

Aufgabe 1

Eine Sammellinse mit der Brennweite $f_S = 2 \text{ cm}$ steht in einem Abstand von 8 cm vor einer Zerstreuungslinse mit der Brennweite $f_Z = -1 \text{ cm}$. Im Abstand $g = 3 \text{ cm}$ vor der Sammellinse befindet sich ein Gegenstand der Höhe $G = 1 \text{ cm}$. Der Gegenstand wird durch die Sammellinse in das Zwischenbild B_S abgebildet. Das Zwischenbild wird durch die Zerstreuungslinse in das endgültige Bild B abgebildet.

- Fertigen Sie eine Skizze des Strahlengangs unter der Verwendung charakteristischer Strahlen an.
- Berechnen Sie die Bildweiten b_S des Zwischenbildes und b des endgültigen Bildes.
- Berechnen Sie die Bildhöhen B_S des Zwischenbildes und B des endgültigen Bildes.
- Ist das endgültige Bild reell oder virtuell? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Ist das endgültige Bild in Bezug auf den Gegenstand aufrecht oder invertiert? Begründen Sie Ihre Antwort.
- An welche Position müssen Sie die Zerstreuungslinse verschieben, um ein holländisches (Galileisches) Fernrohr zu erhalten?
- Zeichnen Sie den Strahlengang durch das Fernrohr unter Verwendung zweier geeigneter charakteristischer Strahlen, die parallel zueinander in die Sammellinse einfallen.
- Berechnen Sie die Vergrößerung $V = \alpha'/\alpha$ des Fernrohrs (α, α' : Einfallswinkel und Ausfallswinkel des Lichts relativ zur optischen Achse). Verwenden Sie dazu die Matrixmethode.

Hinweis: Abbildungsmatrix einer dünnen Linse mit Brennweite f : $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$, Translationsmatrix für eine Strecke d : $\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$.

Aufgabe 2

12 Punkte

In dieser Aufgabe wird jeweils eine monochromatische, senkrecht einfallende, ausgedehnte ebene Lichtwelle zur Beleuchtung verwendet.

a) Beugung am Spalt

Berechnen Sie die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes eines Dreifachspaltes mit Spaltabstand d . Benutzen Sie dazu die Transmissionsfunktion des Dreifachspaltes. Die Spaltbreite sei vernachlässigbar.

b) Michelson-Interferometer

- I. Zeichnen Sie die Skizze eines Michelson-Interferometers und beschriften Sie diese.
- II. Sie verschieben einen der beiden Spiegel des Interferometers um eine Strecke von $d = 2.5 \mu\text{m}$ in Strahlrichtung. Während des Verschiebens beobachten Sie das Auftreten von 10 Intensitätsmaxima auf dem Schirm. Wie groß ist die Wellenlänge des verwendeten Lichts?
- III. Zwischen den Strahlteiler und einen der Spiegel des Interferometers wird eine durchsichtige Kammer gestellt, in der ein Vakuum herrscht und die in Strahlrichtung die Länge $L = 10 \text{ cm}$ hat. Die Kammer wird bis zum Atmosphärendruck mit Gas gefüllt. Während des Befüllens beobachten Sie das Auftreten von 200 Intensitätsmaxima auf dem Schirm. Wie groß ist der Brechungsindex des eingefüllten Gases?

Aufgabe 3

- a) Ein Lichtstrahl (unpolarisiert) fällt unter dem Brewster-Winkel aus Luft auf eine Grenzfläche zu einem Medium mit einem Brechungsindex $n > 1$. Zeigen Sie in einer Skizze, wie der reflektierte und der gebrochene Strahl polarisiert sind. Wie kann man den Brewster-Winkel nutzen, um für den gebrochenen Strahl linear polarisiertes Licht zu erzeugen?
- b) Ein Lichtstrahl (unpolarisiert) fällt senkrecht (Einfallswinkel 0° zum Lot) auf einen doppelbrechenden Kristall, dessen optische Achse um einen Winkel α gegen die Eintrittsfläche geneigt ist. Zeigen Sie in einer Skizze, wie das Licht sich im Kristall ausbreitet und welche Polarisation es hat. Wie kann man Doppelbrechung nutzen, um linear polarisiertes Licht zu erzeugen?
- c) Eine Lichtwelle (Wellenlänge λ) hat in kartesischen Koordinaten den Feldstärkevektor

$$\vec{E}(t, z) = E_0 \begin{pmatrix} -\sin(\omega t - kz) \\ \cos(\omega t - kz) \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Wie ist die Welle polarisiert (linear, zirkular, elliptisch oder unpolarisiert)?

- d) Die Welle durchläuft eine $\lambda/4$ -Platte minimaler Dicke, deren optische Achse parallel zur x-Achse orientiert ist. Für die Brechungsindizes senkrecht und parallel zur optischen Achse gilt $n_s > n_p$. Geben Sie den Feldstärkevektor \vec{E}_1 der Welle nach Durchgang durch die Platte an. Wie ist die transmittierte Welle polarisiert?
- e) Anschließend durchläuft die Welle eine $\lambda/2$ -Platte minimaler Dicke, deren optische Achse parallel zur y-Achse orientiert ist (auch hier $n_s > n_p$). Geben Sie den Feldstärkevektor \vec{E}_2 der Welle nach Durchgang durch die zweite Platte an. Wie ist die transmittierte Welle polarisiert? Vergleichen Sie mit der Polarisation in d).
- f) Schließlich durchläuft die Welle auf einer Strecke d ein optisch aktives Medium mit den Brechungsindizes n^* und n . Wie ist die Welle anschließend polarisiert? Vergleichen Sie mit der Polarisation in e).

Aufgabe 4

Ein einatomiges ideales Gas hat den Druck p_a , das Volumen V_a und die innere Energie U_a . Das Gas soll in zwei reversiblen Schritten auf den Druck $p_e < p_a$, das Volumen $V_e > V_a$ und die innere Energie $U_e < U_a$ gebracht werden. Wir betrachten vier verschiedene Möglichkeiten der Prozessführung:

- Schritt 1 \rightarrow 2: isobare Expansion; Schritt 2 \rightarrow 3: isochore Druckabsenkung
- Schritt 1 \rightarrow 2: isochore Druckabsenkung; Schritt 2 \rightarrow 3: isobare Expansion
- Schritt 1 \rightarrow 2: isotherme Expansion; Schritt 2 \rightarrow 3: isochore Druckerhöhung
- Schritt 1 \rightarrow 2: adiabatische Expansion; Schritt 2 \rightarrow 3: isochore Druckerhöhung

Skizzieren Sie für jede der vier Möglichkeiten ein $p(V)$ -Diagramm (mit Richtung) und berechnen Sie die Arbeit ΔW , die am Gas verrichtet wird sowie die übertragene Wärme ΔQ .

- Ein neues Szenario: Ein einatomiges ideales Gas durchläuft eine einzige reversible Zustandsänderung. Berechnen Sie die Entropieänderung ΔS für den Fall, dass diese Zustandsänderung i) isobar, ii) isochor, iii) isotherm, iv) adiabatisch ist.
- Wie viele Translations-, Rotations- und Vibrationsfreiheitsgrade hat ein lineares zweiatomiges Gasmolekül? Erklären Sie anhand von Skizzen, wie die Freiheitsgrade zustande kommen. Diskutieren Sie die den Einfluss der Temperatur. Wie groß ist die mittlere Energie pro Freiheitsgrad im thermodynamischen Gleichgewicht?

Aufgabe 5

12 Punkte

- a) Wie lautet die thermische Zustandsgleichung idealer Gase (allgemeine Gasgleichung)?
- b) Wie kann diese nach Van-der-Waals modifiziert werden, um das Verhalten realer Gase besser zu beschreiben? Erklären Sie insbesondere die physikalische Bedeutung der beiden neuen Parameter a und b , die zu diesem Zweck eingeführt wurden.
- c) Skizzieren Sie das p - T -Phasendiagramm eines realen Gases.
- d) Welche physikalische Bedeutung hat der kritische Punkt?
- e) Am kritischen Punkt hat das Gas die Temperatur $T_C = \frac{8a}{27bR}$. Wie verhält sich T_C mit zunehmendem a , wie mit zunehmendem b ? Erklären Sie dies anschaulich aus der physikalischen Bedeutung von a und b .
- f) Um ein (ideales oder reales) Gas zu verflüssigen, muss man seine Temperatur unter die druckabhängige Siedetemperatur absenken. Ein mögliches Verfahren dazu ist die adiabatische Expansion gegen einen äußeren Druck. Zeigen Sie, dass die Temperatur eines Gases bei diesem Vorgang sinkt.
- g) Nenne Sie ein weiteres Verfahren zur Verflüssigung von realen Gasen und beschreiben Sie es mit einem Satz.