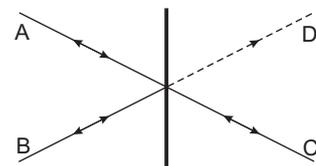


ÜBUNGSAUFGABEN (VII)

(Besprechung am Donnerstag, dem 9.12.2010)

Aufgabe 1: (4 Punkte)

Ein planarer Spiegel trennt zwei Halbräume gleicher Brechzahl. Ein s -polarisierter Lichtstrahl A fällt unter einem gegebenen Winkel auf den Spiegel und wird ohne Dämpfung in einen reflektierten und einen transmittierten Strahl geteilt. Die Phasenverzögerung beim Durchgang durch den Spiegel sei δ . Die optischen Eigenschaften der Halbräume und des Spiegels sind unabhängig von der Einfallsrichtung.



Bestimmen Sie den Phasensprung φ 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 $E = E_0 e^{i\alpha}$ durch das konjugiert Komplexe $E^* = E_0 e^{-i\alpha}$.

Aufgabe 2: (4 Punkte)

Für den planaren, symmetrischen Wellenleiter wurde in der Vorlesung eine Bedingung für die möglichen Moden bei TE-Polarisation hergeleitet, deren Lösung durch die Schnittpunkte zweier Graphen veranschaulicht wurde. Wie müssen die Graphen verlaufen, damit der Wellenleiter nur noch eine einzige Mode führen kann? Leiten Sie daraus ein Kriterium für die Schichtdicke in Abhängigkeit von den Brechzahlen n_H und n_L und der Wellenlänge des Lichts her. Wie groß ist für diese Grundmode dann die maximal mögliche Frequenz bei gegebener Dicke („cut-off“-Frequenz)?

Aufgabe 3: (4 Punkte)

Der thermodynamische Vergleichsprozess für einen idealen Ottomotor besteht aus vier reversiblen Prozessschritten: 1) Verdichten der angesaugten Luft (isentropische Kompression); 2) Isochore Wärmezufuhr beim Volumen $V = V_a$ durch Einspritzen und Zünden des Kraftstoffs; 3) Arbeitsleistung durch isentrope Expansion; 4) Isochore Wärmeabgabe bei $V = V_b$ durch Ausblasen des Abgases und Ansaugen von Frischluft. Stellen Sie den Kreisprozess im P - V - und im T - S -Diagramm dar. Bestimmen Sie dann für jeden Prozessschritt $i \rightarrow i + 1$, $i \in \{1..4\}$, die dem Gas zugeführten Wärmen $Q_{i,i+1}$ und die am Gas geleisteten Arbeiten $W_{i,i+1}$. Das Arbeitsgas soll dazu als ideales Gas mit Adiabatenexponenten κ betrachtet werden. Zeigen Sie, dass für den maximalen Wirkungsgrad gilt

$$\eta = \frac{|W_{\text{nutz}}|}{Q_{\text{zu}}} = 1 - \left(\frac{V_a}{V_b} \right)^{\kappa-1}$$

mit der Nutzarbeit W_{nutz} und der zugeführten Wärme Q_{zu} .

Hinweis: Die Summe der Entropieänderungen $\Delta S_{i,i+1}$ ist bei einem Kreisprozess Null.

Aufgabe 4: (4 Punkte)

Ein Hufschmied bearbeitet zwei Hufeisen bei der Temperatur $T_1 = 1273 \text{ K}$ und wirft eines davon zur raschen Abkühlung in kaltes Wasser. Wegen eines dringenden Anrufs legt er das zweite Eisen beiseite, welches daraufhin nur langsam abkühlt. Erst am nächsten Tag kommt er dazu, die Arbeit fortzusetzen. Beide Hufeisen haben inzwischen die Umgebungstemperatur $T_0 = 293 \text{ K}$ angenommen.

- Beschreiben Sie für beide Hufeisen den Prozessverlauf inklusive Teilprozesse hinsichtlich Wärmefluss, Reversibilität und thermodynamisches Gleichgewicht.

- b) Auf welche dieser Prozesse darf die Gleichung $dU = TdS - PdV$ direkt angewendet werden? Begründen Sie das und berechnen Sie dann für diese durch Integration die Entropiedifferenz von Anfangs- und Endzustand.
- c) Kann man auch für die übrigen Prozesse oder Teilprozesse die Entropiedifferenz exakt oder näherungsweise bestimmen? Begründen Sie das und berechnen Sie diese falls möglich. Wie groß ist demzufolge der Unterschied der Entropien beider Hufeisen im Endzustand?

Hinweise: Die Masse der Hufeisen sei $m = 0.4 \text{ kg}$. Ihre innere Energie sei gegeben durch $U = m c_e T$ mit $c_e = 450 \text{ J/kg K}$, Wärmeausdehnung und innere Struktur werden vernachlässigt. Das abgeschlossene Gesamtsystem bestehe nur aus Hufeisen, Wasser und unmittelbarer Umgebung. Machen Sie gegebenenfalls weitere („vernünftige“) Vereinfachungen.