

Aufgabe 1

12 Punkte

Eine Sammellinse L1 mit der Brennweite $f_1 = 3 \text{ cm}$ steht in einem Abstand von $6,5 \text{ cm}$ vor einer zweiten Sammellinse L2 mit der Brennweite $f_2 = 2 \text{ cm}$. Im Abstand $g = 1 \text{ cm}$ vor L1 befindet sich ein Gegenstand der Höhe $G = 1 \text{ cm}$. Der Gegenstand wird durch L1 in das Zwischenbild B_s abgebildet. Das Zwischenbild wird durch L2 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.

Nun wird der Gegenstand G auf einen Abstand $g = 5 \text{ cm}$ vor L1 gesetzt. Der Abstand zwischen L1 und L2 soll so verändert werden, dass ein Mikroskop entsteht.

- Wie groß muss der Abstand der beiden Sammellinsen L1 und L2 voneinander sein, damit Ihr Auge bei der Betrachtung des Gegenstandes G durch das Mikroskop vollkommen entspannt bleiben kann und nicht akkommodieren muss?
- Zeichnen Sie den Strahlengang für die Abbildung des Gegenstandes G durch das Mikroskop für den in e) bestimmten Abstand zwischen L1 und L2 mit charakteristischen Strahlen.
- Sie betrachten durch das Mikroskop eine Probe, welche durch Fluoreszenz leuchtende Moleküle mit einem Durchmesser von einem Nanometer enthält. Wie groß muss der Abstand zwischen den Molekülen mindestens sein, damit man sie als getrennt erkennen kann? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 2

12 Punkte

Ein ideales Gas durchläuft den Ericsson-Kreisprozess, der aus zwei Isothermen und zwei Isobaren besteht:

- I) Isotherme Kompression bei $T = T_1$ von (p_1, V_1) auf (p_2, V_2) mit $p_2 > p_1$
- II) Isobare Erwärmung bei $p = p_2$ von (T_1, V_2) auf (T_2, V_3) mit $T_2 > T_1$
- III) Isotherme Expansion bei $T = T_2$ von (p_2, V_3) auf (p_1, V_4)
- IV) Isobare Abkühlung bei $p = p_1$ von (T_2, V_4) auf (T_1, V_1)

- a) Geben Sie für jeden der vier Schritte des Prozesses den funktionellen Zusammenhang $p(V)$ unter Verwendung der Konstanten T_1 , T_2 und V_i ($i = 1, 2, 3, 4$) an.
- b) Skizzieren Sie den Kreisprozess im p - V -Diagramm. Nummerieren Sie im Diagramm die Schritte I-IV. Zeichnen Sie außerdem auf den Achsen die Positionen von p_1 und p_2 sowie V_1 bis V_4 ein.
- c) Berechnen Sie die bei einem Umlauf insgesamt verrichtete Arbeit $\Delta W = \sum_{i=1}^{IV} \Delta W_i$. Drücken Sie das Ergebnis so aus, dass es nur noch von T_1 , T_2 , V_1 und V_2 abhängt.
Hinweis: Berechnen Sie in einem Zwischenschritt geeignete Verhältnisse der Volumina V_i ($i = 1, 2, 3, 4$) aus Ihren Ergebnissen in a).
- d) Berechnen Sie den Wirkungsgrad $\eta = |\Delta W|/Q_{34}$. Vergleichen Sie diesen mit dem Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses.

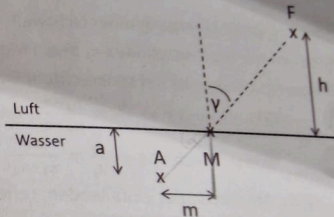
Aufgabe 3

12 Punkte

I. Lichtbrechung

Der Schützenfisch ernährt sich von ins Wasser gefallen Insekten. Er schießt seine Beute mit einem scharfen, gezielten Wasserstrahl von Uferpflanzen herunter.

Ein Schützenfisch hat eine Fliege auf einem Halm erspäht. Er sieht sie unter einem Winkel α zur Vertikalen. Sein Auge A befindet sich in einer Tiefe a senkrecht unter der Wasseroberfläche. Sein Maul M befindet sich genau an der Wasseroberfläche. Auge und Maul haben den horizontalen Abstand m . Die Fliege F sitzt in der Höhe h senkrecht über der Wasseroberfläche. Der Brechungsindex von Wasser ist n , der von Luft 1.



Unter welchem Winkel γ zur Vertikalen muss der Fisch spucken, um die Fliege zu treffen? Beachten Sie, dass der Punkt, an dem der Lichtstrahl von der Fliege zum Auge beim Eintritt ins Wasser gebrochen wird, nicht mit der Position des Mauls zusammenfällt.

II. Lichtstreuung

- An Objekten welcher Größe findet Rayleigh-Streuung von sichtbarem Licht statt? Nennen Sie ein Beispiel für ein solches Objekt. Wie hängt die Rayleigh-Streuung von der Wellenlänge ab? Welche Farben am Himmel kann man mit ihr erklären?
- An Objekten welcher Größe findet Mie-Streuung von sichtbarem Licht statt? Nennen Sie ein Beispiel für ein solches Objekt. Wie hängt die Mie-Streuung von der Wellenlänge ab? Welche Farben am Himmel kann man mit ihr erklären?

Aufgabe 4

12 Punkte

- I. Wie lauten die 3 Hauptsätze der Thermodynamik? Formulieren Sie zur Antwort jeweils einen Satz.
- II. Ein mit Helium (ideales Gas) gefüllter Ballon des Volumens V_0 steigt von der Höhe des Meeresspiegels ($p = p_0$) auf bis zu einer Höhe h , bei der sich sein Volumen verdoppelt hat. Die Temperatur der Atmosphäre und des Heliums im Ballon ist unabhängig von der Höhe konstant $T = T_0$. Vernachlässigen Sie den leichten Überdruck im Ballon.
- a) Wie viele Heliummoleküle befinden sich im Ballon?
 - b) Wie groß ist die innere Energie des Heliums im Ballon?
 - c) Bis zu welcher Höhe steigt der Ballon auf?
 - d) Um welchen Betrag ändert sich die Entropie des Heliums während des Aufsteigens?
 - e) Um welchen Betrag würde sich die Entropie des Heliums in einem alternativen Experiment ändern, bei dem man den Ballon auf seiner Anfangshöhe festhält und das Volumen des Heliums durch eine Temperaturerhöhung bei konstantem Druck verdoppelt?

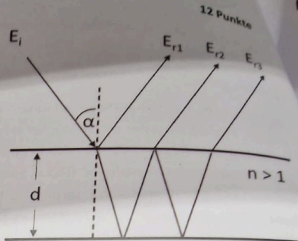
Aufgabe 5

Eine ebene Lichtwelle $E_i = E_0 e^{i(k_0 x - \omega t)}$ breitet sich in Luft aus und fällt näherungsweise senkrecht (Einfallswinkel $\alpha \approx 0$) auf ein Glasplättchen der Dicke d mit Brechungsindex $n > 1$.

Hinweis: Beim Übergang einer Lichtwelle von einem Medium mit Brechungsindex n_1 in ein Medium mit Brechungsindex n_2 ist bei senkrechtem Einfall der Reflexionskoeffizient $r = \frac{A_r}{A_i} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$, der

Transmissionskoeffizient $t = \frac{A_t}{A_i} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$

(A_i, A_r, A_t : Amplitude der einfallenden, reflektierten, transmittierten Welle).



- Geben Sie die Feldstärke E_{r1} der Teilwelle an, die durch Reflexion der Lichtwelle E_i an der ersten Grenzfläche des Glasplättchens entsteht. Welcher Phasensprung tritt auf?
- Geben Sie die Feldstärke E_{r2} der Teilwelle an, welche nach einer Reflexion an der zweiten Grenzfläche oben wieder durch das Glasplättchen austritt. Welcher Phasensprung tritt auf?

Im Folgenden berücksichtigen wir Mehrfachreflexionen innerhalb des Glasplättchens.

- Geben Sie die Feldstärke E_{r3} der Teilwelle an, welche nach zwei Reflexionen an der zweiten und einer Reflexion an der ersten Grenzfläche oben wieder durch das Glasplättchen austritt.
- Geben Sie die Feldstärken E_{r4} und E_{r5} nach entsprechenden Mehrfachreflexionen an.
- Berechnen Sie die Feldstärke E_r der resultierenden reflektierten Welle, die durch Überlagerung der Teilwellen $E_{r1}, E_{r2}, E_{r3}, E_{r4}, \dots, E_{r\infty}$ entsteht. Summieren Sie hierzu die Feldstärken der Teilwellen auf und vereinfachen Sie die Lösung so weit wie möglich.

Hinweis: $\sum_{m=0}^{\infty} q^m = \frac{1}{1-q}$.

- Skizzieren Sie die Intensität des durch das Plättchen transmittierten Lichts $I_T(\nu)$ abhängig von der Frequenz ν , i) wenn das Reflexionsvermögen der Grenzflächen mit $R = 0,1$ niedrig ist und ii) wenn es mit $R = 0,9$ hoch ist.
- Sie betrachten eine mit Öl verschmutzte Wasserpfütze und sehen ihre Oberfläche farbig schillern. Erklären Sie, warum dies der Fall ist.