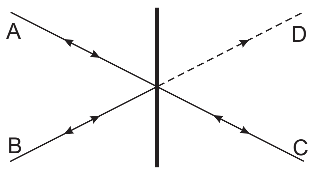
Prof. Dr. M. Wegener / Priv.-Doz. Dr. A. Naber
Übungen zur Klassischen Experimentalphysik III (Optik & Thermodynamik), WS 2012/13

ÜBUNGSAUFGABEN (IX)
(Besprechung am Donnerstag, 20.12.2012)

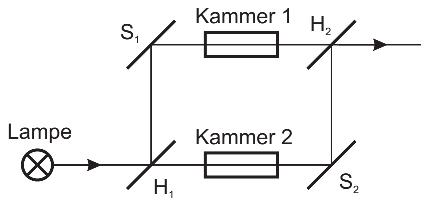
Aufgabe 1: (4 Punkte)



Ein planarer Spiegel trennt zwei Halbräume gleicher Brechzahl. Ein senkrecht zur Einfallsebene polarisierter Lichtstrahl A fällt schräg auf den Spiegel und wird ohne Dämpfung in einen reflektierten Strahl B und einen transmittierten Strahl C geteilt. Die Phasenverzögerung beim Durchgang durch den Spiegel sei δ. Bestimmen Sie den Phasensprung φ des elektrischen Feldes bei der Reflexion als Funktion von δ ohne weitere Kenntnis der Spiegeleigenschaften. Benutzen Sie dazu das Prinzip der Umkehrbarkeit der Lichtwege mit der Bedingung, dass für beide Richtungen der Strahl D verschwinden muss.

Hinweis: Mit reellen E_0 und α erhält man die Weg- und Zeitumkehr von $E = E_0 \mathrm{e}^{\mathrm{i}\alpha}$ durch das konjugiert Komplexe $E^* = E_0 \mathrm{e}^{-\mathrm{i}\alpha}$.

Aufgabe 2: (4 Punkte)

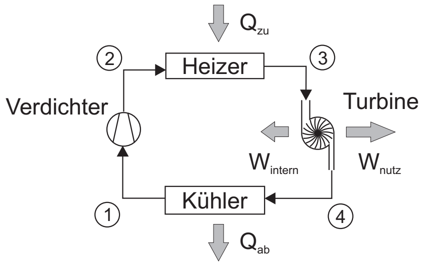


Mit einem Mach-Zehnder-Interferometer kann die Brechzahl von Gasen sehr genau bestimmt werden (siehe Skizze; S_1, S_2, H_1 und H_2 bezeichnen Spiegel bzw. halbdurchlässige Spiegel). Die Kammern der Länge $l = 23\,\mathrm{cm}$ sind mit Luft gefüllt ($P_0 = 1\,\mathrm{bar}$), deren Brechzahl n als Funktion vom Druck P gegeben ist durch $n = 1.0 + a\,P$ mit $a = 2.8 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{bar}^{-1}$. Wie viele Hell-Dunkel-Durchgänge können am Ausgang des Interferometers theoretisch beobachtet werden, während eine der beiden Kammern komplett ausgepumpt wird (Wellenlänge der Cd-Lampe ist $\lambda_0 = 644\,\mathrm{nm}$)? Tatsächlich ist die Sichtbarkeit weit schwächer, da Maxima und Minima der Interferenzen verschiedener Frequenzen sich überlagern. Etwa wie viele Hell-Dunkel-Durchgänge können daher beobachtet werden, wenn die spektrale Breite der Cd-Lampe $\Delta\nu/\nu = 2 \cdot 10^{-2}$ beträgt? Es genügt, wenn Sie zur Abschätzung zwei diskrete Frequenzen mit $\nu_{1,2} = \nu \pm \Delta\nu/2$ betrachten.

Aufgabe 3: (5 Punkte)

Die Luft in einer am Ausgang verschlossenen zylindrischen Fahrradpumpe mit Stempelfläche $A = 5\,\mathrm{cm}^2$ wird ausgehend von der Temperatur $T_0 = 20°\mathrm{C}$, dem Druck $P_0 = 1013\,\mathrm{hPa}$ und dem Volumen $V_0 = 200\,\mathrm{cm}^3$ auf $V = V_0/3$ adiabatisch komprimiert. Man nehme an, die Pumpe arbeite ohne Reibungsverluste und die Luft verhalte sich wie ein ideales Gas mit $f = 5$ Freiheitsgraden pro Molekül. Berechnen Sie den Temperaturanstieg ΔT des Gases, die zur Komprimierung aufgewandte Arbeit W sowie die bei maximaler Kompression benötigte Kraft F. Leiten Sie dafür zunächst die entsprechenden Endformeln als Funktion der Ausgangsgrößen und der Kompressionszahl $K = V_0/V$ her.

Aufgabe 4: (5 Punkte)



In einer früheren Aufgabe wurde die Leistung einer Gasturbine für ein ideales Gas berechnet. Die davon nutzbare Leistung ist erheblich kleiner, da im kontinuierlichen Betrieb Teile dieser Leistung im nächsten Zyklus zur Verdichtung des einströmenden Gases verwendet werden. Zur Berechnung des Wirkungsgrades η werde ein reversibler Kreisprozess mit zwei isentropen ($1 \to 2$ und $3 \to 4$) und zwei isobaren ($2 \to 3$ und $4 \to 1$) Prozessschritten betrachtet (siehe Skizze). Bestimmen Sie zunächst die dem Gas zugeführten Wärmen $Q_{i,i+1}$ und die am Gas geleisteten Arbeiten $W_{i,i+1}$ aller Prozessschritte $i \to i+1, i \in \{1..4\}$, als Funktion der Temperaturen T_i. Zeigen Sie dann, dass für den maximalen Wirkungsgrad gilt

$$\eta = \frac{|W_{\mathrm{nutz}}|}{Q_{\mathrm{zu}}} = 1 - \left(\frac{P_{\mathrm{a}}}{P_{\mathrm{b}}}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

mit der Gesamtarbeit W_{nutz}, der zugeführten Wärmeenergie $Q_{\mathrm{zu}} = Q_{23}$ und dem Adiabatenexponenten κ. Berechnen Sie η für $P_{\mathrm{a}} = 1\,\mathrm{bar}$, $P_{\mathrm{b}} = 10\,\mathrm{bar}$, $T_3 = 1000°\mathrm{C}$, $T_1 = 15°\mathrm{C}$ und $\kappa = 1.4$.