
Klausur in Experimentalphysik 3

Prof. Dr. S. Schönert
Wintersemester 2017/18
19. Februar 2018

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.

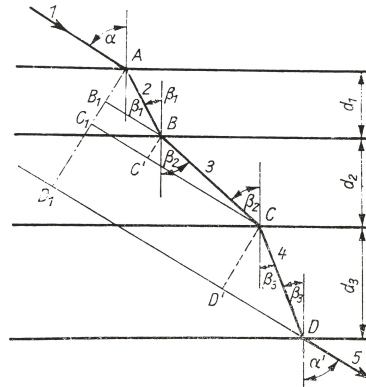
Aufgabe A (10 Punkte)

- (a) Was ist die mikroskopische Ursache für die Dispersion von Licht in Materie?
- (b) Nenne zwei verschiedene Abbildungsfehler. (Linsenfehler)
- (c) Welchen Zusammenhang gibt es zwischen einer beliebig geformten Blende und ihrem Beugungsbild im Fernfeld?
- (d) Wie lassen sich Effekte wie Beugung und Interferenz im Teilchenmodell beschreiben?
- (e) Welchen Einfluss hat die Expansion unseres Universums auf elektromagnetische Strahlung?
- (f) Warum entlädt sich ein negativ geladener Gegenstand, wenn man Licht (mit genügend hoher Energie) auf ihn strahlt, aber nicht ein positiv geladener?
- (g) Welche Ruhemasse hat ein Photon?
- (h) Ein Gegenstand steht zwischen dem Brennpunkt und der Mitte einer Sammellinse. Was kann man über das Bild sagen?
- (i) Warum funktioniert kein 2-Niveau-Laser?
- (j) Welche physikalische Erscheinung tritt bei pointillistischen Gemälden auf?

Aufgabe 1 (7 Punkte)

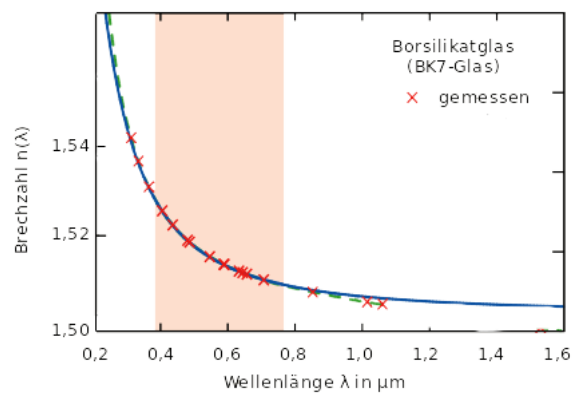
Ein Lichtstrahl, der sich zunächst in Luft ausbreitet, durchdringt nacheinander drei unterschiedlich brechende Substanzen. Diese sind durch parallele, ebene Begrenzungsflächen voneinander getrennt. Nach dem Durchdringen dieser Stoffe tritt der Lichtstrahl erneut in Luft ein. Es ist nachzuweisen, dass der in die Luft austretende Strahl nach mehrfacher Brechung gegenüber dem einfallenden Strahl nur parallel verschoben ist. Bestimmen sie den Betrag dieser Parallelverschiebung (siehe Abbildung).

Die Brechzahlen der einzelnen Medien sind $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,3$, $n_3 = 1,4$, die Dicken der aufeinanderfolgenden planparallelen Schichten sind $d_1 = 2$ cm, $d_2 = 3$ cm, $d_3 = 4$ cm. Der Primärstrahl fällt auf die oberste Fläche unter dem Winkel $\alpha = 60^\circ$ ein.



Aufgabe 2 (13 Punkte)

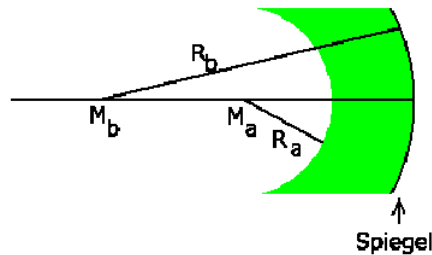
Unpolarisiertes Licht der Wellenlängen $\lambda_1 = 700 \text{ nm}$ und $\lambda_2 = 405 \text{ nm}$ fällt auf eine Borsilikatglasplatte.



- Wie groß ist der Reflexionsgrad ρ der Platte bei senkrechtem Einfall des Lichts für beide Wellenlängen?
- Bei welchen Einfallswinkeln ϑ_{lp} ist das reflektierte Licht der beiden Wellenlängen vollständig linear polarisiert und in welche Richtung ist es polarisiert? Erklären Sie kurz den zugrundeliegenden Effekt und zeichnen Sie eine Skizze.
- Betrachten Sie nun den umgekehrten Strahlengang (Kronglas \rightarrow Luft). Bei welchen Einfallswinkeln ist das an der Grenzfläche Kronglas-Luft ins Glas zurück reflektierte Licht vollständig linear polarisiert? Wie groß sind hier die Grenzwinkel der Totalreflexion?
- Welche Werte haben in allen Fällen die Brechungswinkel ϑ ?

Aufgabe 3 (14 Punkte)

Die nachfolgende Skizze zeigt eine Spiegellinse, bei der die äußere Grenzfläche verspiegelt ist. Die Krümmungsradien der sphärischen Grenzflächen seien R_a und R_b , das Linsenmaterial habe den Brechungsindex n . Die gesamte Linse befindet sich in Luft mit dem Brechungsindex $n_0 = 1$. Nehmen Sie nachfolgend an, dass der Abstand d der beiden Grenzflächen vernachlässigbar klein ist (Näherung für dünne Linsen.)



- (a) Berechnen Sie die Brechkraft dieser Spiegellinse in paraxialer Näherung mit Hilfe der Matrixmethode.

Hinweis: Nutzen Sie die Brechungsmatrix an einer Kreisfläche $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \left(\frac{n_1}{n_2} - 1\right) \frac{1}{R} & \frac{n_1}{n_2} \end{pmatrix}$ und die

Spiegelmatrix an einer Kreisfläche: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R} & 1 \end{pmatrix}$ für den Komponentenvektor: $\vec{r} = \begin{pmatrix} r \\ \alpha \end{pmatrix}$

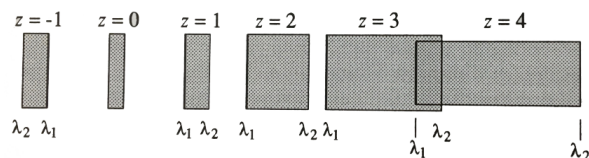
- (b) Eine Lichtquelle befinde sich im Mittelpunkt M_a der inneren Kugelschale. Wie müssen Sie das Verhältnis $\frac{R_b}{R_a}$ wählen, damit die von der Linse eingefangenen Lichtstrahlen das System parallel zur optischen Achse verlassen (mit Matrixmethode)?

Aufgabe 4 (3 Punkte)

Mit einem Teleskop werden zwei Objekte in 10 km Entfernung beobachtet, die 0,12 m voneinander entfernt sind und werden von Licht der Wellenlänge 600 nm beleuchtet. Bestimmen Sie den Durchmesser der Objektivlinse des Teleskops, sodass es die beiden Objekte gerade noch auflösen kann.

Aufgabe 5 (4 Punkte)

Ab einer bestimmten Beugungsordnung z können sich die von einem Beugungsgitter erzeugten Spektren aufeinanderfolgender Beugungsordnung teilweise überlappen (im Bild die Beugungsspektren der 3. und 4. Ordnung). Von welcher Ordnung z an überlappen sich die Spektren des sichtbaren Lichts zwischen $\lambda_V = 400$ nm (violett) und $\lambda_R = 780$ nm (rot) ?



Aufgabe 6 (9 Punkte)

Eine rotierende, runde Raumstation des Radius $R = 1\text{km}$ soll im Sirius-System errichtet werden. Sie soll in der Nähe eines erdgroßen Diamant-Planeten ($R_{\text{Planet}} = 6000\text{km}$) errichtet werden. Sirius ist viel größer ($R_{\text{Sirius}} = 1 \cdot 10^9\text{m}$) und heißer als die Sonne ($T_S = 10000^\circ\text{K}$) und hat einen kleinen Abstand $D_{\text{Planet-Sirius}} = 3,47 \cdot 10^9\text{m}$ von Sirius Mittelpunkt zum Planeten.

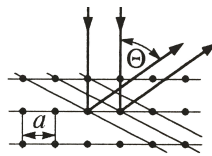
- (a) Welche Temperatur hätte die Raumstation, wenn sie so beschichtet ist, dass sie 30% aller einfallenden Strahlung reflektiert?
- (b) Wo läge das Maximum der abgestrahlten Strahlung der Raumstation?

Das ist natürlich zu heiß. Deshalb soll die Raumstation im Schatten hinter dem Planeten gebaut werden, der auf Grund seiner Rotation eine konstante Oberflächentemperatur hat. Dort bekommt die Station keine Strahlung von Sirius ab.

- (c) In welchem Abstand hinter dem Planeten muss die (beschichtete) Raumstation gebaut werden, um eine Temperatur von $T_{\text{Station}} = 20^\circ\text{C}$ zu halten?

Aufgabe 7 (8 Punkte)

- (a) Zur Messung der De-Broglie-Wellenlänge von Elektronen werden diese senkrecht auf eine kristallographisch ausgezeichnete Oberfläche eines Nিকেleinkristalls gestrahlt. Bei einem Streuwinkel von $\Theta = 50^\circ$ wird die erste Braggsche Reflexion beobachtet. Wie groß ist die Wellenlänge der Elektronen, wenn der angegebene Abstand der Nickelatome $a = 2,16 \cdot 10^{-10}\text{m}$ beträgt?



- (b) Welche Geschwindigkeit hat ein Elektron, dessen De-Broglie-Wellenlänge gleich seiner Compton-Wellenlänge ist?

Aufgabe 8 (8 Punkte)

Die quantenmechanische Wellenfunktion eines Teilchens sei gegeben durch

$$\psi(x) = N e^{-|x|/a} \quad (1)$$

- (a) Bestimmen Sie den Normierungsfaktor N . Warum ist die normierte Wellenfunktion notwendig für die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Quantenmechanik? Welche Einheit hat die Wellenfunktion?
- (b) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, das Teilchen exakt am Ort $x = 0$ zu finden? Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, das Teilchen im Intervall $[0, a]$ zu finden?

Konstanten

Elektrische Feldkonstante:	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elementarladung:	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Planck'sche Konstante:	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$
Lichtgeschwindigkeit:	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$
Elektronenruhemasse:	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$
Stefan Boltzmann Konstante:	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$
Wiensche Verschiebungskonstante:	$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{mK}$