FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester	2006	Blatt 1 (von 6)
Studiengang:	VU	Semester 2
Prüfungsfach:	Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

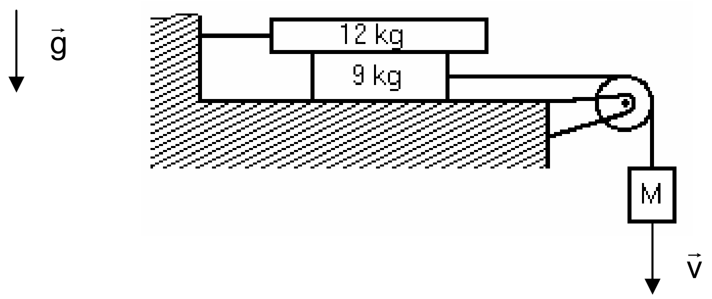
Gesamtpunktzahl: 120

<u>Aufgabe 1:</u> (30 Punkte)

Diese Aufgabe besteht aus vier unabhängig voneinander lösbaren Teilaufgaben a) – d)

a) Reibung

Im Bild ist ein System zu sehen, das aus drei Körpern (12 kg, 9 kg und M) besteht. Der Körper mit der Masse m = 9 kg liegt reibungsfrei auf einer Unterlage. Die Umlenkrolle soll sich ebenfalls reibungsfrei drehen können. Allerdings gibt es eine Reibkraft zwischen dem 9 kg und dem 12 kg schweren Körper mit einem Reibungskoeffizienten von $\mu = 0.3$.

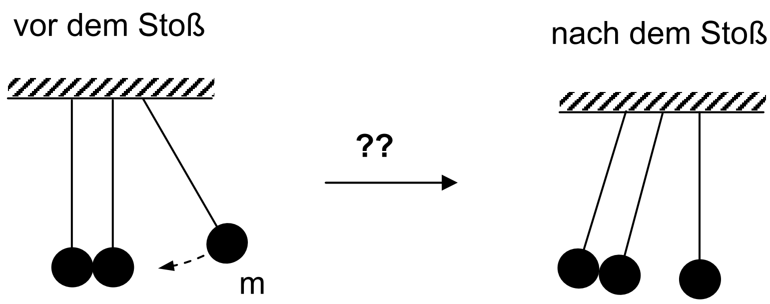


Momentaufnahme zum Zeitpunkt t

Wie groß ist die Masse M zu wählen, damit die Sinkgeschwindigkeit v konstant ist?

b) Stoß

Das nachstehende Bild soll einen zentralen, <u>elastischen</u> Stoß in einer Pendelreihe (im Schwerefeld der Erde) mit drei gleichen Massen m darstellen.



Zeigen Sie mit Hilfe des Energie- und Impulserhaltungssatzes, dass der in der rechten Bildhälfte skizzierte Zustand in Wirklichkeit nicht eintreten kann.

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1 ***Autor H Käß (Aufgabe T Hanak)***

a) Reibung

Konstante Sinkgeschwindigkeit bedeutet, daß keine resultierende Kraft auf die Masse M wirkt. Hier bedeutet dies, dass sich die Reibungskraft F_R zwischen den beiden Massen zu 9 und 12 kg und die Gewichtskraft F_G der Masse M das Gleichgewicht halten.

$$F_R = \mu\ F_N = \mu\ m\ g = 0.3\ 12\ \text{kg}\ 9.81\ \text{m/s}^2 = 35.3\ \text{N}$$

$F_R = F_G = M\ g$ und damit $M = F_R / g =$ **3.6 kg**

(6 Punkte)

b) Stoß

Es wird angenommen, dass die Kugel der Masse m in einer Höhe h über dem tiefsten Punkt ihrer Bahn losgelassen wird. Dann folgt für Energie E_{vor} und Impuls p_{vor} dieser Kugel vor dem Stoßvorgang (mit der Geschwindigkeit v_{vor} vor dem Stoß)

$E_{vor} = m\ g\ h = ½\ m\ v_{vor}^2$ und daraus $v_{vor} = \sqrt{2\ g\ h}$

$p_{vor} = m\ v_{vor} = m\ \sqrt{2\ g\ h}$

Für einen elastischen Stoß gelten sowohl Energie- als auch Impulserhaltung. Wenn der in der rechten Bildhälfte gezeichnete Zustand einträte, bedeutete dies also

IES $p_{vor} = m\ v_{vor} = 2\ m\ u_{nach} = p_{nach}$ und daraus $u_{nach} = \sqrt{g\ h / 2}$

EES $E_{vor} = m\ g\ h = ½\ (2\ m)\ u_{nach}^2$ und daraus $u_{nach} = \sqrt{g\ h}$

Offenbar ergibt sich ein Widerspruch ! Damit tritt der rechts gezeigte Zustand nicht ein.

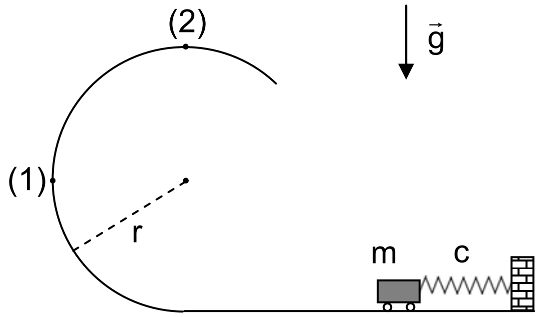
(6 Punkte)

FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester	2006	Blatt 2 (von 6)
Studiengang:	VU	Semester 2
Prüfungsfach:	Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020

c) Looping

Der Wagen mit der Masse m = 23 g liegt direkt vor einer gespannten Feder mit der Federkonstante c = 13 N/m. Der Wagen wird nun aus der Ruhe beschleunigt und rollt reibungsfrei in die halbkreisförmige Führungsschiene mit Radius r = 12 cm ein (s. Skizze).



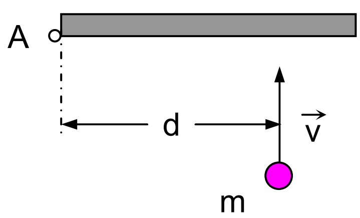
Annahme: Vernachlässigen Sie die räumliche Ausdehnung des Wagens.

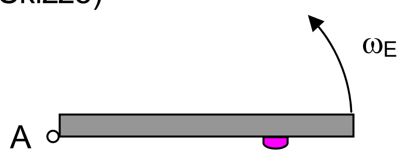
a) Um welche Strecke muss die Feder mindestens zusammengedrückt werden, damit der Wagen Punkt (2) erreicht, ohne den Kontakt zur Bahn zu verlieren?

b) Skizzieren Sie qualitativ die Kräfte (einschließlich der resultierenden Kraft) auf den Wagen im Punkt (1).

d) Türe

Eine Tür ist im Punkt A reibungsfrei drehbar gelagert. Ein Ball aus Knetmasse der Masse m = 0.4 kg und der Geschwindigkeit v = 25 m/s trifft im Abstand d = 60 cm von der Drehachse auf die Tür und bleibt an ihr kleben (s. Skizze)





Angabe: Das Massenträgheitsmoment der Tür bezüglich des Drehpunkts A beträgt J_A = 4.5 kg m^2

a) Mit welcher gemeinsamen Winkelgeschwindigkeit ω_E bewegen sich Tür und Knetmasse nach dem Stoß weiter?

b) Bleibt bei diesem Stoß die mechanische Energie erhalten? Begründen Sie ohne Rechnung!

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1 ***Autor H Käß (Aufgabe T Hanak)***

c) Looping

a) Die Feder werde um die Länge x aus der entspannten Lage zusammengedrückt, die Geschwindigkeit des Wagens in Punkt (2) betrage v_o

Energieerhaltungssatz $\frac{1}{2} c x^2 = \frac{1}{2} m v_o^2 + m g h$

$= \frac{1}{2} m v_o^2 + m g 2 r$

Grenzbedingung für Kontakt zur Bahn in Punkts (2): Zentripetalkraft = Gewichtskraft

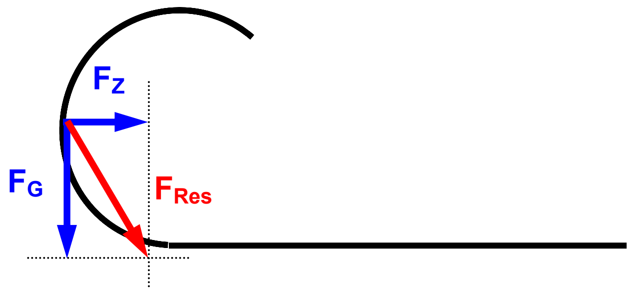
$F_Z = F_G$ daraus $m v_o^2 / r = m g$

also $v_o^2 = g r$

eingesetzt $\frac{1}{2} c x^2 = 5 m g r / 2$

$x = \sqrt{5 m g r / c}$ **= 0,102 m**

b)



(10 Punkte)

d) Türe

a) Drehimpulserhaltungssatz für diesen Drehstoß, Drehimpuls jeweils bezüglich Punkt A

Drehimpuls Ball $L_{vor} = m v d = L_{nach} = J_A \omega_E + m d^2 \omega_E$ Drehimpuls Tür + Ball

$= (J_A + m d^2) \omega_E$

Daraus $\omega_E = m v d / (J_A + m d^2)$

$= 0.4 \text{ kg } 25\ 0.6 \text{ m}^2 / (4.5 \text{ kg m}^2 + 0.4 \text{ kg } 0.36 \text{ m}^2)$

s

= 1,29 rad / s

<u>b) Begründung:</u> Unelastischer Stoßvorgang zwischen Ball und Türe, die Knetmasse wird deformiert wodurch mechanische Energie in Wärme verwandelt wird

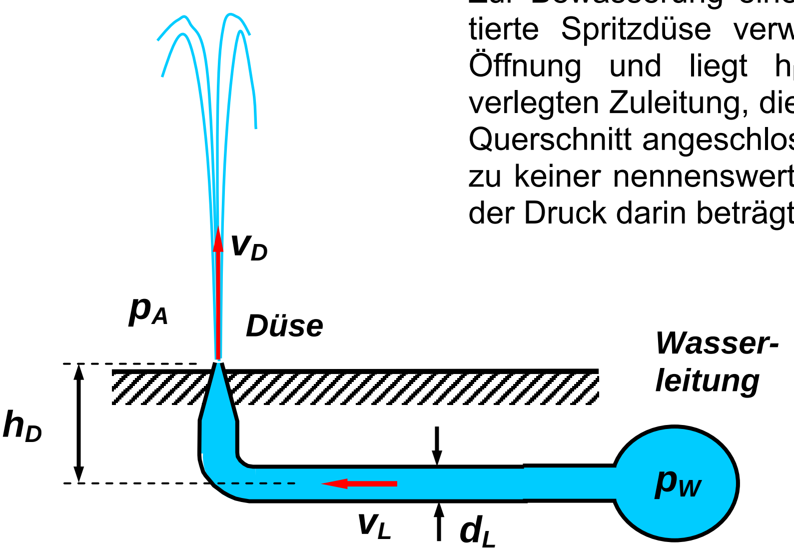
(8 Punkte)

FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester 2006	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: VU	Semester 2
Prüfungsfach: Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020

<u>Aufgabe 2 :</u> **Spritzdüse** **(20 Punkte)**

Zur Bewässerung eines Gartens wird eine vertikal orientierte Spritzdüse verwendet. Sie hat eine kreisförmige Öffnung und liegt $h_D = 50$ cm über einer im Boden verlegten Zuleitung, die an eine Wasserleitung mit großem Querschnitt angeschlossen ist. Die Wasserentnahme führt zu keiner nennenswerten Strömung in der Wasserleitung, der Druck darin beträgt somit konstant $p_W = 2{,}0$ bar.



Angaben:
reibungsfreie Strömung !
Außendruck: $p_A = 1$ bar
Dichte von Wasser: $\rho = 1 g/cm^3$

a) Mit welcher Geschwindigkeit v_D tritt das Wasser aus der Düse aus ?

b) Die Düse hat einen Durchmesser von 0,6 cm. Wie groß ist der Volumenfluß pro Zeit ?

c) Das Zuleitungsrohr hat den Durchmesser $d_L = 1{,}5$ cm. Mit welcher Geschwindigkeit v_L fließt das Wasser in der Zuleitung ?

d) Welche mechanische Pumpleistung ist zur Aufrechterhaltung der Strömung nötig ?

Lösungsvorschlag „Spritzdüse" ***Autor H Käß***

a) Bernoulligleichung, reibungsfreie Strömung : Druck p_W in Wasserleitung gleich Druck in Düse :

$$p_W = p_A + \tfrac{1}{2}\,\rho\, v^2 + \rho\, g\, h_D$$
$$v_D^2 = 2\,(p_W - p_A - \rho\, g\, h_D)\,/\,\rho$$
$$= 2\,(10^5\ N/m^2 - 1000\ 9{,}81\ N/m^2)\ m^3\,/\,1000\ kg = 190{,}2\ m^2\,/\,s^2$$
$$\mathbf{v_D = 13{,}79\ m/s} = 49{,}6\ km/h$$

(7 Punkte)

b) Düsenquerschnitt : $A_D = \pi\, r^2 = \pi\,(3\cdot 10^{-3}\ m)^2 = 0{,}283\ cm^2$

Volumfluß $\Delta V/\Delta t = A_D\, v_D = 0{,}283\ 10^{-4}\ m^2\ 13{,}79\ m/s$ $=$ **$0{,}00039\ m^3/s$**

$= 0{,}390\ l/s = 23{,}4\ l/min = 1{,}40\ m^3/h$

(5 Punkte)

c) Kontinuitätsgleichung : $A_D\, v_D = A_L\, vL = const$

$\rightarrow$ $v_L = v_D\, A_D/A_L = v_D\, d_D^2\,/\,d_L^2 = v_D\ 0{,}6^2\,/\,1{,}5^2 =$ **$2{,}21\ m/s$**

(4 Punkte)

d) Mechanische Leistung $P_{mech} = p\,\Delta V/\Delta t = (p_W - p_A)\,\Delta V/\Delta t$

$= 1\cdot 10^5\ N/m^2\ 0{,}00039\ m^3/s$ $=$ **$39{,}0\ W$**

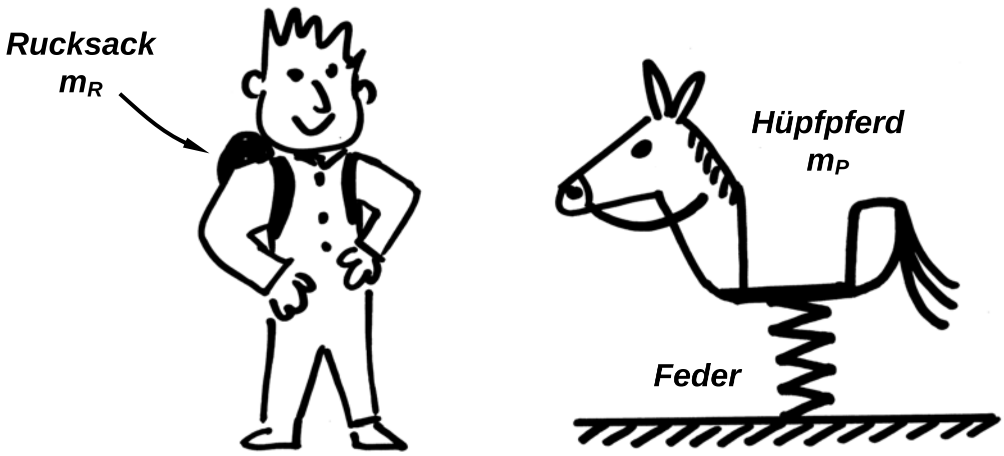
(4 Punkte)

FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester	2006	Blatt 4 (von 6)
Studiengang:	VU	Semester 2
Prüfungsfach:	Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020

Aufgabe 3: **Hüpfpferd** **(25 Punkte)**

Ein Kind der Masse m_K = 25 kg trägt einen Rucksack der Masse m_R = 5 kg. Es sieht auf einem Spielplatz ein auf einer senkrechten Feder angebrachtes Hüpfpferd und sitzt auf. Das Pferd mit dem nun ruhig sitzenden Kind schwingt vertikal mit der Frequenz f_1 = 1,0 Hz Nach kurzer Zeit nimmt das Kind den Rucksack ab und wirft ihn auf den Boden. Daraufhin erhöht sich die Schwingungsfrequenz auf f_2 = 1,07 Hz.



Hinweise: Die Feder sei masselos. Die Teile c), d) sind unabhängig von a), b) lösbar !

a) Berechnen Sie die Federkonstante c der Anordnung.

b) Berechnen Sie die Masse m_P des Pferdes.

Nach einiger Zeit stößt sich das Kind einmal vom Boden ab. Die Schwingungsamplitude der Anordnung mit dem ohne Rucksack wieder ruhig sitzenden Kind nimmt danach innerhalb von 4 Perioden exponentiell auf 1/3 des Anfangwertes ab.

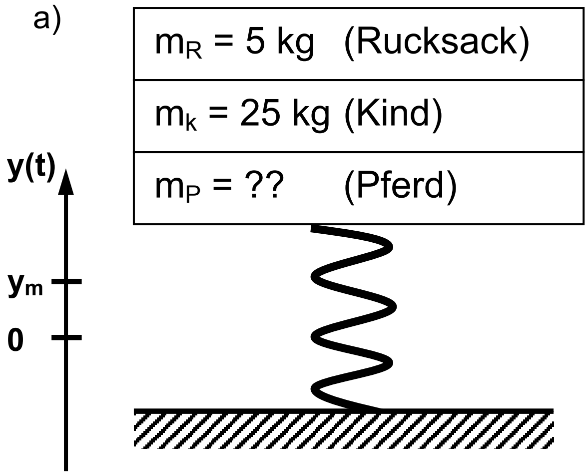
c) Berechnen Sie Abklingkonstante δ und Dämpfungsgrad D der gedämpften Schwingung.

Das Kind beginnt sich nun rhythmisch im Sattel auf und ab zu bewegen, wodurch die Anordnung periodisch angeregt wird.

d) Berechnen Sie die zur Erzielung maximaler Amplitude erforderliche Erregungsfrequenz.

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 3 *Autor H Käß*

a)



Kreisfrequenz mit Rucksack
$\omega_1^2 = 4\,\pi^2\, f_1^2 = c \,/\, (\, m_R + m_K + m_P\,)$

Kreisfrequenz ohne Rucksack
$\omega_2^2 = 4\,\pi^2\, f_2^2 = c \,/\, (\, m_K + m_P\,)$

daraus folgt

(1) $m_R + m_K + m_P = c \,/\, (4\,\pi^2\, f_1^2)$

(2) $m_K + m_P = c \,/\, (4\,\pi^2\, f_2^2)$

also $m_R = (1 \,/\, f_1^2 - 1 \,/\, f_2^2\,)\; c \,/\, (4\,\pi^2)$

daher $c = 4\,\pi^2\, m_R \,/\, (1 \,/\, f_1^2 - 1 \,/\, f_2^2\,)$
$= 4\,\pi^2\, 5\text{ kg} \,/\, (1/1^2 - 1/1{,}07^2\,)\text{s}^2$
$= 1559{,}66$ N/m = **1560 N/m**

(9 Punkte)

b) Masse des Pferdes aus (2) $m_P = c \,/\, (4\,\pi^2\, f_2^2) - m_K$
$= 1560\text{ N s}^2 \,/\, (4\,\pi^2\; 1{,}07^2\text{ m}) - 25\text{ kg}$ **= 9,507 kg**

(3 Punkte)

c) Amplitudenabnahme einer gedämpften Schwingung $x_m(t) = x_m(0)\, e^{-\delta t}$

Die Schwingungsdauer beträgt hier $T_2 = 1/f_2 = 0{,}9346$ s

Also $x_m(4\,T_2) = x_m(0)\, e^{-\delta\, 4\, T2} = x_m(0) \,/\, 3$
daraus $-\delta\; 4\, T_2 = \ln\,(1/3) = -\ln 3$
und somit $\delta = \ln 3 \,/\, (4\, T_2) =$ **0,2939 1/s**

Schwingungsfrequenz ω_0 des gleichen Systems ohne Dämpfung : $\omega_2 = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

$\omega_0^2 = \omega_2^2 + \delta^2 = 4\,\pi^2\, f_2^2 + \delta^2 = 45{,}285\; 1/\text{s}^2$
$\omega_0 = 6{,}729$ rad/s

Dämpfungsgrad D $D = \delta \,/\, \omega_0 =$ **0,0437**

(8 Punkte)

d) Resonanzfrequenz $\omega_{res} = \omega_0 \sqrt{1 - 2\, D^2}$
$= 6{,}729\text{ rad / s} \sqrt{1 - 2\; 0{,}0437^2} = 6{,}7166$ rad / s

$f_{res} = \omega_{res} \,/\, (2\,\pi) =$ **1,06898 Hz**

(5 Punkte)

FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester	2006	Blatt 5 (von 6)
Studiengang:	VU	Semester 2
Prüfungsfach:	Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020

Aufgabe 4 (18 Punkte)

Ein einatomiges ideales Gas mit der Anfangstemperatur ϑ_1 = 19°C wird in sehr kurzer Zeit auf ein Zehntel des ursprünglichen Volumens komprimiert.

a) Machen Sie vernünftige Annahmen und skizzieren Sie die Zustandsänderung im p,V-Diagramm.

b) Welche Temperatur ϑ_2 hat das Gas nach der Kompression ?

c) Wie groß wäre ϑ_2, wenn es sich um ein zweiatomiges Gas handelte ?

d) Bei welcher Art von Gas – einatomig oder zweiatomig - wäre der Arbeitsaufwand für die Kompression (bei gleicher Stoffmenge n und gleichem Volumenverhältnis) größer?

Aufgabe 5 (15 Punkte)

Einem unbekannten Gas wird bei konstantem Druck p = 1 bar die Wärmemenge 20.9 J zugeführt. Das Volumen ändert sich bei dieser Zustandsänderung von 63 auf 113 cm^3.

a) Skizzieren Sie die Zustandsänderung im p,V-Diagramm.

b) Bestimmen Sie die Änderung der inneren Energie des Gases.

c) Welche molare Wärmekapazität C_{mp} bei konstantem Druck hat das Gas, wenn es in einer Stoffmenge von n = 2.00 x 10^{-3} mol vorliegt ?

d) Wie groß ist für das Gas die molare Wärmekapazität C_{mv} bei konstantem Volumen?

Lösungsvorschlag Aufgabe 4 ***Autor H Käß (Aufgabe Th Hanak)***

a) Diagramm siehe Lehrbücher, vernünftige Annahmen sind hier :

adiabatischer Vorgang
Isentropenexponent K = 1,67
$p\ V^K = const$
$T_1 = \vartheta_1 + 273{,}16\ K = 292{,}16\ K$

(3 Punkte)

b) $p\ V^K = const$ => $p_1 V_1^K = p_2 V_2^K$ hierbei ist $V_2 = V_1 / 10$

demnach $p_1 V_1^K = p_2 (V_1 / 10)^K = p_2 V_1^K\ 10^{-K}$

(1) Adiabate $p_2 = p_1\ 10^K$

(2) ideales Gas $p_2 V_2 = n R T_2$

(1) in (2) $p_2 V_2 = p_1\ 10^K\ V_1 / 10 = n R T_2$
$p_1 V_1\ 10^{K-1} = n R T_2$

Mit Gasgesetz $n R T_1\ 10^{K-1} = n R T_2$
folgt $T_2 = T_1\ 10^{K-1} = 10^{0{,}67}\ 292{,}2\ K = 4{,}68\ 292{,}2\ K$ **= 1366,5 K**
= 1093,5 °C

(7 Punkte)

c) Zweiatomiges Gas, Isentropenexponent = 1.4, dann wird
$T_2 = T_1\ 10^{K-1} = 10^{0{,}4}\ 292{,}2\ K = 2{,}51\ 292{,}2\ K$ **= 733,9 K**
= 460,7 °C

(3 Punkte)

d) Kompressionsarbeit W_{12}

Es gilt $W_{12} = (p_2 V_2 – p_1 V_1) /(K-1) = (p_1 V_1\ 10^{K-1} – p_1 V_1) /(K-1)$
$= p_1 V_1 (10^{K-1} – 1) /(K-1)$

Damit, wenn einatomig (K = 1,67) $W_{12} = p_1 V_1$ **5,49, größerer Aufwand**
wenn einatomig (K = 1,4) $W_{12} = p_1 V_1$ **3,78**

(5 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 5 ***Autor H Käß (Aufgabe Th Hanak)***

a) Diagramm siehe Lehrbücher, isobarer Vorgang

$T_1 = \vartheta_1 + 273{,}16\ K = 292{,}16\ K$

(3 Punkte)

b) 1. Hauptsatz, $dU = dQ + dW$

$\Delta U = \Delta Q - p\,\Delta V = 20{,}9\ J - 10^5\ N/m^2\ (113 - 63)\ 10^{-6}\ m^3$ **= 15,9 J**

(3 Punkte)

c) $\Delta H = n\,C_{mp}\,\Delta T = \Delta U + p\,\Delta V = \Delta Q = 20{,}9\ J$

Berechnung von $\Delta T = T_2 - T_1$

$p_1 V_1 = n R T_1$ und $p_2 V_2 = n R T_2$ wobei $p_1 = p_2 = 1\ bar$

damit

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$
$$T_2 = T_1 V_2 / V_1$$
$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_1 (V_2 / V_1 - 1)$$

mit $p_1 V_1 = n R T_1$ folgt

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (V_2 / V_1 - 1)\, p_1 V_1 / (n R)$$
$$= 379{,}1\ K\ (1{,}794 - 1) = 300{,}8\ K$$

und es ergibt sich $C_{mp} = \Delta Q / (n\,\Delta T) =$ **34,74 J / (mol K)**

(8 Punkte)

d) $C_{mv} = C_{mp} - R =$ **26,46 J / (mol K)**

(1 Punkt)

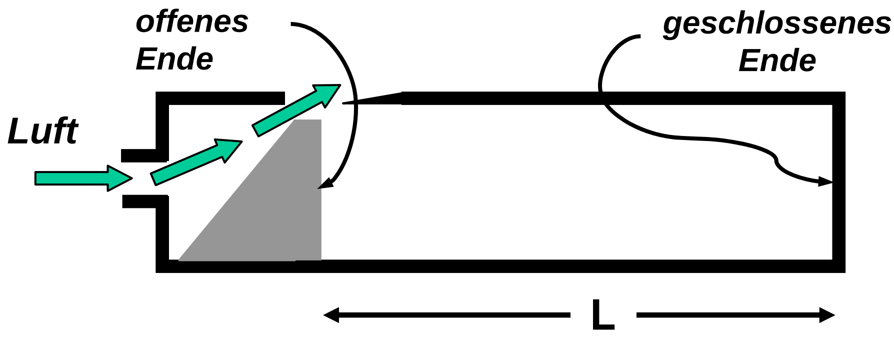
FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

Sommersemester 2006	Blatt 6 (von 6)
Studiengang: VU	Semester 2
Prüfungsfach: Experimentalphysik 1,2	Fachnummer: 2020

<u>Aufgabe 6 :</u> **Orgelpfeife** **(12 Punkte)**

Die stehenden Schallwellen in einer gedackten Orgelpfeife lassen sich mit dem Modell der einseitig geschlossenen Röhre beschreiben. In einem Versuch ergaben sich für Grundschwingung und die zwei ersten Oberschwingungen einer solchen mit Luft angeblasenen Orgelpfeife der Länge L = 70 cm nebenstehende Frequenzen :

f_0 [Hz]	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]
121,6	363,5	606,5



a) Skizzieren Sie die Grundschwingung und die ersten beiden Oberschwingungen.

b) Geben Sie eine Beziehung zur Berechnung der Frequenzen der stehenden Wellen an.

c) Berechnen Sie für die gemessenen Frequenzen f_0, f_1 und f_2 die Schallgeschwindigkeit in Luft und bestimmen Sie einen gemeinsamen Mittelwert.

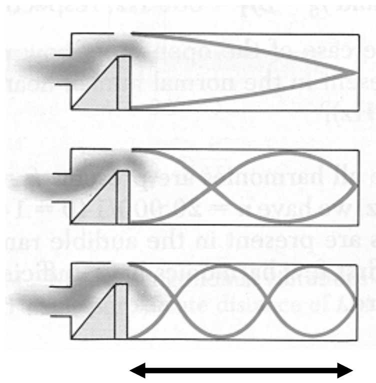
d) Berechnen Sie die Frequenz f_3 der dritten Oberschwingung.

Nach der Theorie folgt die Schallgeschwindigkeit c in Gasen aus den Werten für Druck p, Dichte ρ und Isentropenexponent κ :

$$c = \sqrt{\frac{\kappa\ p}{\rho}}$$

e) Im Experiment war p = 1,030 bar und ρ = 1,25 kg/m^3. Berechnen Sie den Wert von κ in Luft. Was bedeutet das Ergebnis für die atomare Struktur der Moleküle in Luft ?

Lösungsvorschlag „Orgelpfeife" *Autor H Käß*



a) siehe Skizze

(3 Punkte)

b) Die Pfeife enthält auf die Länge L ungeradzahlige Vielfache von λ/4 …

$L = (2n + 1)\ \lambda/4 \qquad n = 0,1,2, \ldots$

also $\lambda = 4\ L / (2n + 1)$

wobei $c = \lambda\ f$

und damit $\mathbf{f = c / \lambda = (2n + 1)\ c / 4\ L}$

(3 Punkte)

c) Schallgeschwindigkeit $c = \lambda\ f$

also
$c_0 = f_0\ 4\ L = 340{,}5$ m/s
$c_1 = f_1\ 4\ L / 3 = 339{,}3$ m/s
$c_2 = f_2\ 4\ L / 5 = 339{,}6$ m/s

Gemeinsames Endergebnis **c = 339,8 m / s**

(3 Punkte)

d) Dritte Oberschwingung f_3 :

$f = c / \lambda = (2n + 1)\ c / 4\ L = 7 \cdot 339{,}8\ \text{m} / (\text{s}\ 4 \cdot 0{,}7\ \text{m}) =$ **849,5 Hz**

(1 Punkt)

e) Isentropenexponent

$$\kappa = c^2 \frac{\rho}{p} = 339{,}8^2 \frac{m^2}{s^2} \frac{1{,}25\ kg / m^3}{1{,}03\ bar} = 1{,}4013$$

Die Moleküle in Luft werden also zweiatomig sein

(2 Punkte)