellkraft auf die Elektronen wirkt.)

- (b) Leiten Sie aus der Formel den Realteil  $\Re(n)$  und den Imaginärteil  $\Im(n)$  des Brechungsindex  $n$  her, und skizzieren Sie anschließend  $\Re(n)$  und  $\Im(n)$  um  $\omega_0$ . Verwenden Sie hierzu  $\epsilon = 1 + \delta$  mit  $|\delta| \ll 1$  sowie die Reihenentwicklung  $(1 + \delta)^n \approx 1 + n\delta$  (mit  $n \in \mathbb{Q}$ ).

- (c) Betrachten Sie nun eine ebene Welle  $E(t, z)$ , die sich in  $z$ -Richtung in einem verdünnten Gas mit Brechungsindex  $n = \Re(n) + i\Im(n)$  ausbreitet:  $E(z, t) = E_0 \cdot \exp(i\omega t - ikz)$ . Ersetzen Sie  $k$  mit Hilfe der Dispersionsrelation von Photonen (bzw. Licht) durch  $n$  und  $\omega$ , und bestimmen Sie die Intensität der Welle als Funktion von  $z$  in folgender Form:  $I(z) = I_0 \cdot \exp(-az)$ . (Die genaue Form von  $I_0$  ist hierbei nicht von Interesse). Wie lautet der sogenannte Extinktionskoeffizient  $a$ ?

- (d) In der praktischen Anwendung wird im Zusammenhang mit der Absorption von Licht oft die Transmission  $T$  verwendet:  $T = I(z)/I_0 = \exp(-az)$ . Die Abbildung unten zeigt das Transmissionsspektrum einer Farbstofflösung (Rhodamin 6G) für verschiedene Schichtdicken  $z$ . Ermitteln Sie hieraus ungefähr den Extinktionskoeffizient  $a$  für die Wellenlänge mit maximaler Absorption.

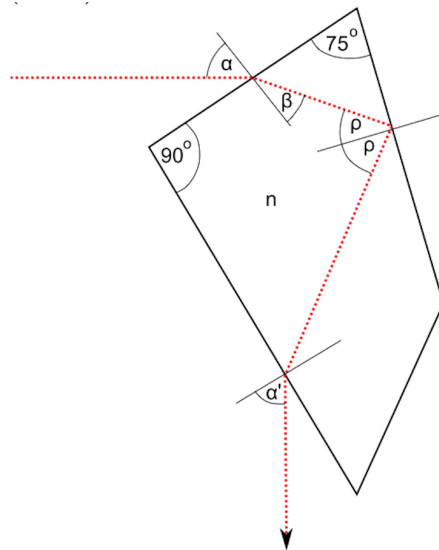


### Aufgabe 4 (6 Punkte)

Eine Lichtleitfaser hat einen Kerndurchmesser von  $d = 10 \mu\text{m}$ . Der Brechungsindex des Inneren der Faser sei  $n_1 = 1,60$ , der des Mantels  $n_2 = 1,59$ . Wie groß ist der minimale Krümmungsradius der Glasfaser, bei der die Totalreflexion für senkrecht einfallende Strahlen noch erhalten bleibt?

### Aufgabe 5 (9 Punkte)

Ein Prisma (Pellin - Broca - Prisma) soll verwendet werden um linear polarisiertes Licht verlustfrei umzulenken.



- Zeigen Sie rechnerisch, dass sich bei gleichen Einfallswinkel ( $\alpha = \alpha'$ ) ein Umlenkwinkel von  $90^\circ$  ergibt.
- Um die Reflexionsverluste möglichst klein zu halten, soll der einfallende Lichtstrahl das Prisma unter dem Brewsterwinkel treffen. Welchen Brechungsindex muss das Glas haben, um auch in diesem Fall einen Umlenkwinkel von  $90^\circ$  zu erreichen?
- Wie ändert sich der Austrittswinkel  $\alpha'$  qualitativ, wenn man die Wellenlänge des einfallenden Lichts zu kürzeren Wellenlängen verschiebt? Nehmen sie normale Dispersion an. Begründen Sie schrittweise.

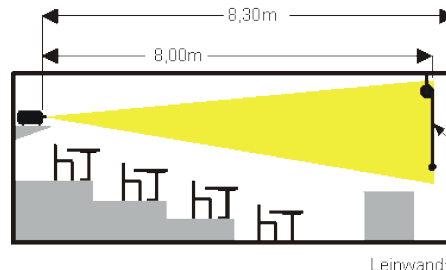
### Aufgabe 6 (8 Punkte)

Im Quarz ( $n = 1,55$ ) tritt für linear polarisiertes Licht, das parallel zur optischen Achse läuft, eine Drehung der Polarisationssebene auf. Sie beträgt für Na- Licht ( $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ )  $21,7^\circ$  pro cm. Man kann diese Drehung durch den Unterschied der Geschwindigkeiten von links- und rechtszirkular polarisierten Wellen ( $n \pm \Delta n$ ) erklären.

- Wie groß ist der Unterschied der Brechungsindizes für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht ?
- Wie groß ist der Unterschied der Phasengeschwindigkeit für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht ?

### Aufgabe 7 (8 Punkte)

In einem Hörsaal wurde ein Diaprojektor mit einer Objektivenbrennweite von 120mm verwendet, um Kleinbilddais (36 x 24 mm) auf eine 2 x 2 m große Leinwand in 8 m Entfernung zu werfen.



- (a) Finden sie eine Abschätzung, die zeigt, dass die Leinwand zu klein ist. Tipp: Die Entfernung zur Wand ist viel größer als die Brennweite, also praktisch unendlich.
- (b) Um das Dia richtig darzustellen wird die Leinwand eingerollt und das Bild auf die 30cm dahinter liegende weiße Wand geworfen. Muss der Abstand zwischen Dia und Linse dazu vergrößert oder verkleinert werden? Berechnen sie nun den Abstand.
- (c) Der Diaprojektor soll nun gegen einen Beamer ausgetauscht werden (nehmen sie an das der Beamer genauso funktioniert wie der Diaprojektor, gleiche Gegenstandsgröße) der wegen der günstigeren Verkabelung in 3m Entfernung zur Leinwand an der Decke angebracht werden sollte. Der Hersteller bietet dazu 3 Objektive an: 45mm, 60mm und 90mm. Welches der Objektive sollte angeschafft werden?

### Aufgabe 8 (13 Punkte)

Welche Breite  $b_0$  muss ein nach außen gewölbter Spiegel in einem Kraftfahrzeug haben, damit der Fahrer eine Straße der Breite  $b = 6,0\text{m}$  am Wagenheck überblicken kann?

Der Spiegel, der sich in den Abständen  $b = 50,0\text{cm}$  vor dem Auge und  $l = 4,0\text{m}$  vor dem Wagenheck befindet, hat den Krümmungsradius  $r = 50,0\text{cm}$ . Fertigen Sie eine Skizze an.

*Hinweis:* Auge des Fahrers und Straßenmitte sollen zur Vereinfachung auf der optischen Achse des Spiegels liegen.

### Konstanten

Elektrische Feldkonstante:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$   
Lichtgeschwindigkeit:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$