Wintersemester	2009/2010	Blatt 1 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

Gesamtpunktzahl: 120

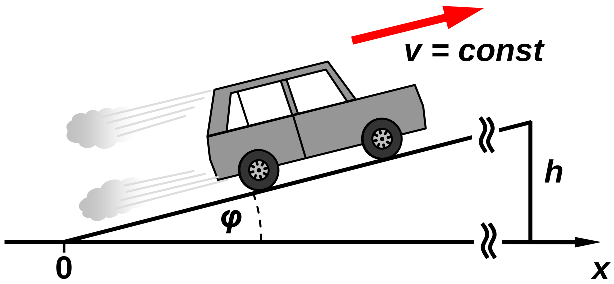
<u>Aufgabe 1:</u> Spritverbrauch **(15 Punkte)**

Ein Auto mit Verbrennungsmotor fährt mit konstanter Geschwindigkeit $v = 80$ km/h ein Straßenstück mit einem gleichbleibenden Neigungswinkel φ hinauf. Die Höhendifferenz beträgt $h = 400$ m. Die Luftreibung ist vernachlässigbar klein.

Berechnen Sie

a) die verbrauchte Kraftstoffmenge

b) die erforderliche mechanische Leistung



Angaben:

Masse des Fahrzeugs	$m = 1200$ kg
Neigungswinkel gegen Horizontale	$\varphi = 3{,}5°$
Rollreibungszahl	$\mu_{roll} = 0{,}015$
Energieinhalt des Kraftstoffs	$H_u = 33$ MJ / Liter
Gesamtwirkungsgrad des Antriebs	$\eta = 0{,}5$

Lösungsvorschlag ***Spritverbrauch*** ***Autor H Käß***

a) Geleistete Arbeit = Hubarbeit (um Höhe h) + Reibungsarbeit (entlang Weg s)

Die Weglänge s ist $\sin\varphi = h / s$ $s = h / \sin\varphi = 6552$ m

Hubarbeit $W_{hub} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h = 4{,}709 \cdot 10^6$ Nm

Reibungsarbeit $W_{reib} = F_R \cdot s = \mu_{roll} \cdot F_N \cdot s$

$= \mu_{roll} \cdot m \cdot g \cdot s \cdot \cos\varphi$

$= \mu_{roll} \cdot m \cdot g \cdot h / \tan\varphi$

$= 0{,}015 \cdot 1200 \cdot 9{,}81 \cdot 400 \text{ kg m}^2 / 0{,}612 \text{ s}^2$

$= 1{,}155 \cdot 10^6$ Nm

$W_{ges} = W_{hub} + W_{reib} = 5{,}864$ MJ

Das verbrauchte Spritvolumen ΔV folgt aus $W_{ges} = \eta \cdot H_u \ \Delta V$

zu $\Delta V = W_{ges} / (\eta \cdot H_u) = 5{,}864$ MJ l / (0,5·33 MJ) = **0,355 l**

b) Erforderliche mechanische Leistung $P = W_{ges} / t_s$

Hier ist t_s die Fahrzeit für die Strecke s $t_S = s / v = 6552$ m 3600 s / 80000 m

= 295 s

und damit ist $P = W_{ges} / t_s =$ **19,88 kW**

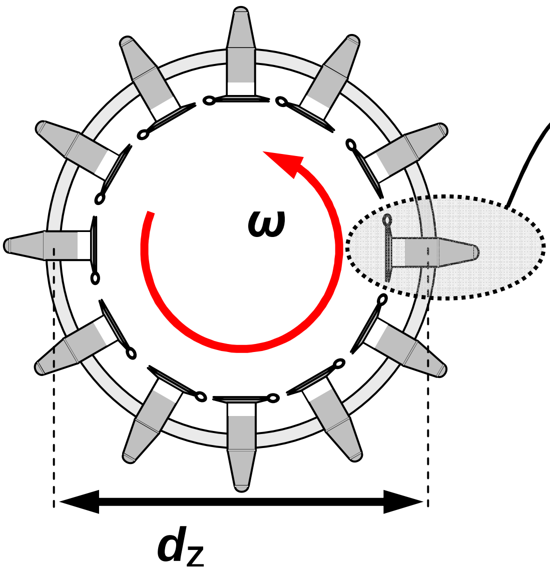
Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

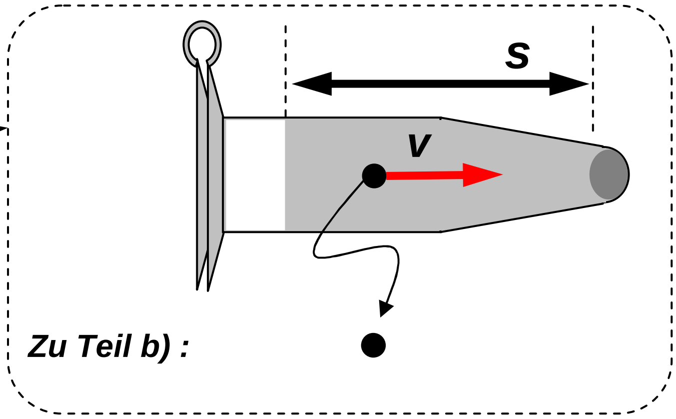
Fakultät Grundlagen

Wintersemester 2009/2010	Blatt 2 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 2:</u> Sedimentation **(25 Punkte)**

Zur schnellen Sedimentation darin enthaltener kugelförmiger Teilchen wird eine Dispersion in Reaktionsgefäße gefüllt und abzentrifugiert. Die Gefäße laufen dabei mit der Drehzahl n_Z auf einem Kreis mit dem Durchmesser d_Z um (siehe Skizze). Ein befülltes Gefäß mit einem - nicht maßstäblichen – Teilchen ist daneben vergrößert wiedergegeben.





<u>Angaben</u>:

ρ_L	$= 1{,}00\ g/cm^3$	*Dichte Lösung*
η	$= 1\cdot 10^{-3}\ kg/(s\ m)$	*Viskosität Lösung*
ρ_T	$= 1{,}05\ g/cm^3$	*Dichte Teilchen*
d_T	$= 5{,}0\ \mu m$	*Durchmesser Teilchen*
n_Z	$= 3600\ 1/min$	*Drehzahl Zentrifuge*
d_Z	$= 15\ cm$	*Durchmesser Kreisbahn*

a) Welche Zentrifugalbeschleunigung a_Z wirkt auf die Gefäße ?

b) Zeichnen Sie die auf das Teilchen in der Dispersion wirkenden Kräfte in die Skizze ein.

c) Wieso ist der Effekt der darauf einwirkenden Schwerkraft hier vernachlässigbar ? Ergibt eine andere Kraft eine Art zur Bahnmitte gerichteten „hydrostatischen Auftrieb“ ?

Nach kurzer Anlaufzeit bewegt sich das Teilchen mit konstanter Geschwindigkeit *v*.

d) Wie lautet die Gleichgewichtsbedingung für die einwirkenden Kräfte ?

e) Welche Geschwindigkeit hat das Teilchen ?

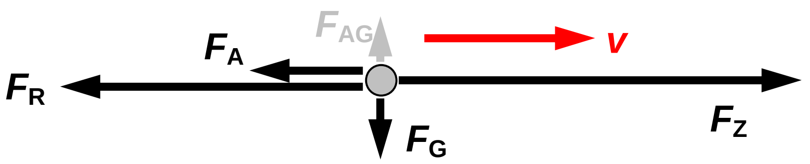
f) Das Gefäß ist s = 3 cm hoch befüllt. Wie lange dauert die vollständige Sedimentation ?

Lösungsvorschlag ***Sedimentation*** ***Autor H Käß***

a) Die Zentrifugalbeschleunigung $a_Z = F_Z \,/\, m = \omega^2 \cdot r$

ist hier $a_Z = 4 \cdot \pi^2 \cdot n_z^2 \cdot (d_Z/2) =$ **10660 m/s²** *(= 1087 g)*

b) Die Kräfte werden am einfachsten im mitrotierenden System betrachtet:



Erklärung:

***F*$_Z$ Zentrifugalkraft**	$F_Z = m \cdot a_Z \cdot$	(nach außen)
***F*$_R$ Reibungskraft** nach Stokes	$F_R = 6\,\pi\,\eta \cdot v \cdot (d_T/2)$	(zur Bahnmitte)
***F*$_Z$** ergibt **Auftrieb *F*$_A$**	$F_A = \rho_L \cdot V \cdot a_Z = (4/3)\,\pi\,(d_T/2)^3 \cdot \rho_L \cdot a_Z$	(zur Mitte)
***F*$_G$ Gewichtskraft**	$F_G = \rho_T \cdot V \cdot g = (4/3)\,\pi\,(d_T/2)^3 \cdot \rho_T \cdot g$	(nach unten)

Im Prinzip kommt aufgrund F_G noch die hydrostatische Auftriebskraft F_{AG} hinzu

c) Der Effekt der nach unten gerichteten **Schwerkraft** $F_G = m_T \cdot g$ ist im Vergleich zur Zentrifugalkraft $F_Z = m_T \cdot a_Z$ **vernachlässigbar**, da $a_z \gg g$!! Daher ist auch F_{AG}, die nur einen Bruchteil von F_G betragen wird, auf jeden Fall vernachlässigbar.

Die Rolle von F_G im Fall ruhender Gefäße wird aus der Perspektive der Teilchen beim Zentrifugieren von F_Z übernommen. Dies ergibt die **zur Bahnmitte gerichtete** - quasi „hydrostatische" - **Auftriebskraft *F*$_A$**

d) Mit den Definitionen aus b) folgt das Kräftegleichgewicht $F_Z = F_R + F_A$

e) Daraus folgt:

$$m \cdot a_Z = 6\,\pi\,\eta \cdot v \cdot (d_T/2) + \rho_L \cdot V \cdot a_Z$$

$$\rho_T \cdot V \cdot a_Z = 3\,\pi\,\eta \cdot v \cdot d_T + \rho_L \cdot V \cdot a_Z$$

$$(\rho_T \cdot - \rho_L)\, V \cdot a_Z = (\rho_T \cdot - \rho_L)\,(4/3)\,\pi\,(d_T/2)^3 \cdot a_Z = 3\,\pi\,\eta \cdot v \cdot d_T$$

$$v = (\rho_T \cdot - \rho_L)\,(4/3)\,\pi\,(d_T/2)^3 \cdot a_Z \,/\, (3\,\pi\,\eta \cdot d_T) =$$

$$= 2\, d_T^2 d_Z \pi^2 (\rho_T \cdot - \rho_L) n_Z^2 \,/\, (18\,\eta) = \mathbf{7{,}4 \cdot 10^{-4}\ m/s} = 0{,}00074\ \text{m/s}$$

f) Aus $v = s\,/\,t$ folgt

$$t = 3 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \,/\, 7{,}4 \cdot 10^{-4}\ \text{m/s} = \mathbf{40{,}5\ s}$$

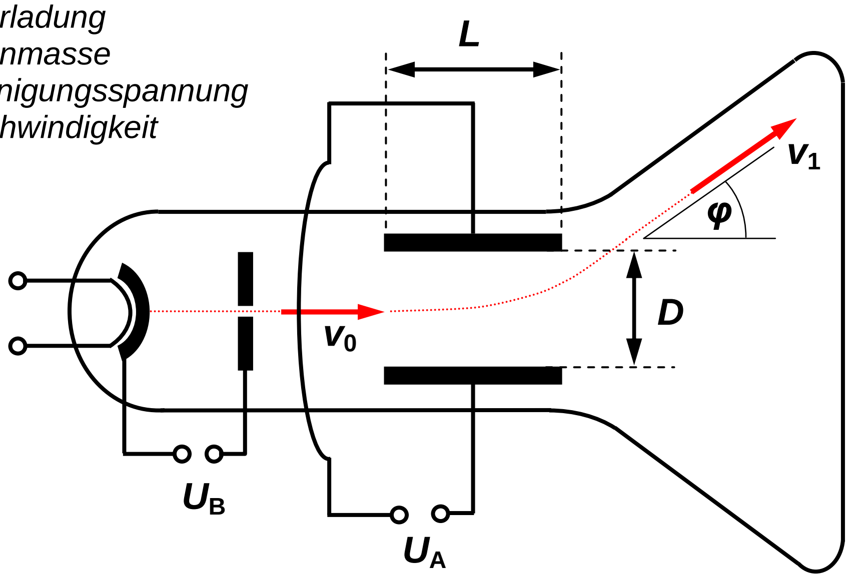
Wintersemester 2009/2010	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 3: Braunsche Röhre **(22 Punkte)**

Die Braunsche Röhre besteht aus einer Beschleunigungs- und einer Ablenkeinheit. Zuerst werden die Elektronen durch die Spannung U_B auf die Geschwindigkeit v_0 beschleunigt und zu einem Strahl gebündelt. Dann durchlaufen sie das elektrische Feld zwischen parallelen Elektroden im Abstand D, an denen die Ablenkspannung U_A anliegt.

Angaben :

$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C *Elementarladung*
$m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg *Elektronenmasse*
$U_B = 2400$ V *Beschleunigungsspannung*
$c = 2{,}99 \cdot 10^{8}$ m/s *Lichtgeschwindigkeit*
$D = 1$ cm *Plattenabstand*
$L = 1{,}5$ cm *Plattenlänge*



a) Zeichnen Sie in die Skizze die passende Polung für U_B und U_A ein.

b) Welche Geschwindigkeit v_0 haben die Elektronen ? Wieviel Prozent der Lichtgeschwindigkeit c sind das ?

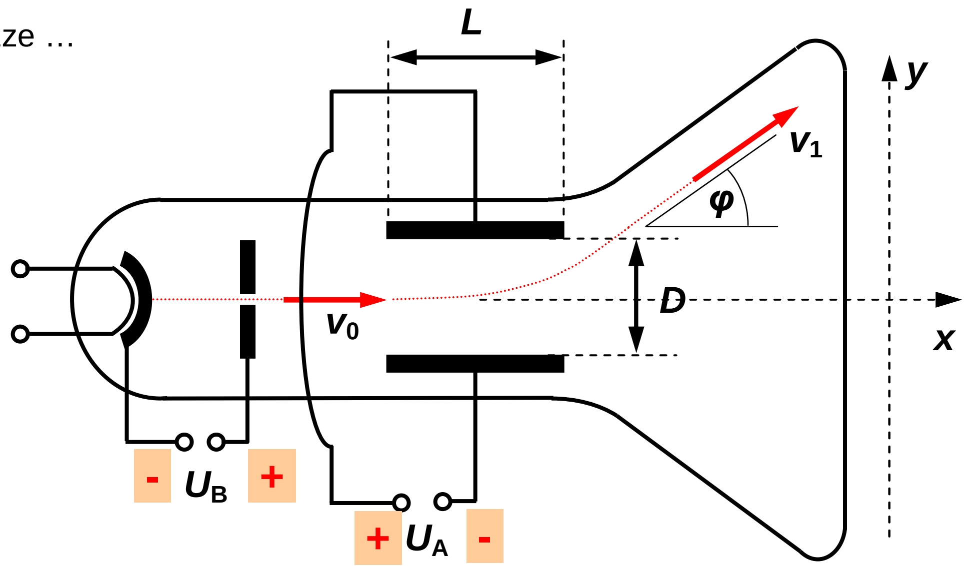
c) Welche elektrische Leistung geht bei dem Strahlstrom 10 nA in die Beschleunigung ?

d) In welcher Zeitspanne durchlaufen die Elektronen die Ablenkeinheit der Länge L ?

e) Welche Ablenkspannung U_A ergibt den Ablenkwinkel $\varphi = 10°$?

Lösungsvorschlag ***Braunsche Röhre*** ***Autor H Käß***

a) Polung siehe Skizze …



b) Beschleunigungsarbeit $W_{el} = e \cdot U_B = ½\, m \cdot v_0^2 = E_{kin}$ kinetische Energie

und damit $v_0^2 = 2 \cdot e \cdot U_B$ / m

$= 2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C 2400 J / ($9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg C)

Geschwindgkeit $\mathbf{v_0 = 2{,}905 \cdot 10^7}$ **m/s**

in Prozent von *c* v_0 / c = $2{,}905 \cdot 10^7 / 2.9979 \cdot 10^8 = 0{,}0969 \approx$ **9,7 %**

c) Elektrische Leistung : $P_{el} = U_B \cdot I = 2400$ V · $10 \cdot 10^{-9}$ A = $\mathbf{24 \cdot 10^{-6}}$ **W = 24 µW**

d) Flugzeit t_F folgt aus $v_0 = L / t_F$

damit $t_F = L / v_0 = 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ m / $2{,}905 \cdot 10^7$ m/s

$=$ $\mathbf{5{,}16 \cdot 10^{-10}}$ **s = 0,516 ns**

e) Geschwindigkeitskomponente v_y in y-Richtung <u>nach</u> Durchfliegen der Ablenkeinheit

$v_y = a_y \cdot t_F = F_y \cdot t_F / m = e \cdot E \cdot t_F / m = e \cdot U_A \cdot t_F / (m \cdot D)$

für den Ablenkwinkel φ gilt $v_y / v_0 = \tan \varphi$

also $v_y = v_0 \cdot \tan \varphi = e \cdot U_A \cdot t_F / (m \cdot D)$

und nach U_A aufgelöst $U_A = m \cdot D \cdot v_0 \cdot \tan\varphi / (e \cdot t_F)$

$= 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ 1 \cdot 10^{-2}\ 2{,}905 \cdot 10^7$ kg m^2 tan 10°/ ($5{,}16 \cdot 10^{-10}\ 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C s^2)

= **563,5 V**

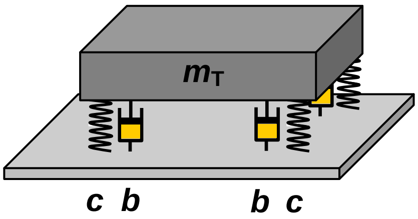
Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

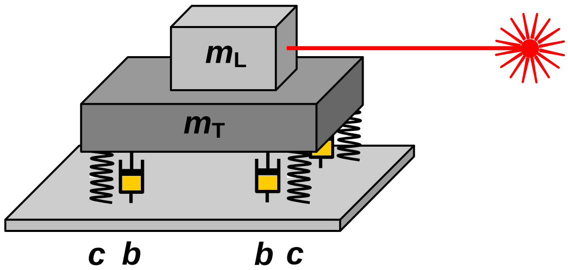
Fakultät Grundlagen

Wintersemester	2009/2010	Blatt 4 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 4:</u> Optischer Tisch **(18 Punkte)**

Ein optischer Tisch besteht aus einer schweren Platte der Masse m_T, die an den vier Ecken auf jeweils einer Feder der Federkonstante c gelagert ist. Parallel zu jeder Feder ist ein Stoßdämpfer mit der viskosen Reibungskonstante b eingebaut *(siehe Skizze links)*.





Angaben
$c = 1{,}5 \cdot 10^4$ N/m *Federkonstante*
$m_T = 800$ kg *Masse Tischplatte*

a) Welche Schwingungsfrequenz f_0 hätte der Tisch ohne die Stoßdämpfer ?

b) Wie ist die Reibungskonstante b der Stoßdämpfer zu wählen, damit der Tisch nach Auslenkung zügig und ohne Überschwingen wieder in die Ruhelage zurück kehrt ?

Auf den mit Stoßdämpfern entsprechend Teil b) versehenen Tisch wird ein Laser der Masse $m_L = 150$ kg gestellt *(siehe Skizze rechts)*.

c) Welche Werte haben nun Eigenfrequenz f_d, Abklingkonstante δ und Dämpfungsgrad D des Systems ? Wie bewegt sich der Tisch nach Auslenkung ?

d) Die störenden Vibrationen aus der Umgebung haben typischerweise Frequenzen zwischen 5 Hz und 100 Hz. Erklärt dies die meist recht hohe Masse der Platten solcher Tische *(qualitative Antwort mit Begründung)* ?

Lösungsvorschlag ***Optischer Tisch*** ***Autor H Käß***

a) Für die Kreisfrequenz gilt $\omega_0 = \sqrt{4 \cdot c / m_T} = \sqrt{6 \cdot 10^4 \, N / (800 \text{ kg m})} = 2 \pi f_0$

also ist $\omega_0 = 8{,}66$ rad/s

und somit $f_0 = \omega_0 / (2 \pi) =$ **1,378 Hz**

b) Aperiodischer Grenzfall $\omega_0 = \delta$ mit $\delta = b_{ges} / (2 \, m_T)$

also $b_{ges} = \delta \, 2 \, m_T = \omega_0 \cdot 2 \, m_T = 2 \cdot 800 \cdot 8{,}66$ kg / s

$= 13856$ kg / s

somit ein Dämpfer allein $b = ¼ \, b_{ges} =$ **3464 kg/s**

c) Mit Laser ist die schwingende Masse höher: $m_{ges} = m_T + m_L = 950$ kg

Damit wird die freie Kreisfrequenz $\omega_0 = \sqrt{4 \cdot c / m_{ges}} = 7{,}947$ rad/s

die Abklingkonstante $\delta = b_{ges} / (2 \, m_{ges}) =$ **7,293 rad/s**

und die gedämpfte Kreisfrequenz $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 3{,}157$ rad/s

Somit wird die Eigenfrequenz $f_d = \omega_d / (2 \pi) =$ **0,503 Hz**

und der Dämpfungsgrad $D = \delta / \omega_0 =$ **0,918**

Das System ist stark gedämpft, ein leichtes Überschwingen wird auftreten.

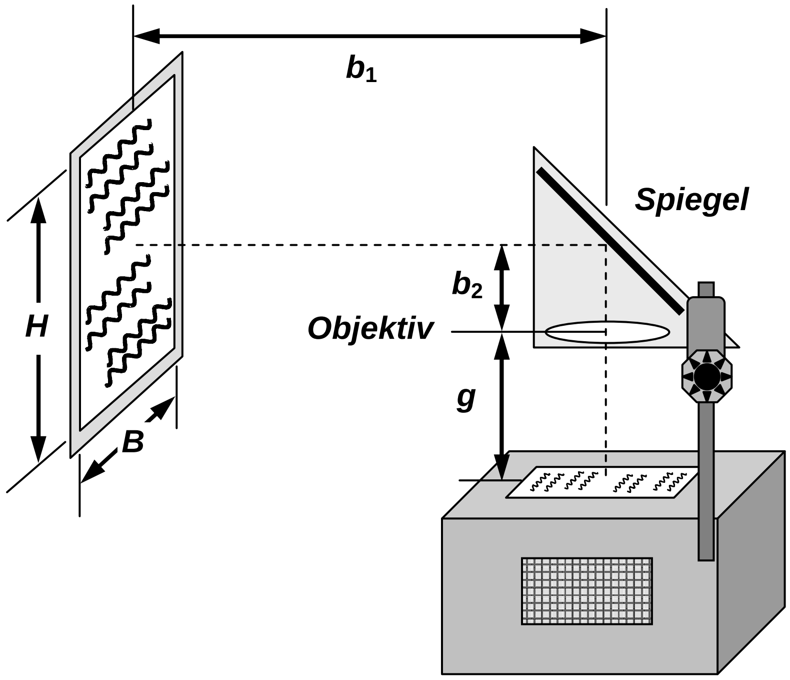
d) Äußere Vibrationen regen den Tisch zu erzwungenen Schwingungen an, diese haben besonders **große Amplitude bei** Anregung im Bereich der **Resonanz**frequenz.

Umgekehrt heißt dies : um den Effekt von Störungen klein zu halten, muss die **Resonanzfrequenz des Systems weit von der Frequenz der Störungen entfernt** sein. Also muss das System selbst entweder eine möglichst kleine Masse (das ist exeprimentell meist nicht möglich) oder eine möglichst große Masse haben.

Wintersemester 2009/2010	Blatt 5 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 5: Overheadprojektor **(14 Punkte)**

Im Physikhörsaal wurde eine neue Leinwand installiert. Allerdings musste deswegen der Standort des Overheadprojektors verändert werden. Der Abstand b_1 zwischen Projektor und Wand hat zugenommen, so dass eine DIN A4 Folie nun zu groß abgebildet wird. Das seither benutzte Objektiv der Brennweite f_{alt} kann so nicht mehr verwendet werden.



Angaben : b_1 = 3 m
b_2 = 15 cm
B = 1,2 m
H = 1,8 m

a) Der Spiegel im Projektor steht im Winkel von 45° zur optischen Achse durch das Objektiv. Wieso gilt für die Bildweite

$$b = b_1 + b_2 \text{ ?}$$

b) Eine A4-Folie der Abmessungen 20 cm x 30 cm soll wie skizziert auf die Leinwand abgebildet werden. Welche Brennweite f_{neu} muss das neue Objektiv dafür haben ?

c) Das alte Objektiv hatte die Brennweite f_{alt} = + 30 cm. Es soll mit einer Zusatzlinse der Brennweite f_z kombiniert werden, so dass sich insgesamt die gewünschte Brennweite f_{neu} ergibt. Was für ein Linsentyp wird benötigt und welchen Wert hat f_Z ?

Hinweis : Alle Linsen können als dünn und dicht beieinander stehend betrachtet werden.

Lösungsvorschlag ***Overheadprojektor*** ***Autor H Käß***

a) Der (ebene) Spiegel **lenkt** die Strahlen einfach **um**, dabei ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel und es findet **keine Brechung** statt. Der **Winkel** der Lichtstrahlen **zur optischen Achse** vor und nach der Reflexion ist somit **konstant**, ihre Wegstrecke wird einfach verlängert.

b) Als Gegenstandgröße sei die Höhe der A4 Folie $h = 0{,}30$ m

Die Bildgröße der Folie auf der Projektionswand ist $H = 1{,}8$ m

Für den Abbildungsmaßstab gilt $V = b\ /\ g = H\ /\ h = 6{,}0$

Somit ist die Gegenstandsweite $g = b/V = (b_1+b_2)/V = 0{,}525$ m

Die notwendige Brennweite f_{neu} folgt wie üblich aus der Abbildungsgleichung

$$1/f_{neu} = 1/g + 1/b = 1/0{,}525 \text{ m} + 1/3{,}15 \text{ m} = 2{,}22 \text{ 1/m}$$

Also ist $f_{neu} = \mathbf{0{,}45\ m}$

c) Die gesamte Brechkraft D_{neu} eines Systems aus zwei dicht aufeinandersteheneden dünnen Linsen mit den einzelnen Brechkraftwerten D_{alt} und D_Z folgt aus

$$D_{neu} = D_{alt} + D_Z$$

Die Brechkraft D_Z der Zusatzlinse ist demnach

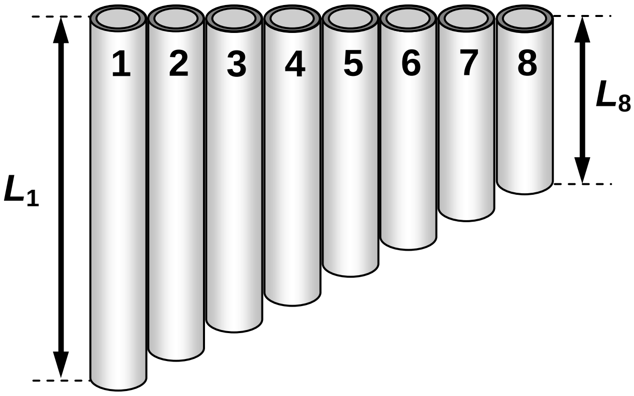
$$D_Z = D_{neu} - D_{alt} = 2{,}22 \text{ 1/m} – 3.33 \text{ 1/m} = -1{,}11 \text{ 1/m}$$

Ihre Brennweite ist $f_Z = 1\ /\ D_Z = \mathbf{-0.9\ m}$

Wintersemester 2009/2010	Blatt 6 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 6: **El cóndor pasa** **(26 Punkte)**

Nach Beschwerden wegen angeblich mangelnder Harmonie der damit produzierten Töne wird das Blasinstrument eines Straßenmusikanten im Physiklabor untersucht. Es handelt sich um eine Panflöte aus mehreren beidseitig offenen Rohren verschiedener Längen L_i.



a) Skizzieren Sie die Grundschwingung der Luftsäule in einem beidseitig offenen Rohr der Länge L mit Knoten und Bäuchen für (1) Auslenkung der Teilchen und (2) Druckverteilung

b) Wie hängt die Frequenz f dieser stehenden Welle mit L zusammen ?

Die Längen L_i der Rohre 1 und 8 sind : L_1 = 66 cm, L_8 = 33 cm
Die Messunsicherheit ist dabei jeweils : ΔL = ± 3 mm

Die Rohre 1 und 8 werden je 10 mal angeblasen und die Frequenz f_i der Töne gemessen:

f_1 / Hz	252,1	265,9	263,0	250,6	247,5	252,2	268,0	272,6	247,2	251,7
f_8 / Hz	517,0	538,5	537,4	515,5	536,6	532,3	512,6	526,6	537,3	516,5

c) Berechnen Sie für die Frequenzen f_1 und f_8 jeweils Mittelwert, Standardabweichung und den mittleren Fehler der Messwerte.

d) Berechnen Sie für beide Messreihen die Schallgeschwindigkeit c mit absolutem Fehler und daraus <u>ein</u> sinnvoll gerundetes Endergebnis (Fehler auf <u>eine</u> signifikante Stelle).

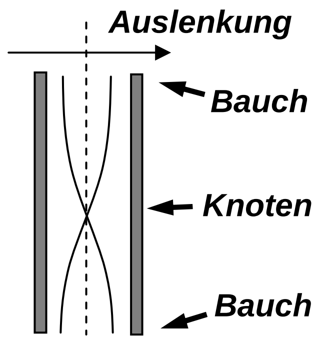
Für die Schallgeschwindigkeit c in Luft gilt in guter Näherung: $c = (331{,}5 + 0{,}6\, t_C/℃)$ m/s
Dabei ist für t_C die Temperatur in „Grad Celsius" einzusetzen

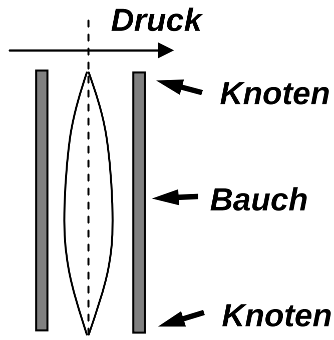
e) Welche Temperatur herrscht im Physiklabor ?

f) Welche Frequenzen f_1 und f_8 ergäben sich an einem kalten Wintertag bei -10℃ ? Was bedeutete dies für das vom Instrument abgedeckte Tonintervall (Verhältnis f_8/f_1) und für das Zusammenspiel mit anderen Arten von Instrumenten ?

Lösungsvorschlag ***El cóndor pasa*** ***Autor H Käß***

a) Skizzen der Grundschwingung





b) Frequenz f dieser stehenden Welle : $f = c / \lambda = \mathbf{c / (2\,L)}$

c) Mittelwerte $<f>$, Standardabweichung s und mittlerer Fehler $\Delta f = s / \sqrt{N}$ der Mittelwerte

$<f_1> =$ **257,08 Hz** $s_1 =$ **9,321 Hz** $\Delta f_1 = 9{,}321\text{ Hz} / \sqrt{10} =$ **2,947 Hz**
$<f_8> =$ **527,03 Hz** $s_8 =$ **10,629 Hz** $\Delta f_1 = 10{,}629\text{ Hz} / \sqrt{10} =$ **3,361 Hz**

d) Schallgeschwindigkeit aus den Messreihen:

Fehlerrechnung für $c = c(f, L) = f\,2\,L$ (reines Potenzgesetz)

Relativer Größtfehler $\Delta c/c = |\Delta f/f| + |\Delta L/L|$

Damit $c_1 = 2\,f_1\,L_1 = 2 \cdot 257{,}08 \cdot 0{,}66\text{ m/s} = 339{,}35\text{ m/s}$

$\Delta c_1/c_1 = 2{,}947\text{ Hz} / 257{,}08\text{ Hz} + 3\text{ mm} / 660\text{ mm} =$

$= 0{,}0115 + 0{,}0045 = 0{,}016 = 1{,}6\ \%$

$\Delta c_1 = c_1\,0{,}016 = 5{,}433\text{ m/s}$

$\boldsymbol{c_1} \mathbf{= (\ 339 \pm 5\ )\ m/s}$

und $c_8 = 2\,f_8\,L_8 = 2 \cdot 527{,}03 \cdot 0{,}33\text{ m/s} = 347{,}84\text{ m/s}$

$\Delta c_8/c_8 = 0{,}0155 = 1{,}6\ \%$

$\Delta c_8 = c_1\,0{,}016 = 5{,}38\text{ m/s}$

$\boldsymbol{c_8} \mathbf{= (\ 348 \pm 5\ )\ m/s}$

Daraus ein sinnvolles gemeinsames Endresultat $\boldsymbol{c} \mathbf{= (\ 344 \pm 5\ )\ m/s}$

e) Offenbar ist $344\text{ m/s} = (331{,}5 + 0{,}6\ t_C / ^\circ\text{C})\text{ m/s}$

Also $12{,}5^\circ\text{C} = 0{,}6\ t_C$ und somit $t_C = 20{,}8^\circ\text{C}$ **≈ 21°C**

f) Schallgeschwindigkeit bei -10°C $c(-10^\circ\text{C}) = (331{,}5 - 0{,}6\ 10^\circ\text{C} / ^\circ\text{C})\text{ m/s} = 325{,}5\text{ m/s}$

Daraus $f_1(-10^\circ\text{C}) = c / (2\,L_1) =$ **246,6 Hz** und $f_8(-10^\circ\text{C}) = c / (2\,L_8) =$ **493,2 Hz**

Das vom Instrument abgedeckte Tonintervall $\boldsymbol{f_1 / f_8} \mathbf{= 0{,}5}$ ist sowohl bei 21°C als auch bei -10°C jeweils eine Oktave. Im Winter sinken aber die Tonfrequenzen **insgesamt** ab, im Fall von f_1 etwa von 257 auf 246 Hz. Wenn andere Instrumente einen **anderen Temperaturgang** aufweisen, kommt es daher beim Zusammenspielen zu Misstönen.