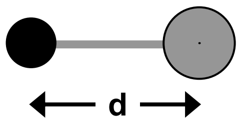
FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester 2005	Zahl der Blätter: 6 Blatt 1
Studiengang: BT / CI	Semester BT2 / CI2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer:
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 min.

Gesamtpunktzahl: 120 ***(Autor aller Aufgaben / Lösungen: Prof. Käß)***

<u>Aufgabe 1:</u> (15 Punkte) „Kohlenmonoxid“

Ein CO-Molekül wird mit einem Hantelmodell beschrieben : Zwei Punkte mit den Massen m_C und m_O sind an den Enden einer starren, masselosen Stange der Länge d angebracht.



m_C = 12 u
m_O = 16 u
mit: u = $1{,}6606 \cdot 10^{-27}$ kg
d = 0,128 nm

a) Welche Freiheitsgrade der Bewegung besitzt das Molekül ?

b) Wie weit vom Massepunkt m_O entfernt liegt der Schwerpunkt des Moleküls ?

c) Wie groß ist das Massenträgheitsmoment J_{CO} des Moleküls ?

d) Das Molekül rotiert mit dem Drehimpuls $L_1 = 1{,}49 \cdot 10^{-34}$ Js um seinen Schwerpunkt. Wie groß ist die Winkelgeschwindigkeit ω_1 seiner Rotation ?

Lösungsvorschlag „Kohlenmonoxid“

a) 3 Freiheitsgrade der Translation (Raumrichtungen x,y,z)
2 Freiheitsgrade der Rotation (2 orthogonale Drehachsen senkrecht zu d)

Zusammen also **5 Freiheitsgrade** der Bewegung

(2 Punkte)

b) Koordinatennullpunkt x = 0 in das O-Atom legen, dann wird die Entfernung x_S…

Schwerpunktsatz $x_S = \sum m_i\, x_i / \sum m_i$ $= (m_O\, 0 + m_C\, 0{,}128\ \text{nm}) / (m_O + m_C)$
$= 0{,}128\ \text{nm}\ m_C / (m_O + m_C)$
$= 0{,}128\ \text{nm}\ 12 / (16 + 12)$ **= 0,055 nm**

(4 Punkte)

c) Massenträgheitsmoment $J_{CO} = J_O + J_C = m_O\, r_O^2 + m_C\, r_C^2$
O-Atom (Bahnradius $r_O = x_S$) : $J_O = m_O\, x_S^2 = 8{,}04 \cdot 10^{-47}$ kg m²
O-Atom (Bahnradius $r_C = d - x_S = 0{,}073$ nm) : $J_C = m_O\, r_C^2 = 1{,}06 \cdot 10^{-46}$ kg m²

damit wird $\mathbf{J_{CO} = 1{,}866 \cdot 10^{-46}\ kg\ m^2}$

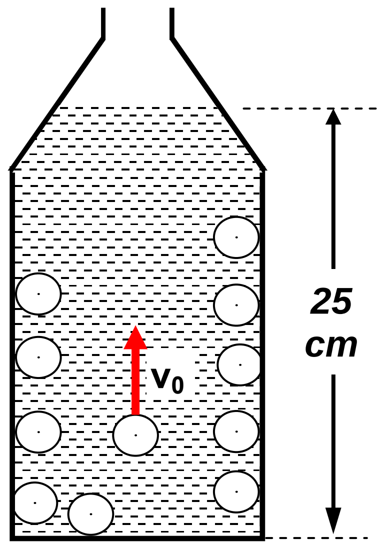
(6 Punkte)

d) Drehimpuls $L_1 = J_{CO}\, \omega_1$ damit wird $\omega_1 = L_1 / J_{CO} = 7{,}98 \cdot 10^{11}$ rad/s
(entspricht einer Umlauffrequenz $f_1 = 1{,}27 \cdot 10^{11}$ *Hz = 127 GHz)*

(3 Punkte)

Sommersemester 2005	Blatt 2 (von 6)
Studiengang: CI / BT	Semester BT2 / CI2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer:

<u>Aufgabe 2:</u> (20 Punkte) Sprudelflasche



Nach Öffnen einer Flasche mit CO_2-haltigem Mineralwasser bilden sich an Wand und Boden kleine Gasbläschen, die mit der Zeit größer werden. Wenn ihr Durchmesser einen Wert von etwa 1 mm erreicht hat, lösen sie sich ab und steigen an die Wasseroberfläche.

a) Welche nach oben gerichtete Kraft wirkt auf ein ideal kugelförmiges Bläschen von 1 mm Durchmesser ?

b) Die kritische Reynoldszahl für die Umströmung einer Kugel beträgt Re_{krit} = 100. Ab welcher Geschwindigkeit v_{krit} des Bläschens liegt eine turbulente Umströmung vor ?

c) Beobachtung ergibt, dass das Bläschen in etwa 1 s vom Boden der Flasche an die Wasseroberfläche steigt. Welche Art der Umströmung ist demnach anzunehmen ?

d) Berechnen Sie die zu erwartende konstante Geschwindigkeit v_0 mit der das Bläschen von 1 mm Durchmesser aufsteigt.

<u>Angaben</u>:	Dichte von CO_2 :	$\rho_{CO2} = 1{,}95\ kg/m^3$
	Dichte von Wasser :	$\rho_{H2O} = 1000\ kg/m^3$
	Viskosität von Wasser :	$\eta_{H2O} = 1\ 10^{-3}\ Pa\ s$
	Widerstandsbeiwert einer Kugel	$c_w = 0{,}4$

Der Wert von Re_{krit} = 100 gilt für den Kugeldurchmesser als charakteristische Länge
Der Durchmesser des Bläschens wird über die ganze Strecke als konstant angenommen

Lösungsvorschlag „Sprudelflasche“

a) Das Bläschen hat einen Radius von r = 0,5 mm und damit ein Volumen V_0 von

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3 = 5{,}236 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}^3$$

Auftrieb F_A = Gewichtskraft verdrängtes Wasser :

$$F_A = \rho_{H2O} V_0\, g = 5{,}136 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{N}$$

Zusammen mit der Gewichtskraft F_{CO2} des im Bläschen enthaltenen CO_2 Gases ergibt sich für die nach oben gerichtete Kraft F_O :

$$F_O = F_A - F_{CO2} = V_0\, g\, (\rho_{H2O} - \rho_{CO2})$$
$$= 5{,}136 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{N} - 1{,}002 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{N} = \mathbf{5{,}126\ 10^{-6} N}$$

(6 Punkte)

b) Die kritische Reynoldszahl Re_{krit} berechnet sich nach $Re_{krit} = \rho\, v_{krit}\, L / \eta$
wobei als charakteristische Länge L der Kugeldurchmesser zu setzen ist
Die Geschwindigkeit des Umschlags laminar -> turbulent beträgt somit

$$v_{krit} = Re_{krit}\, \eta / (L\, \rho) = 100 \cdot 1 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{Pa\ s} / (10^{-3}\mathrm{m}\ 1000\ \mathrm{kg/m^3})\ \ \mathbf{= 0{,}1\ m/s}$$

(4 Punkte)

c) Das Bläschen legt den Weg s = 25 cm vom Boden bis zur Oberfläche in 1 s zurück, seine mittlere Geschwindigkeit beträgt also $v = 0{,}25\ \mathrm{m} / 1\ \mathrm{s} =$ **0,25 m/s**.

Damit liegt eine **turbulente Umströmung** vor.

(3 Punkte)

d) Turbulente Strömung, demnach Widerstandskraft $F_W = ½\, \rho\, v_0^2\, A\, c_W$
Mit dem Bläschenradius r = 0,5 mm ist $A = 7{,}854 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}^2$
Kräftegleichgewicht: Nach oben gerichtete Kraft $F_O = F_W$ Strömungswiderstand

Daraus folgt: $v_0^2 = 2\, F_O / (\rho\, A\, c_W)$
$= 2 \cdot 5{,}126 \cdot 10^{-6}\mathrm{N} / (0{,}4 \cdot 7{,}854 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}^2\ 1000\ \mathrm{kg/m}^3)$

und schließlich $\mathbf{v_0}$ **= 0,181 m/s**

(7 Punkte)

(<u>Zum Vergleich</u>: läge eine laminare Umströmung nach Stokes vor, wäre
$F_W = 6\, \pi\, \eta\, r\, v_0$
Daraus folgte: $v_0 = F_W / (6\, \pi\, \eta\, r) = F_O / (6\, \pi\, \eta\, r) = 0{,}544\ \mathrm{m/s}$*)*

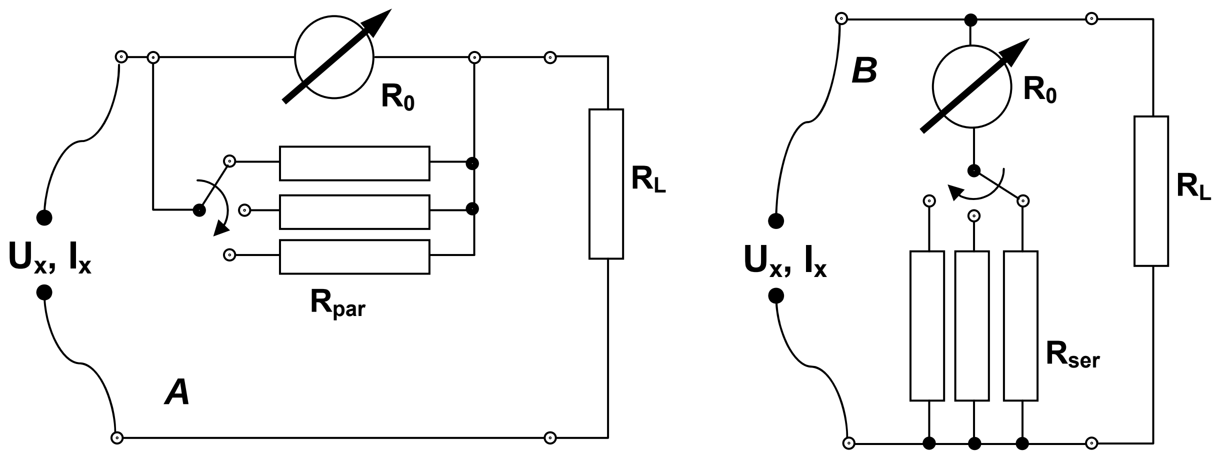
Sommersemester 2005	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: CI / BT	Semester BT2 / CI2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer:

Aufgabe 3: (24 Punkte) Multimeter

Mit einem Drehspulinstrument als Anzeige soll ein mehrere Meßbereiche aufweisendes Multimeter zur Messung unbekannter Spannungen U_x und Ströme I_x aufgebaut werden.

a) Das Drehspulinstrument zeigt Vollausschlag bei einem Stromfluss von I_0 = 10 mA. Dabei fallen an ihm U_0 = 200 mV Spannung ab. Wie groß ist sein Innenwiderstand R_0 ?

b) Welche der nachstehenden Schaltungen ist für die Strom- bzw Spannungsmessung zu verwenden (mit Begründung) ?



c) Das Multimeter soll drei Strommeßbereiche mit Vollausschlag 100 mA, 1 A und 10 A aufweisen. Welche Größen haben die drei dafür erforderlichen Zuschaltwiderstände ?

d) Das nach c) aufgebaute und im Strommeßbereich für 10 A Vollausschlag betriebene Multimeter wird einerseits mit einer Spannungsquelle, andererseits mit einem Last-widerstand R_L = 1 Ω verbunden. Die Messung des Stroms durch R_L ergibt I_x = 5 A. Wie groß ist die Klemmenspannung U_x der Spannungsquelle ?

Lösungsvorschlag „Multimeter“

a) Innenwiderstand des Drehspulinstruments $R_0 = U_0 / I_0 = 0{,}2\ V / 0{,}01\ A = 20\ \Omega$

(2 Punkte)

b) Schaltung A dient für Strommessungen – der Strom durch R_L muß durch das Multimeter fließen. Dieses sollte einen möglichst kleinen Gesamtwiderstand haben.

Schaltung B für Spannungsmessungen – Multimeter muß parallel zu R_L liegen, damit es die Spannung mißt, die an R_L anliegt. Dabei soll möglichst wenig Strom durch das Multimeter fließen, sein Gesamtwiderstand soll möglichst groß sein.

(5 Punkte)

c) Strommessung: Hier sind parallele Zusatzwiderstände R_{par} erforderlich …

Durch das Drehspulinstrument fließe der Strom I_0 und durch R_{par} der Strom I_{par}

(1) Gesamtstrom durch Multimeter : $I_x = I_0 + I_{par}$
(2) Spannungsabfall am Parallelwiderstand $U_{ges} = R_{par}\, I_{par}$
(3) Spannungsabfall Drehspulinstrument $U_{ges} = R_0\, I_0$

Gleichsetzen von (2) und (3) $R_0\, I_0 = R_{par}\, I_{par}$
Mit (1) folgt daraus $= R_{par}\, (I_x - I_0)$

Damit wird der Parallelwiderstand $\mathbf{R_{par} = R_0\, I_0 / (I_x - I_0)}$

Messbereich I_x = 100 mA → $R_{par} = 20\ \Omega \cdot 0{,}01\ A / (0{,}1\ A - 0{,}01\ A) = \mathbf{2{,}222\ \Omega}$
Messbereich I_x = 1 A → $R_{par} = 20\ \Omega \cdot 0{,}01\ A / (1\ A - 0{,}01\ A) = \mathbf{0{,}202\ \Omega}$
Messbereich I_x = 10 A → $R_{par} = 20\ \Omega \cdot 0{,}01\ A / (10\ A - 0{,}01\ A) = \mathbf{0{,}020\ \Omega}$

(11 Punkte)

d) Diese Frage kann man ohne Kenntnis der Parallelwiderstände beantworten !!

Bei einem Strom I_x = 5 A schlägt das Drehspulinstrument nur halb aus
Also beträgt der Spannungsabfall daran $U_{multi} = U_0 / 2 = 0.1\ V$
Spannungsabfall am Lastwiderstand R_L: $U_L = I_x\, R_L = 5\ A\ 1\ \Omega = 5\ V$

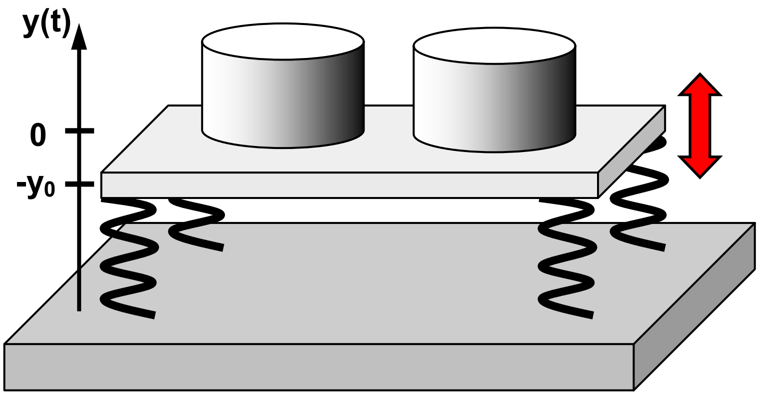
Damit beträgt die Klemmenspannung $\mathbf{U_x = U_L + U_{multi} = 5{,}1\ V}$

(6 Punkte)

Sommersemester 2005		Blatt 4 (von 6)
Studiengang:	CI / BT	Semester BT2 / CI2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer:

Aufgabe 4 : (26 Punkte) „Federplatte“

Eine Platte ist auf vier gleichen Federn eben gelagert. Sie befindet sich in Ruhe bei y=0.



a) Zwei Massestücke zu je m_S = 10 kg werden auf der Platte abgestellt. Sie bewegt sich um y_0 = 5 cm nach unten. Welche Menge an elastischer Energie wird dabei gespeichert ?

b) Wie groß ist die Federkonstante c_f einer Einzelfeder ?

c) Nachdem die Platte mit den darauf stehenden Massestücken ein Stück weiter nach unten gedrückt wurde, wird sie frei gegeben. Sie führt harmonische Schwingungen der Frequenz f = 2 Hz aus. Welche Masse m_P hat die Platte ?

Die Schwingungen erfolgen mit einer Amplitude von y_m = 5 cm.

d) Welche maximale Geschwindigkeit v_m erreicht die Platte im Verlauf ihrer Bewegung ?

e) Welche maximale Beschleunigung a_m erreicht die Platte im Verlauf ihrer Bewegung ?

Lösungsvorschlag „Federplatte“

a) Die Gewichtskraft der beiden Massestücke, welche die Federn verformt, beträgt :

$$F_G = m\,g = 2\,m_S\,g = 2 \cdot 10\text{ kg} \cdot 9{,}81\text{ m/s}^2 = 196{,}2\text{ N}$$

Unter der Annahme eines linearen Kraftgesetzes (Hooke) für die Anordnung folgt daraus : $F_{rück} = F_G = c_{ges}\,y_0$ also $c_{ges} = 196{,}2\text{ N} / 0{,}05\text{ m} = 3924\text{ N/m}$

Die zusätzlich in den Federn eingespeicherte elastische Energie beträgt also insgesamt : $E_{elast} = ½\,c_{ges}\,y_0^2 = 1962\text{ N/m} \cdot 0{,}05^2\text{ m}^2 = \mathbf{4{,}905\text{ Nm}}$

(7 Punkte)

b) Die vier Federn sind gleich, sie haben alle die gleiche Federkonstante c_f.

entweder: parallele Federn bedeutet Addition der einzelnen Federkonstanten
also $c_{ges} = 4\,c_f$ damit $c_f = ¼\,c_{ges} = ¼ \cdot 3924\text{ N/m} = \mathbf{981\text{ N/m}}$

oder: Energie pro Einzelfeder : $E_{feder} = ½\,c_f\,y_0^2$
Damit gilt $E_{elast} = 4\,E_{feder} = 4\,½\,c_f\,y_0^2 = 2\,c_f\,y_0^2$
Daraus ergibt sich $c_f = E_{elast} / (\,2\,y_0^2\,) = \mathbf{981\text{ N/m}}$

(3 Punkte)

c) Frequenz $f = 2\text{ Hz}$ → Kreisfrequenz $\omega = 2\,\pi\,f = 12{,}57\text{ rad/s}$

Im Feder-Masse-System gilt : $\omega^2 = c_{ges} / m_{ges}$
mit der schwingenden Masse $m_{ges} = m_P + 2\,m_S$
und der effektiven Federkonstante $c_{ges} = 4\,c_f = 3924\text{ N/m}$

Daraus folgt : $m_{ges} = c_{ges} / \omega^2 = 24{,}85\text{ kg}$
und die Masse der Platte ist demnach $m_P = m_{ges} - 2\,m_S = \mathbf{4{,}85\text{ kg}}$

(7 Punkte)

d) Zeitgesetz einer solchen Auslenkung allgemein $y(t) = y_m \cos(\omega\,t + \varphi_0)$

Maximalgeschwindigkeit v_m folgt aus erster Zeitableitung der Weg-Zeit-Funktion :

$$dy(t) / dt = -\,y_m\,\omega \sin(\omega\,t + \varphi_0) = -\,v_m \sin(\omega\,t + \varphi_0)$$

$$\rightarrow \quad v_m = y_m\,\omega = 0{,}05\text{ m } 12{,}57\text{ rad/s} = \mathbf{0{,}628\text{ m/s}}$$

(5 Punkte)

e) Maximalbeschleunigung a_m folgt aus zweiter Zeitableitung der Weg-Zeit-Funktion :

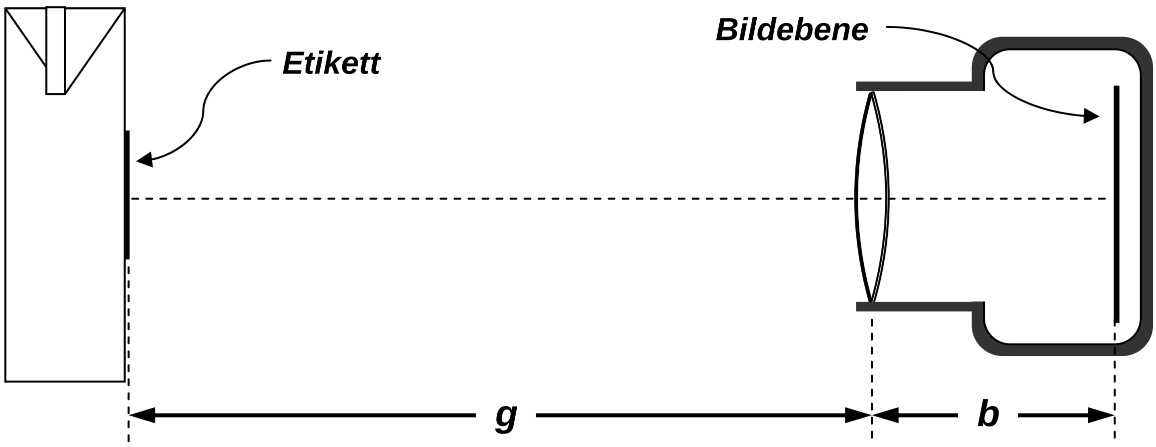
$$d^2y(t) / dt^2 = -\,y_m\,\omega^2 \cos(\omega\,t + \varphi_0) = -\,a_m \cos(\omega\,t + \varphi_0)$$

$$\rightarrow \quad a_m = y_m\,\omega^2 = 0{,}05\text{ m } (12{,}572\text{ rad/s})^2 = \mathbf{7{,}90\text{ m/s}^2}$$

(4 Punkte)

Aufgabe 5 : **(15 Punkte)**

Etiketten auf Verpackungen werden zur automatischen Erfassung mit einer Kamera aufgenommen. Das Objektiv dieser Kamera soll nachfolgend als dünne Linse aufgefaßt werden.



Bei der Aufnahme befindet sich das Etikett in einem Abstand von g = 0,5 m vor dem Objektiv, das eine Brennweite von f = + 100 mm aufweist.

a) Welche Bildweite b hat das in der Kamera entstehende Bild ?

b) Welcher Abbildungsmaßstab ergibt sich für das Etikett in dieser Geometrie ?

c) Zur Bildaufzeichnung dient ein in der Bildebene der Kamera liegender digitaler Detektor. Er ist von rechteckiger Form mit einer Breite von 22,7 mm und einer Höhe von 15,1 mm. Wie groß dürfen die Etiketten maximal sein, damit sie vollständig aufgenommen werden ?

Lösungsvorschlag „Kamera“

a) Linsengleichung : $$\frac{1}{g}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

damit wird $$\frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{g}=\frac{1}{0{,}1\,m}-\frac{1}{0{,}5\,m}=8\frac{1}{m}$$

und die Bildweite beträgt **b = 0,125 m = 125 mm**

(6 Punkte)

b) Abbildungsmaßstab : $$V=\frac{B}{G}=-\frac{b}{g}$$

damit wird V = - 125 mm / 500 mm **= - 0,25**

Dies entspricht einem **umgekehrt stehenden** und auf ¼ seiner lateralen Dimensionen **verkleinerte**n Bild.

(4 Punkte)

c) Aus den angegebenen Daten des Detektors folgt unter Verwendung des in b) berechneten Abbildungsmaßstabs V :

Mit dem Detektor der Breite B_{hor} = 22,7 mm kann man einen Gegenstand mit einer maximalen Breite von $G_{hor} = B_{hor} / V$ = 90,8 mm abbilden

Mit dem Detektor der Höhe B_{vert} = 15,1 mm kann man einen Gegenstand mit einer maximalen Höhe von $G_{vert} = B_{vert} / V$ = 60,4 mm abbilden

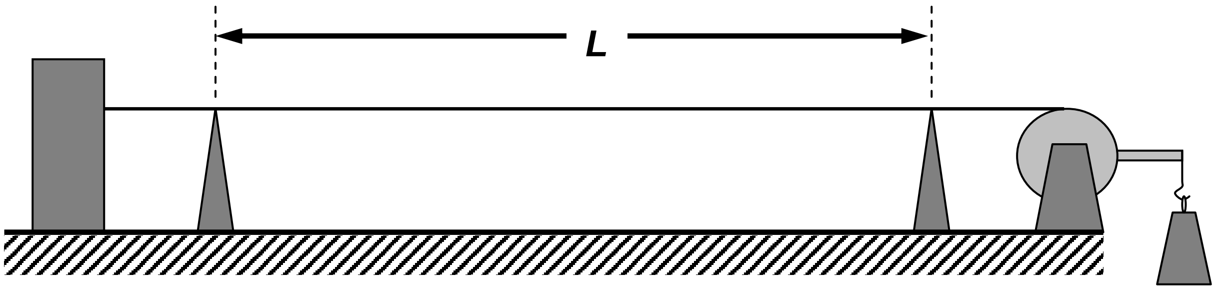
Maximalabmessungen der Etiketten also **90,8 mm x 60,4 mm (Breite x Höhe)**

(5 Punkte)

Sommersemester 2005	Blatt 6 (von 6)
Studiengang: CI / BT	Semester BT2 / CI2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer:

Aufgabe 6 : (20 Punkte) „Saitenschwingung“

Im Physiklabor wurde eine Messreihe für die Frequenz der Grundschwingung eines an beiden Enden fest eingespannten Kupferdrahts aufgenommen. Die dabei verwendeten Versuchsparameter wurden ebenfalls ermittelt und sind nachstehend aufgeführt :



Die Messung der Länge des eingespannten Drahtes ergab $L = (750 \pm 0{,}2)$ mm
Die Messung des Drahtdurchmessers ergab $d = (0{,}31 \pm 0{,}01)$ mm
Die Messung der Kraft mit der der Draht gespannt wurde ergab $F = (20 \pm 3)$ N

Literaturwert für die Dichte von Kupfer (Martin, Physik, 2004) $\rho = 8{,}96\ \text{g/cm}^3$

Die Frequenzmessung ergab die folgenden Einzelwerte :

Frequenz f/Hz	**113**	**115**	**111**	**111**	**116**	**112**	**113**	**110**

a) Berechnen Sie den Mittelwert der gemessenen Frequenz.

b) Berechnen Sie Standardabweichung und mittleren Fehler des Mittelwerts der gemessenen Frequenz.

c) Geben Sie das gerundete Ergebnis an (Fehlerangabe auf <u>eine</u> signifikante Stelle).

Die Theorie der Saitenschwingung ergibt für die Frequenz $$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{A\rho}}$$

d) Berechnen Sie den Wert der Frequenz, den die Theorie vorhersagt.

e) Berechnen Sie den absoluten Größtfehler des theoretischen Wertes.

f) Geben Sie das sinnvoll gerundete Ergebnis für den theoretischen Wert an.

g) Bewerten Sie die beiden Resultate.

Lösungsvorschlag „Saitenschwingung“

a) Frequenzmittelwert: $\langle f\rangle$ = **112,625 Hz**

(1 Punkt)

b)

f / Hz	113	115	111	111	116	112	113	110
$f_i - \langle f\rangle$ / Hz	0,375	2,375	-1,625	-1,625	3,375	-0,625	-0,375	-2,625

Standardabweichung $s_x = (\sum(f_i - \langle f\rangle)^2 / (n-1))^{½}$ = 2,066 Hz

Daraus folgt $\Delta f = s_x / \sqrt{8}$ = **0,7304 Hz**

(4 Punkte)

c) Gerundetes Ergebnis damit **f** **= 112,6 ±0,7 Hz**

(1 Punkt)

d) Theoretischer Wert

$$f = \frac{1}{2 \cdot 0{,}75\,m}\sqrt{\frac{4 \cdot 20\,N\,m^3}{\pi\,0{,}31^2 \cdot 10^{-6}\,m^2\;8960\,kg}}$$

= **114,65 Hz**

(3 Punkte)

e) Absoluter Größtfehler folgt aus relativem Größtfehler, da reines Potenzgesetz

$$f = \frac{1}{2\,L}\sqrt{\frac{F}{A\,\rho}} = \frac{1}{2}\rho\,L^{-1}F^{0,5}A^{-0,5}$$ mit $A = \pi\,d^2 / 4$

folgt $$f = \frac{\rho}{\pi}L^{-1}F^{0,5}d^{-1}$$

daraus $$\frac{\Delta f}{f} = 1\frac{\Delta L}{L} + 0{,}5\frac{\Delta F}{F} + 1\frac{\Delta d}{d} = 0{,}00027 + 0{,}075 + 0{,}03226 = 0{,}10753$$

und damit Δf = f 0,10753 = **12,328 Hz**

(7 Punkte)

f) Auf eine signifikante Fehlerstelle gerundetes Ergebnis nach der Theorie :

f **= 114 ± 10 Hz**

(1 Punkt)

g) Messwert im Fehlerintervall des theoretischen Wertes.
Theoretischer Wert zeigt jedoch viel größeren Fehler als Messwert.
Hauptproblem ist die ungenaue Kraftmessung, diese müsste verbessert werden.

(3 Punkte)