Institut für Physik und Physikalische Technologien
der TU Clausthal
Prof. Dr. W. Daum

25.07.2005

Vordiplomsklausur in Physik

Montag, 25. Juli 2005, 09.00-11:00 Uhr
für den Studiengang: Maschinenbau/Mechatronik-Intensiv

(bitte deutlich schreiben)

Name: Muster -

Vorname: Lösung

Matrikel-Nr.:

Fachrichtung:

Hörsaal:

Anzahl der abgeschl. Fachsemester:

Sitz-Nr.:

Aufgabe	Titel	Punktzahl	Vork.	Endk.
1	Zustandsänderung eines idealen Gases (5 Punkte)			
2	Zylinderkondensator (5 Punkte)			
3	Elektrischer Dipol (5 Punkte)			
4	Induktion (6 Punkte)			
5	RL-Wechselstromkreis (5 Punkte)			
6	Laufende Welle (4 Punkte)			
7	Elektrische Schaltungen (5 Punkte)			
8	Beugung (5 Punkte)			
S	Summe der Klausurpunkte (von 40 Punkten)			
B	Bonuspunkte Übungen (2 Punkte)			
G	Gesamtsumme			
	Endnote			

Mit der Bekanntgabe der Klausurergebnisse (nur Matrikel-Nummern) durch Aushang am Schwarzen Brett bin ich einverstanden (diesen Satz ggf. streichen).

Unterschrift:

Die Lösungen sind in die angehefteten Reserveblätter einzutragen. Benutzen Sie die im Aufgabentext verwendeten Symbole, definieren Sie zusätzlich benutzte Größen. Erläutern Sie Ihre Formeln/Skizzen!

Erlaubte Hilfsmittel: Schreibgerät, Taschenrechner, aber: keine Nutzung von Programmfunktionen im Taschenrechner (bei Nichtachtung gilt die Klausur als nicht bestanden).

1 Zustandsänderungen eines idealen Gases

Das Anfangsvolumen V_1 eines idealen Gases bei einem Druck $p_1 = 400\,\text{bar}$ wird isotherm auf das Volumen $V_2 = 4 \cdot V_1$ ausgedehnt.

(a) Berechnen Sie den sich einstellenden Druck p_2. **(1 Punkt)**

(b) Zeigen Sie allgemein, dass für die pro Mol verrichtete Arbeit ΔW_M bei der isothermen Expansion eines idealen Gases vom Volumen V_1 auf das Volumen V_2 bei der Temperatur T gilt: $\Delta W_M = RT \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$ **(2 Punkte)**

Ein ideales Gas wird in einem Kreisprozess aus zwei Isothermen und zwei Adiabaten periodisch expandiert und komprimiert. Der Prozess startet mit der isothermen Expansion.

(c) Skizzieren Sie das pV-Diagramm dieses Kreisprozesses und zeichnen Sie die Richtung ein, in der der Kreisprozess durchlaufen wird. **(1 Punkt)**

(d) Welcher Fläche entspricht bei einem Umlauf die bei dem Kreisprozess gewonnene mechanische Arbeit? **(1 Punkt)**

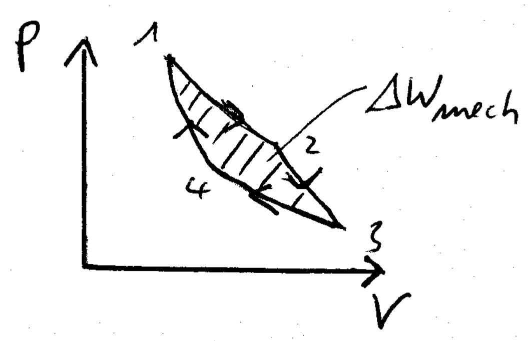
a) $p \cdot V = R \cdot T \qquad T = \text{const.}$

$\Rightarrow \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}$

$\Rightarrow p_2 = \frac{1}{4} p_1 = \underline{\underline{100\,\text{bar}}}$

b) $\Delta W = -\int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{R \cdot T}{V}\, dV$

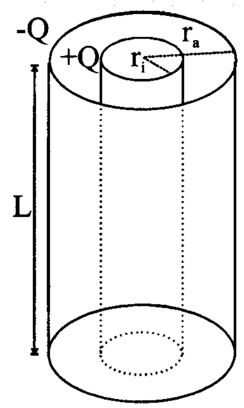
$= -R \cdot T \left[\ln V_2 - \ln V_1\right] = \underline{\underline{R \cdot T \ln \frac{V_1}{V_2}}}$

c) 

d) /// siehe c)

2 Zylinderkondensator

Gegeben sei ein Zylinderkondensator der Länge L bestehend aus zwei konzentrischen Leiterflächen. Die innere Fläche trage die Ladung $+Q$ und habe einen Radius r_i, der äußere Leiter trägt die Ladung $-Q$ und habe einen Radius r_a.



(a) Wie lautet allgemein das Gaußsche Gesetz? **(1 Punkt)**

(b) Berechnen Sie mit Hilfe des Gaußschen Gesetzes das elektrische Feld $E(r)$ im Abstand $r_i < r < r_a$ zwischen den Kondensatorflächen. **(2 Punkte)**

(c) Zeigen Sie, dass für die Kapazität des Kondensators gilt: $C = 2\pi\epsilon_0 L(\ln \frac{r_a}{r_i})^{-1}$ **(1 Punkt)**

(d) Berechnen Sie die so im Kondensator gespeicherte elektrische Energie W_{el}. **(1 Punkt)**

Hinweis: Es sei $L \gg r_a$, so dass das elektrische Feld im Inneren des Kondensators als radialsymmetrisch angenommen werden kann.

a) $$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

b) $$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \underset{\vec{E} \parallel d\vec{A}}{=} E(r) \cdot 2\pi r L = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$\Rightarrow E(r) = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r \cdot L}$$

c) Berechne die Potentialdifferenz U:

$$U = \int E(r)\,dr = \int_{r_i}^{r_a} \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r \cdot L}\,dr = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 L}\left[\ln r_a - \ln r_i\right]$$

$$\Rightarrow U = \frac{\ln \frac{r_a}{r_i}}{2\pi\varepsilon_0 L} \cdot Q \quad \text{mit } Q = C \cdot U$$

folgt: $$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$

d) $$W_{el} = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{\ln \frac{r_a}{r_i}}{4\pi\varepsilon_0 L} Q^2$$

3 Elektrischer Dipol

(a) Berechnen Sie in der Einheit Nm das maximale Drehmoment, das ein Dipol mit dem elektrischen Dipolmoment von $|\vec{p}| = 6,2 \cdot 10^{-30}$ Cm erfährt, wenn dieser in ein homogenes elektrisches Feld der Stärke $|\vec{E}| = 10^6$ V/m eingebracht wird.
(2 Punkte)

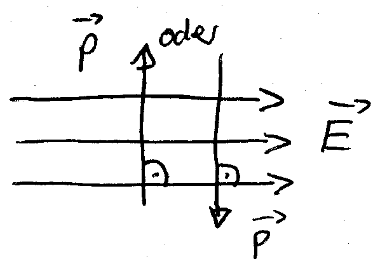
(b) Zeichnen Sie für den Fall des maximalen Drehmomentes den Vektor des Dipolmomentes $\vec{p}$ relativ zum Vektor des elektrischen Feldes $\vec{E}$.
(1 Punkt)

(c) Wie groß ist die Arbeit W (in der Einheit J), welche verrichtet werden muss, um einen Dipol, welcher in Richtung des obigen Feldes ausgerichtet ist, in antiparalleler Richtung zum elektrischen Feld zu drehen.
(2 Punkte)

a) $|\vec{D}| = |\vec{p} \times \vec{E}| = |\vec{p}| \cdot |\vec{E}| \cdot \sin\alpha$

$$|\vec{D}_{max}| \underset{\alpha = 90^\circ}{=} |\vec{p}| \cdot |\vec{E}| = \underline{\underline{6,2 \cdot 10^{-24}\ Nm}}$$

b) aus (a) folgt daher:



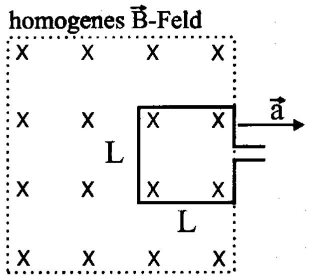
c) $$W = \int_0^{\pi} |\vec{D}| \cdot d\alpha = \left[- |\vec{p}| \cdot |\vec{E}| \cdot \cos\alpha \right]_0^{\pi}$$

$$= |\vec{p}| \cdot |\vec{E}| \left[- \cos\pi + \cos 0 \right] = 2 \cdot |\vec{p}| \cdot |\vec{E}|$$

$$= 1,24 \cdot 10^{-23}\ Nm = \underline{\underline{1,24 \cdot 10^{-23}\ J}}$$

4 Induktion

Eine quadratische Leiterschleife mit der Kantenlänge $L = 25\,\text{cm}$ befindet sich, wie in der Abbildung gezeigt, in einem räumlich begrenzten homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 1\,\text{T}$.



(a) Geben Sie die allgemeine Definition für den magnetischen Fluss Φ_m durch eine Leiterschleife an. **(1 Punkt)**

(b) Wie lautet allgemein das Induktionsgesetz? **(1 Punkt)**

(c) Die Leiterschleife wird, wie in der Abbildung gezeigt, mit der konstanten Beschleunigung $a = 1\,\text{m/s}^2$ aus dem Feld herausgezogen. Geben Sie einen Ausdruck für die Zeitabhängigkeit des magnetischen Flusses Φ_m durch die Leiterschleife an. **(2 Punkte)**

(d) Zeigen Sie, dass für die induzierte Spannung U_{ind} in der Leiterschleife gilt: $U_{ind}(t) = BLat$. **(1 Punkt)**

(e) Geben Sie den Wert von U_{ind} zu dem Zeitpunkt an, wenn die Leiterschleife gerade vollständig das Magnetfeld verlässt. **(1 Punkt)**

a) $\Phi_m = \int \vec{B}\cdot d\vec{A}$

b) $U_{ind} = -\frac{d}{dt}\Phi_m = -\frac{d}{dt}\int \vec{B}\cdot d\vec{A}$

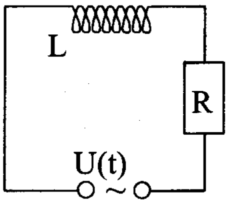
c) $\Phi_m \underset{\vec{B}\parallel d\vec{A}}{=} \int B\cdot dA = B\left(L^2 - \frac{a}{2}t^2\cdot L\right)$

d) $U_{ind} = -\frac{d}{dt}\Phi_m = -\frac{d}{dt}\left[B\left(L^2 - \frac{a}{2}t^2 L\right)\right]$
$= BLat$

e) Berechne die Zeit t zu der die Leiterschleife das $\vec{B}$-Feld verlässt: $\frac{a}{2}t^2 = L \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2L}{a}}$ Einsetzen in d) liefert:

$U_{ind} = L\cdot B\cdot\sqrt{2aL} = \underline{\underline{0{,}18\,V}}$

5 RL-Wechselstromkreis



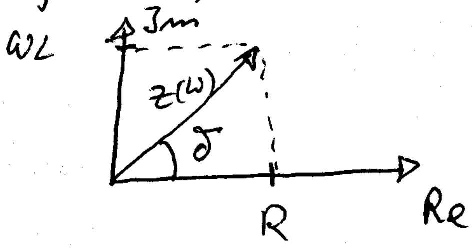
In einem Wechselstromkreis befindet sich eine Induktivität $L = 1\,\text{mH}$ und ein in Reihe geschalteter Widerstand $R = 1\,\Omega$. Die anliegende cosinusförmige Wechselspannung hat einen Effektivwert von $U_{eff} = 2\,\text{V}$ und die Kreisfrequenz $\omega = 1000\,\text{s}^{-1}$.

(a) Geben Sie einen Ausdruck für den komplexen Gesamtwiderstand $Z(\omega)$ an und zeichnen Sie diesen in der komplexen Ebene.
(2 Punkte)

(b) Bestimmen Sie die Phase δ zwischen Strom und Spannung.
(1 Punkt)

(c) Berechnen Sie den Maximalwert I_0 der Stromstärke $I(t) = I_0 \cos(\omega t - \delta)$ in der Schaltung.
(2 Punkte)

a) $Z(\omega) = R + i\omega L = \underline{\underline{(1+i)\,\Omega}}$



b) $\tan\delta = \frac{Im}{Re} = \frac{\omega L}{R} = 1 \Rightarrow \arctan 1 = \delta = \underline{\underline{45^\circ}}$

c) Berechne zunächst den Maximalwert U_0 mit
$U_0 = \sqrt{2}\, U_{eff}$

$\Rightarrow$ Ohmsches Gesetz: $I(t) = \frac{\sqrt{2}\, U_{eff}}{|Z|} \cdot \cos(\omega t - \delta)$

$|Z| = \sqrt{Re^2 + Im^2} = \Omega\sqrt{1^2 + 1^2} = \underline{\underline{\sqrt{2}\,\Omega}}$

$\Rightarrow I_0 = \frac{\sqrt{2}\, U_{eff}}{|Z|} = \frac{\sqrt{2}\, U_{eff}}{\sqrt{2}\,\Omega} = \underline{\underline{2A}}$

6 Laufende Welle

Eine harmonische Transversalwelle breitet sich mit der Phasengeschwindigkeit $c = 6\,\mathrm{m/s}$ in positiver x-Richtung aus. Die Auslenkung $\psi(x,t)$ ist am Ort $x = 0$ und zum Zeitpunkt $t = 0$ Null und wächst bei $x = 0$ für Zeiten $t > 0$ zunächst an. Die Wellenlänge ist $\lambda = 0,6\,\mathrm{m}$ und die maximale Amplitude ist $\psi_0 = 0,1\,\mathrm{m}$.

(a) Wie groß sind die Frequenz ω und die Wellenzahl k der Welle? Berechnen Sie die Schwingungsdauer T eines in der Welle angeregten schwingenden Teilchens? **(1 Punkt)**

(b) Geben Sie die Wellenfunktion $\psi(x,t)$ für diese Welle an. **(1 Punkt)**

(c) Welche Auslenkung ψ_1 liegt am Ort mit der Koordinate $x = 9\,\mathrm{m}$ zu der Zeiten $t_1 = 5\,\mathrm{s}$ vor? **(2 Punkte)**

a) $k = \frac{2\pi}{\lambda} = 10{,}5\,m^{-1} = \underline{\underline{3\tfrac{1}{3}\pi\,m^{-1}}}$

$\omega = k \cdot c = 62{,}8\,s^{-1} = \underline{\underline{20\pi\,s^{-1}}}$

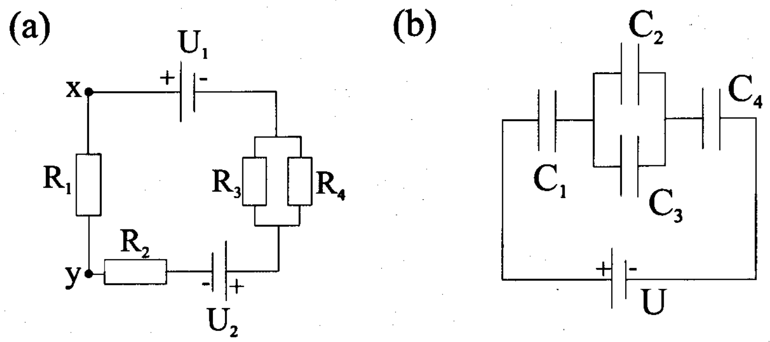
$T = \frac{2\pi}{\omega} = \underline{\underline{0{,}1\,s}}$

b) $\psi(x,t) = \psi_0 \cdot \sin(kx - \omega t)$

c) $\psi_1(9m, 5s) = \psi_0 \sin(30\pi - 100\pi) = \psi_0 \sin(-70\pi)$

$\underline{\underline{\psi_1 = 0}}$

7 Elektrische Schaltungen



(a) Bestimmen Sie jeweils den Gesamtwiderstand der in der Abbildung (a) gezeigten parallel ($R_3 = R_4 = 10\,\Omega$) und in Reihe ($R_1 = 3\,\Omega$; $R_2 = 2\,\Omega$) geschalteten Widerstände. **(1 Punkt)**

(b) Berechnen Sie den Strom und den Spannungsabfall zwischen den beiden Punkten x und y in der Schaltung (a). Nehmen Sie dazu für die beiden Spannungsquellen $U_1 = 5\,\text{V}$ und $U_2 = 3\,\text{V}$ an. **(2 Punkte)**

(c) Berechnen Sie die Gesamtkapazität der in der Abbildung (b) gezeigten Schaltung mit $C_1 = 2\,\text{nF}$, $C_2 = C_3 = 1\,\text{nF}$ und $C_4 = 2\,\text{nF}$. **(1 Punkt)**

(d) Berechnen Sie die Ladung auf dem Kondensator mit der Kapazität C_1 in der Schaltung (b), wenn die Spannungsquelle eine Spannung $U = 1\,\text{V}$ liefert. **(1 Punkt)**

a) $R_{12} = R_1 + R_2 = \underline{\underline{5\,\Omega}}$

$R_{34}^{-1} = \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10}\right)\,\Omega^{-1} = \frac{2}{10}\,\Omega^{-1} = \frac{1}{5}\,\Omega^{-1}$

$\Rightarrow R_{34} = \underline{\underline{5\,\Omega}}$

b) Wende die Maschenregel an um den Strom I durch die Schaltung zu bestimmen!

$U_1 = U_2 + R_{12} \cdot I + R_{34} \cdot I \Rightarrow I = \frac{U_1 - U_2}{R_{12} + R_{34}}$

$\Rightarrow I = \underline{\underline{0{,}2\,A}} = I_{xy}$

$\Rightarrow U_{xy} = R_1 \cdot I_{xy} = 0{,}6\,V$

c) nächste Seite ....

7 Elektrische Schaltungen

c) Berechne die Gesamtkapazität C_{23} der beiden parallel geschalteten Kondensatoren:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 2\,nF$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23}} + \frac{1}{C_4} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)\frac{1}{nF}$$

$$\Rightarrow \quad C_{ges} = \frac{2}{3}\,nF$$

d) Die Ladung Q_1 auf C_1 entspricht der Gesamtladung Q_{ges}:

$$Q_{ges} = C_{ges} \cdot U = \frac{2}{3} \cdot 10^{-9}\,C = Q_1$$

8 Beugung

Ein paralleles Lichtbündel mit der Wellenlänge $\lambda = 632,8\,\text{nm}$ fällt senkrecht auf ein Beugungsgitter mit 500 Linien/mm.

(a) Unter welchem Winkel θ zur Flächennormalen des Beugungsgitters ist das Beugungsminimum erster Ordnung der angegebenen Wellenlänge zu erwarten? **(2 Punkte)**

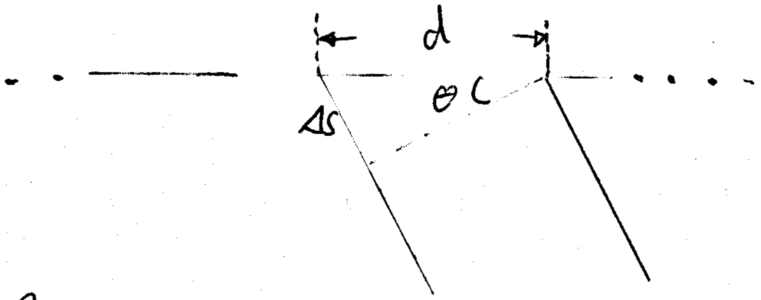
(b) Wie groß ist die höchstmögliche zu beobachtende Beugungsordnung?
Hinweis: $\sin\theta < 1$
(1 Punkt)

Betrachten Sie nun ein paralleles Lichtbündel der Wellenlänge λ, welches senkrecht auf einem Einfachspalt der Breite b fällt und dort gebeugt wird.

(c) Unter welchem Winkel θ zur Einfallsrichtung findet man das erste Intensitätsminimum des gebeugten Lichts? **(2 Punkte)**

a) Berechne zunächst den Spalt/Linienabstand d:

$$d = \frac{1}{500}\,\text{mm} = 2 \cdot 10^{-6}\,\text{m}.$$



$\Delta s = \sin\theta \cdot d$
Gangunterschied

Bedingung für Destruktive Interferenz:

$$\sin\theta \cdot d = \frac{2n+1}{2} \cdot \lambda \qquad \text{hier } n = 0 \quad \text{1. Beugungsminimum.}$$

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2d}$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right) = 9{,}1^\circ$$

b) $\sin\theta = n \cdot \frac{\lambda}{d}$ für Beugungsmaximum.

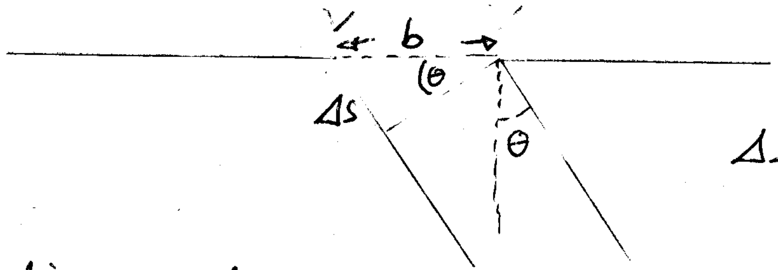
$$\Rightarrow n \cdot \frac{\lambda}{d} \leq 1 \qquad \Rightarrow n \leq \frac{d}{\lambda} = 3{,}16$$

$\Rightarrow$ die dritte Beugungsordnung ist noch zu Beobachten.

c) siehe nächste Seite

8 Beugung

c)



b: Spaltbreite

$\Delta s = b \cdot \sin\theta$

Bedingung für Beugungsminimum:

$$b \cdot \sin\theta = \lambda \cdot n \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$\sin\theta = n \cdot \frac{\lambda}{b} \qquad \text{hier } n = 1$$

$$\Rightarrow \quad \sin\theta = \frac{\lambda}{b}$$