

Aufgabe 2: Kreisprozess

(12 Punkte)

100 mol eines idealen Gases mit 5 Freiheitsgraden befinden sich bei einer Temperatur von 50°C unter einem Druck von 150 bar. Nacheinander werden jetzt folgende Schritte durchlaufen:

- 1 \rightarrow 2 1,00 MJ Wärme werden isobar zugeführt.
- 2 \rightarrow 3 Das Gas wird adiabatisch expandiert, bis die Anfangstemperatur wieder erreicht ist.
- 3 \rightarrow 1 Bei gleicher Temperatur wird wieder in den Anfangszustand verdichtet.

- a) Stellen Sie den Prozess im p-V-Diagramm schematisch dar.
- b) Berechnen Sie den Adiabatenkoeffizienten des Gases.
- c) Berechnen Sie für die Eckpunkte jeweils Temperatur, Druck und Volumen.
- d) Welche Wärmemengen werden dem System in den einzelnen Schritten zugeführt, und wieviel Arbeit wird jeweils am System geleistet?
- e) Welche nutzbare Arbeit kann mittels dieses Prozesses pro Zyklus verrichtet werden? Wie sieht die Energiebilanz aus?
- f) Geben Sie den thermischen Wirkungsgrad an und vergleichen Sie ihn mit dem Wirkungsgrad eines Carnot-Prozesses, der mit den gleichen Temperaturen arbeitet.

Aufgabe 3: Doppelleitung

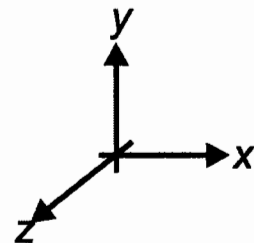
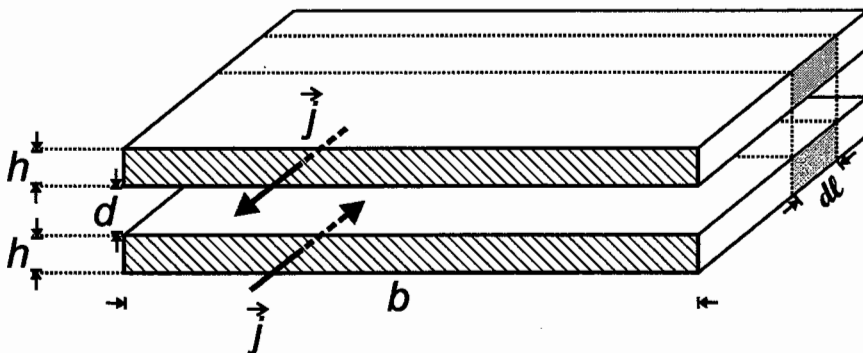
(9 Punkte)

Eine Doppelleitung sei aus zwei sehr flachen Metallbändern der Breite b (x -Richtung) und der Höhe h (mit $h \ll b$) aufgebaut, die von entgegengesetzten gerichteten, betragsgleichen Strömen I durchflossen werden (in z -Richtung). Die Bänder sind dicht übereinander im Abstand d mit $d \ll b$ angeordnet (siehe Skizze).

Die magnetische Flussdichte \vec{B} in sehr kleinem Abstand zu einem flachen, von einem Strom der Stromdichte \vec{j} durchflossenen Leiter der Dicke h ist durch ein homogenes konstantes Feld gegeben, mit dem Betrag:

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 j h.$$

- Welche Richtung hat das \vec{B} -Feld zwischen den beiden Leitern für die in der Abbildung gezeigte Anordnung?
- Unter Vernachlässigung von Randeffekten berechne man in Abhängigkeit vom Strom I die Energie, die in einem Volumen der Länge dl (in z -Richtung) zwischen den beiden Leiterbahnen im Magnetfeld gespeichert ist.
- Berechnen Sie die Selbstinduktivität L^* pro Einheitslänge in z -Richtung der Doppelleitung.
- Berechnen Sie die Kapazität C^* pro Einheitslänge in z -Richtung der Doppelleitung.
- Zeigen Sie, dass das Produkt $L^* C^*$ eine von den geometrischen Abmessungen unabhängige Größe ist und die Dimension eines reziproken Geschwindigkeitsquadrates hat.

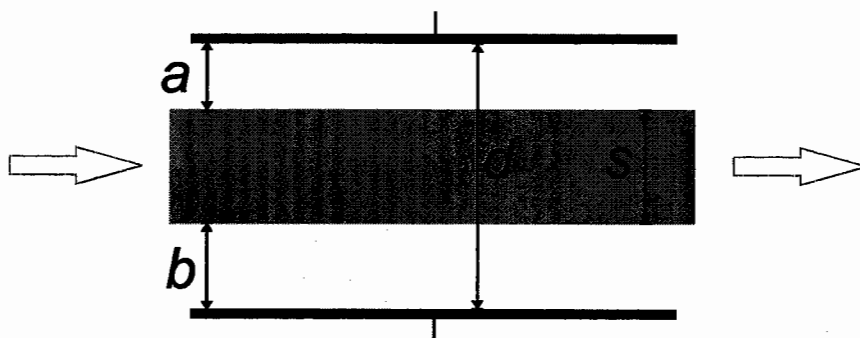


Aufgabe 4: Papiermaschine

(4 Punkte)

Die Produktion einer Papiermaschine wird durch kapazitive Papierdickenmessung kontinuierlich und berührungsfrei überwacht, indem die hergestellte Papierbahn (relative Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r = 2,4$) zwischen zwei feststehenden, parallelen Metallplatten der Fläche $A = 0,1 \text{ m}^2$ und mit dem Abstand $d = 4 \text{ mm}$ hindurch läuft und dabei die Kapazität gemessen wird.

- Wie groß ist die Kapazität C_0 der Anordnung, wenn kein Papier hindurch läuft?
- Welche Dicke hat das Papier, wenn die Kapazität $C = 239 \text{ pF}$ gemessen wird ($a = 1,5 \text{ mm}$) ?

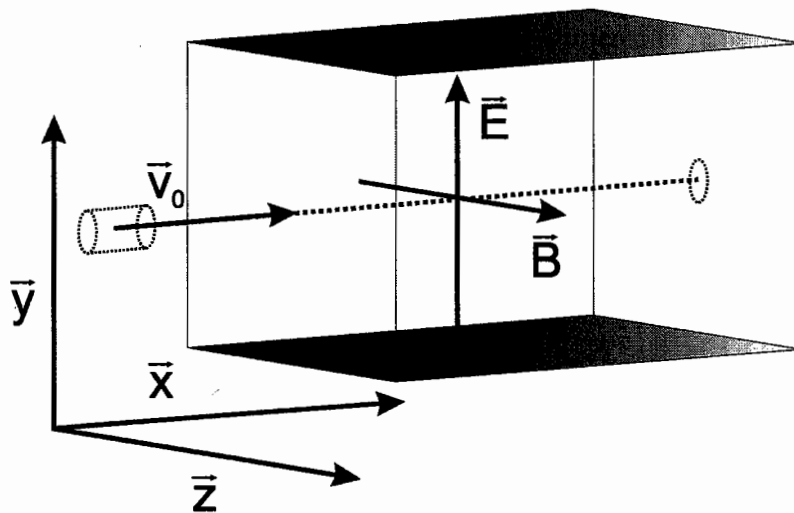


Aufgabe 5: $\vec{E} \times \vec{B}$ – Feld

(9 Punkte)

Protonen (Ladung $q = +e$, Masse $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg) werden auf eine kinetische Energie $E_{\text{kin}} = 5$ keV beschleunigt und treten durch eine Blende in x -Richtung in eine Vakuumröhre ein. Hier herrscht ein Magnetfeld mit der magnetischen Flussdichte $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$ der Stärke $B_0 = 0,1$ T. Außerdem kann hier über Kondensatorplatten ein elektrisches Feld erzeugt werden: $\vec{E} = E_0 \vec{e}_y$.

- Stellen Sie die dreidimensionale Bewegungsgleichung der Elektronen in Vektorschreibweise auf (in Abhängigkeit von E_0 und B_0).
- Welche Bedingungen ergeben sich aus der Bewegungsgleichung, damit die Protonen in x -Richtung keine Beschleunigung erfahren?
- Wie groß muss das elektrische Feld sein, damit die Protonen die Anordnung auf geradem Weg verlassen können (z.B. durch eine zweite Blende)?
- Wenn $\vec{E} = 0$ gesetzt wird, beobachtet man, dass die Protonen eine Kreisbahn mit einem Radius von $r = 10,0$ cm beschreiben. Welchen Wert von q/m_p hat man hier also gemessen?



Aufgabe 6: Black Box - Schaltung

(10 Punkte)

Die unten links skizzierte Schaltung stellt eine „Black Box“ dar, deren genauer Aufbau nicht bekannt ist. In der rechten Abbildung ist der Betrag des Leitwertes $|I/U|$ als Funktion der jeweiligen Kreisfrequenz ω dargestellt, der an der „Black Box“ gemessen wird.

- Wie setzt sich die Schaltung aus den Elementen Widerstand R , Kapazität C und Induktivität L zusammen? Argumentieren Sie ausgehend von dem gemessenen Frequenzverhalten des Leitwertes und stellen Sie das Innenleben der Black Box in einem Blockschaltbild dar.
- Leiten Sie den Betrag des Leitwertes Ihrer Schaltung her und vergleichen Sie das erwartete Frequenzverhalten mit dem gemessenen für die Fälle $\omega \rightarrow 0$, $\omega \rightarrow \infty$ und $\omega = \omega_r$.
- Wie groß ist die Induktivität L , wenn der Leitwert bei einer Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$ verschwindet und $C = 1\text{ }\mu\text{F}$ beträgt?

