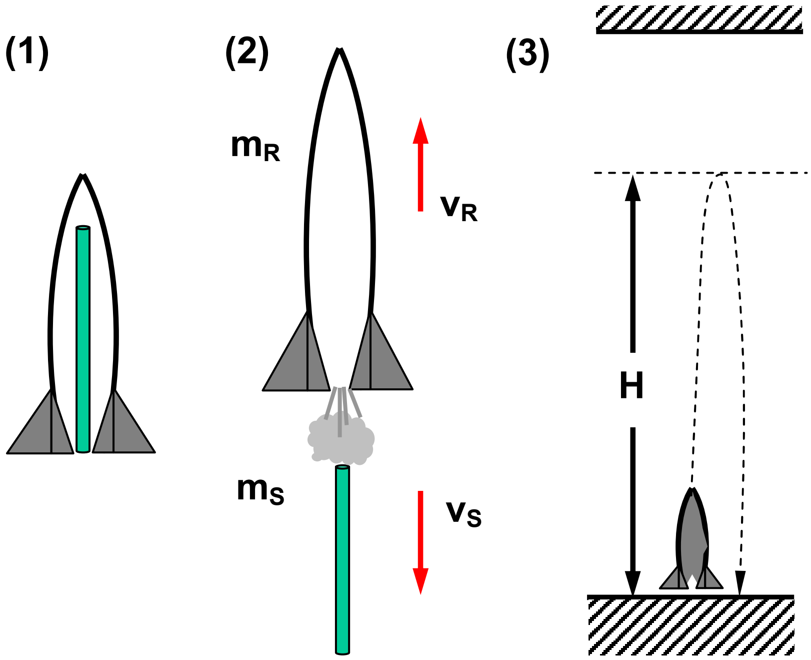
Sommersemester 2007		Blatt 1 (von 6)
Studiengang:	BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

Gesamtpunktzahl: 120

<u>Aufgabe 1:</u> Rakete **(17 Punkte)**

In der Physikvorlesung wird eine mit „Pressluft und Holz“ betriebene Rakete gestartet. Sie enthält einen Holzstab der Masse m_S . Zuerst wird sie arretiert und mit einer Luftpumpe aufgepumpt (1). Nach Lösen der Arretierung strömt die Luft aus der Rakete und schleudert den Holzstab mit der Geschwindigkeit v_S nach hinten heraus (2). Die Rakete startet mit der Anfangsgeschwindigkeit v_R nach oben und steigt bis zur maximalen Steighöhe H (3).



<u>Angaben</u>:

H = 0,9 m Steighöhe
m_r = 50 g Masse Rakete
m_s = 10 g Masse Holzstab

Alle Vorgänge sind reibungsfrei, die Masse der Luft in der Rakete wird vernachlässigt. Rakete und Stab sind Massepunkte

a) Wie groß ist die Anfangsgeschwindigkeit v_R der Rakete ?

b) Wie groß ist die Geschwindigkeit v_S mit welcher der Stab herausgeschleudert wird ?

c) Der Stab wird in einer Zeitspanne von 15 ms herausgeschleudert. Welche Schubkraft wirkt während dieser Zeit auf die Rakete ?

d) Wie lange dauert der Flug, bis die Rakete wieder auf Starthöhe angekommen ist ?

e) Welche Kraft wirkt im höchsten Punkt der Bahn auf die Rakete ? Bitte Betrag <u>und</u> Richtung angeben.

Lösungsvorschlag **Rakete** ***Autor H Käß***

a) Energieerhaltungssatz – die kinetische Anfangsenergie der mit der Geschwindigkeit v_R startenden Rakete ist nach Erreichen der Höhe H in potentielle Energie verwandelt.

$$m\ g\ H = \tfrac{1}{2}\ m\ v_R^2$$

$$v_R^2 = 2\ g\ H \quad \text{und somit} \quad v_R = \mathbf{4{,}2\ m/s}$$

b) Für das Herausschleudern gilt der Impulserhaltungssatz, in Beträgen geschrieben :

$$m_R \cdot v_R = m_S \cdot v_S$$

Also beträgt die Geschwindigkeit des Stabes $v_S = v_R \cdot m_R / m_S = 5\ v_R =$ **21,01 m/s**

c) Mittlere Schubkraft F_S = Impulsänderung der Rakete Δp / Zeitspanne Δt

Also $F_S = \Delta p / \Delta t = m_R \cdot v_R / \Delta t =$ **14,01 N**

d) Gesamte Flugzeit der Rakete ist die doppelte Zeit ihres Falls aus der Höhe H = 0,9 m

Mit $s = \tfrac{1}{2}\ g\ t^2$ folgt $t = \sqrt{2 \cdot H / g} = 0{,}428\ s$

Also $T_F = 2 \cdot t =$ **0,857 s**

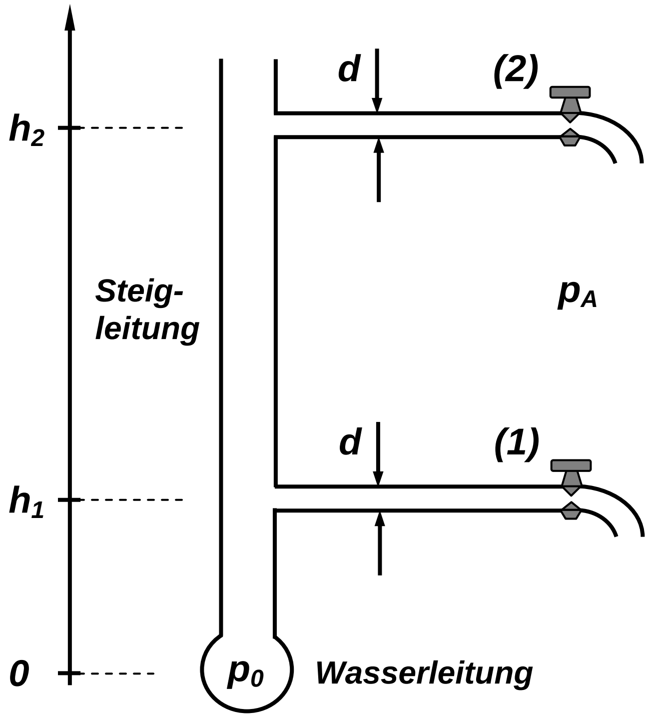
e) Im höchsten Punkt wirkt allein die **Gewichtskraft** $F_G = m_R\ g =$ **0,49 N** auf die Rakete.

Sie ist **senkrecht nach unten** gerichtet.

Sommersemester 2007	Blatt 2 (von 6)
Studiengang: BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)

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

Zwei Wasserhähne (1) und (2) im Erdgeschoss und 1. Stock eines Hauses sind über Rohre mit Durchmesser d an die Wasserversorgung angeschlossen. Die Hähne sind als Verengungen der Rohre anzusehen. Je nach Grad ihrer Öffnung geben sie Querschnittsflächen der Größe A_1 beziehungsweise A_2 frei, durch welche das Wasser strömt. Diese Entnahme von Wasser führt zu keiner nennenswerten Strömung in Wasser- und Steigleitung.



<u>Angaben</u>:

h_1 = 2 m Höhe Erdgeschoss
h_2 = 5 m Höhe 1. Stock
d = 1,27 cm Rohrdurchmesser
A_1= 10 mm^2 Strömungsquerschnitt in (1)
p_0 = 2 bar Druck in Wasserleitung
p_A = 1 bar Aussendruck

$\eta = 10^{-3}$ Ns/m^2 Viskosität H_2O
$\rho = 1$ g / cm^3 Dichte H_2O

Hinweis: Nehmen Sie für die Teilaufgaben a), b), c) und d) reibungsfreie Strömung an !

a) Welcher Wasserdruck herrscht bei den Höhen h_1 und h_2 in der Steigleitung ?

b) Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit v_1 durch den Querschnitt A_1 in Hahn (1) ?

c) Welches Volumen fließt pro Zeiteinheit durch Hahn (1) ?

d) Der Volumenfluss durch Hahn (2) soll gleich dem durch Hahn (1) sein. Welcher Querschnitt A_2 ist dafür an Hahn (2) einzustellen ?

e) Ist die Strömung im Rohr vor Hahn (1) laminar oder turbulent ?

Lösungsvorschlag **Wasserversorgung** ***Autor H Käß***

a) Mit steigender Höhe nimmt der Druck in der Steigleitung ab.

Höhe h_1 : $p_1 = p_0 - \rho \cdot g \cdot h_1$ = 200000 Pa – 19620 Pa
= $1{,}804 \cdot 10^5$ N/m² = **1,804 bar**

Höhe h_2 : $p_2 = p_0 - \rho \cdot g \cdot h_2$ = 200000 Pa – 49050 Pa
= $1{,}509 \cdot 10^5$ N/m² = **1,509 bar**

b) Bernoulligleichung (Ausströmgesetz)

Die Strömungsgeschwindigkeit v_1 in Hahn 1 $\frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + p_A = p_1$

ergibt sich nach Auflösung zu $v_1 = \sqrt{2\,(p_A - p_1) / \rho}$ = **12,68 m/s**

c) Für den Volumenstrom gilt $\Delta V/\Delta t = A_1 \cdot v_1$ = 0,00013 m³ /s = 0,127 l/s = **7,61 l/min**

d) Die Strömungsgeschwindigkeit v_2 durch Hahn 2 ergibt sich analog zu c) zu

$v_2 = \sqrt{2\,(p_A - p_2) / \rho}$ = **10,09 m/s**

Aus dem Zusammenhang von Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit folgt

$A_2 = (\Delta V/\Delta t) / v_1$ = **12,56 mm²**

e) Das Rohr vor Hahn 1 hat den Querschnitt $A_0 = \pi\,(d/2)^2$ = 126,7 mm²

Die Strömungsgeschwindigkeit v_m im Rohr vor Hahn 1 folgt damit sofort aus der Kontinuitätsgleichung $A_1 \cdot v_1 = A_0 \cdot v_m$ zu v_m = 1,00 m/s

Die kritische Reynoldszahl für den Umschlag einer Rohrströmung von laminar nach turbulent beträgt $Re_{krit} = 2320$

Die Strömung im Rohr hat die Reynoldszahl $Re = \rho \cdot v_m \cdot d / \eta$ = **12711** >> Re_{krit}

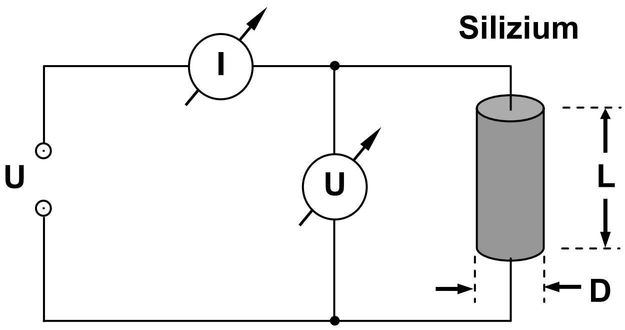
Die Strömung ist demnach **turbulent**

Sommersemester 2007	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)

Aufgabe 3: Temperaturabhängiger Widerstand (30 Punkte)

Ein kreisrundes Stäbchen aus reinem Silizium hat den Durchmesser D = 8 mm und die Länge L = 50 mm. Der Temperaturverlauf seines Widerstands R soll untersucht werden. Dazu wird bei konstant gehaltener Spannung U = 100 V der Stromfluss I gemessen :

ϑ [°C]	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200
I [mA]	0,115	0,217	0,434	1,18	3,14	7,56	16,7	34,3	66,1	121



Hinweis: Die Theorie liefert folgende Abhängigkeit des Widerstands R von der absoluten Temperatur T :

$$R(T) = R_0 \cdot e^{\frac{E_g}{2kT}}$$

k = 1,38066 ·10⁻²³ J/K
E_g = materialspezifische Konstante

a) Zeigen Sie, dass die logarithmische Auftragung des Widerstands R über der reziproken absoluten Temperatur 1/T eine Gerade ergibt, aus der die Konstante E_g folgt.

b) Erstellen Sie ein entsprechendes Diagramm und bestimmen Sie E_g. Geben Sie dabei den Wert für E_g in der Energieeinheit Elektronenvolt (eV) an : **1 eV = 1,602·10⁻¹⁹ J**

c) Ermitteln Sie Fehlergrenzen und geben Sie das sinnvoll gerundete Endergebnis für E_g an (eine signifikante Stelle für den Fehler).

d) Welchen spezifischen Widerstand ρ hat Silizium der Messung zufolge bei 100°C ?

Lösungsvorschlag **Widerstand** ***Autor H Käß***

a) Logarithmieren der theoretischen Beziehung ergibt

$$\ln R(T) = \ln R_0 + E_g / (2kT) = \ln R_0 + (½\, E_g/k) \cdot 1/T$$

Bei Auftragung von ln R gegen 1/T ergibt sich eine Gerade der Steigung $m = ½\, E_g/k$

Die Steigung m kann aus einer entsprechenden graphischen Auftragung ermittelt werden, aus ihr folgt dann sofort E_g

b) ... *siehe Diagramm* ...

Als Steigung der optimalen Gerade ergibt sich $m_{opt} = 6517$ K

Daraus folgt die Materialkonstante $E_g = 2 \cdot k \cdot m_{opt} = 1{,}799 \cdot 10^{-19}$ J

$= \mathbf{1{,}123\ eV}$

c) Die Fehlergrenzen werden graphisch aus dem Diagramm ermittelt.

Die Steigung der unteren Grenzgerade ist $m_1 = 6438$ K

Daraus folgt die Materialkonstante $E_g = 2 \cdot k \cdot m_1 = 1{,}777 \cdot 10^{-19}$ J

$= \mathbf{1{,}110\ eV}$

Die Steigung der oberen Grenzgerade ist $m_2 = 6734$ K

Daraus folgt die Materialkonstante $E_g = 2 \cdot k \cdot m_2 = 1{,}859 \cdot 10^{-19}$ J

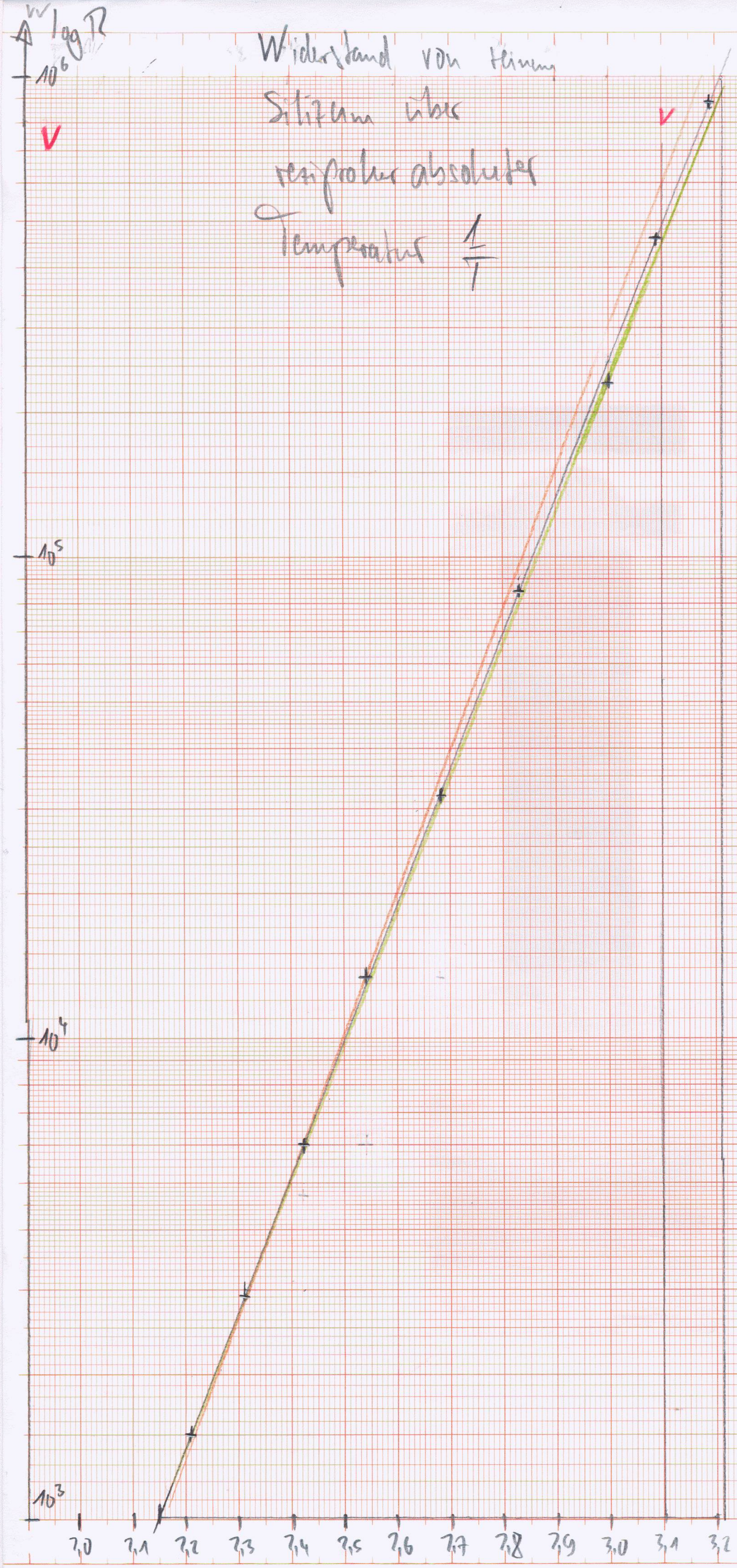
$= \mathbf{1{,}161\ eV}$

Das sinnvoll gerundete Ergebnis für E_g ist damit

$$\mathbf{E_g = (\ 1{,}12 \pm 0{,}04\ )\ eV}$$

d) Für den Widerstand R eines Leiters gilt : $R = \rho \cdot l / A$

damit wird der spezifische Widerstand ρ $\rho = R \cdot A / l =$ **32,03 Ωm**



(7)

Σ=12

optimale Gerade

$$m_{opt} = \frac{\ln 10^6 - \ln 10^3}{3{,}21\cdot 10^{-3}\,\frac{1}{k} - 2{,}15\cdot 10^{-3}\,\frac{1}{k}} = 6516{,}75\ k$$

untere Grenzgerade

$$m_1 = \frac{\ln 9{,}7\cdot 10^5 - \ln 10^3}{(3{,}21 - 2{,}15)\, 10^{-3}}\ k = 6438{,}09\ k$$

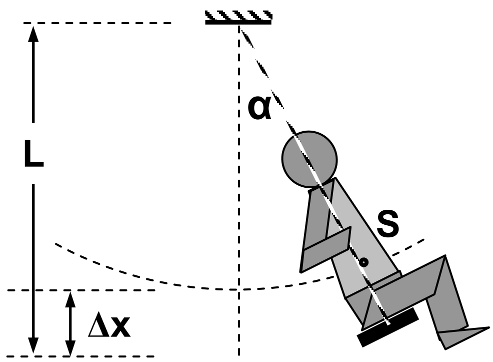
obere Grenzgerade

$$m_2 = \frac{\ln 6\cdot 10^5 - \ln 10^3}{(3{,}1 - 2{,}15)\, 10^{-3}}\ k = 6733{,}61\ k$$

Sommersemester 2007	Blatt 4 (von 6)
Studiengang: BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)

Aufgabe 4: Schaukel **(20 Punkte)**

Ein Kind der Masse $m_K = 15$ kg sitzt auf einer Schaukel, deren Sitzbrett an Seilen der Länge $L = 1{,}55$ m hängt. Die Masse von Sitzbrett und Seilen ist zu vernachlässigen. Die Schaukel wird mit dem Anfangswinkel $\alpha_0 = 10°$ aus der Ruhe losgelassen und schwingt danach frei mit einer Schwingungsdauer von $T_d = 2{,}4$ s. Die Schwingungsamplitude α_m verringert sich innerhalb von 5 Perioden exponentiell auf ¼ des Anfangswertes α_0.



a) Berechnen Sie die Abklingkonstante δ der Anordnung.

b) Berechnen Sie die zugehörige Schwingungsdauer T_0 der Schaukel ohne Dämpfung.

c) Berechnen Sie den Dämpfungsgrad D der Anordnung.

d) In welcher Höhe Δx über dem Sitzbrett befindet sich der Schwerpunkt S des Kindes ?

Hinweis: Für Teil d) ist $T_0 = T_d$ anzunehmen, er ist unabhängig von a) bis c) lösbar !

Lösungsvorschlag Schaukel ***Autor H Käß***

Exponentielle Abnahme der Amplitude x_m mit der Zeit t bedeutet das Vorliegen einer viskosen (geschwindigkeitsproportionalen) Dämpfung :

$x_m(t) = x_0 \cdot e^{-\delta t}$

a) Speziell gilt hier also $x_m(5T_d) = ¼ \cdot x_0 = x_0 \cdot e^{-\delta 5 T_d}$

logarithmieren ergibt $\ln ¼ = -\delta \cdot 5 \cdot T_d$

und damit folgt $\boldsymbol{\delta = 0{,}1155\ 1/s}$

b) Die Kreisfrequenz ω_d der gedämpften Schwingung hängt mit der Kreisfrequenz ω_0 des gleichen Systems ohne Dämpfung zusammen :

$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

$\omega_d = 2 \cdot \pi / T_d = 2{,}618$ rad/s

daraus folgt $\omega_0^2 = \omega_d^2 + \delta^2$

also wird $\omega_0 = 2{,}6205$ rad/s und $\boldsymbol{T_0 = 2{,}3977\ s}$

c) Dämpfungsgrad $D = \delta / \omega_0 =$ **0,0441**

d) Die Schaukel mit dem Kind kann laut Voraussetzung als mathematisches Pendel der Länge l betrachtet werden. Für dessen Schwingungsdauer T_0 gilt

$T_0 = 2 \cdot \pi \sqrt{l / g} \approx T_d$

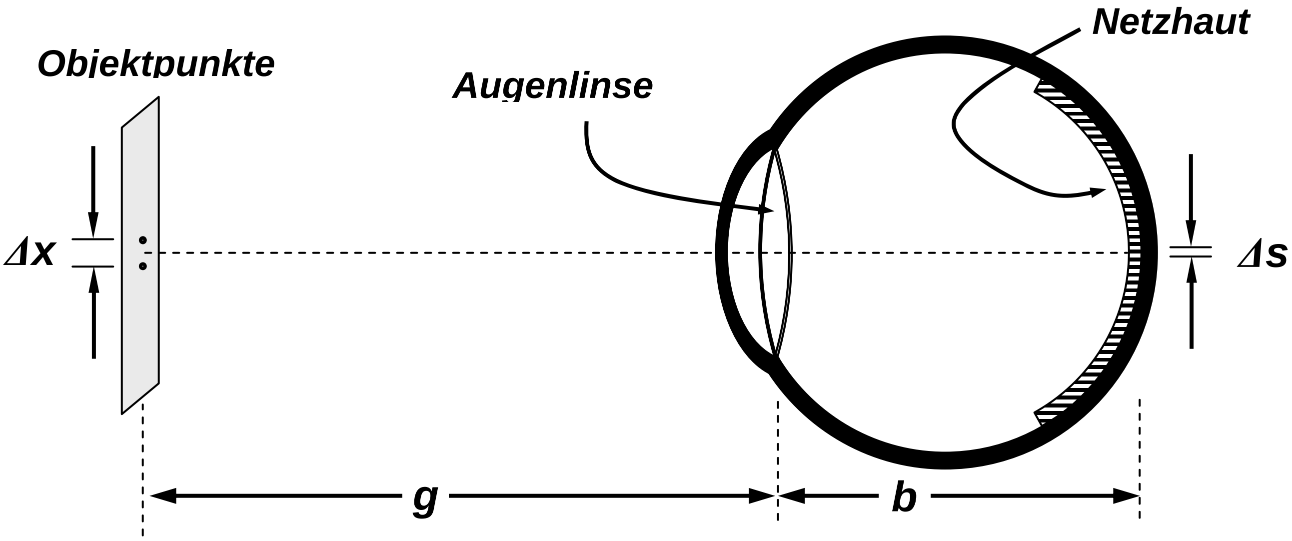
daraus folgt $l = T_0^2 \cdot g / (4\pi^2) = 1{,}4313$ m

Daraus ergibt sich sofort die Höhe Δx zu $\Delta x = L - l = 0{,}121$ m = **12,1 cm**

Sommersemester 2007	Blatt 5 (von 6)
Studiengang: BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)

Aufgabe 5: **Auge** **(15 Punkte)**

Die Linse des menschlichen Auges erzeugt ein Bild der betrachteten Gegenstände auf der Netzhaut. Zur Detektion des Lichts dienen dort lichtempfindliche Zellen, die sogenannten Zäpfchen. Im Zentralbereich der Netzhaut, wo die Sehschärfe am höchsten ist, haben sie einen Abstand von Δs = 5 µm. Der Abstand Augenlinse - Netzhaut beträgt b = 25 mm.



Es werden Punkte im Abstand s_0 = 25 cm (deutliche Sehweite) zur Augenlinse betrachtet.

a) Welche Brennweite hat das Auge, wenn diese Objektpunkte scharf gesehen werden ?

b) Welchen Abstand Δx müssen zwei dieser Objektpunkte haben, damit sie auf benachbarten Zäpfchen abgebildet werden ?

c) Unter welchem Sehwinkel werden diese beiden Objektpunkte gesehen ?

Nun werden Objektpunkte in einem Abstand von 1 km betrachtet.

d) Welche Brennweite hat das Auge, wenn diese Objektpunkte scharf gesehen werden ?

e) Welchen Abstand Δx müssen zwei dieser Objektpunkte haben, damit sie auf benachbarten Zäpfchen abgebildet werden ?

Lösungsvorschlag **Auge** ***Autor H Käß***

Die Linsengleichung lautet $1/f = 1/g + 1/g$

a) Anwendung der Linsengleichung, in diesem Fall ist $g = s_0 = 25$ cm und $b = 25$ mm

Somit $1/f = 40 / m + 4 / m = 44 / m$

also ist die Brennweite $f = 0{,}0227$ m = **2,27 cm**

b) Das Abbildungsverhältnis einer Linse berechnet sich nach $V = B/G = b/g$

Hier ist die „Bildgröße“ B gleich dem Abstand Δs zweier Zäpfchen, der Abstand Δx der beiden Punkte ist die „Gegenstandsgröße“.

somit in diesem Fall $B / G = \Delta x / \Delta s = g / b$

und daraus $\Delta x = \Delta s \cdot g / b =$ **50 µm = $5 \cdot 10^{-5}$ m**

c) Der Sehwinkel ε folgt aus $\tan \varepsilon = \Delta x / g = 0{,}0002$

somit $\varepsilon =$ **0,0115°**

d) Linsengleichung $1/f = 40 / m + 1 / (1000\ m) = 40{,}001 / m$

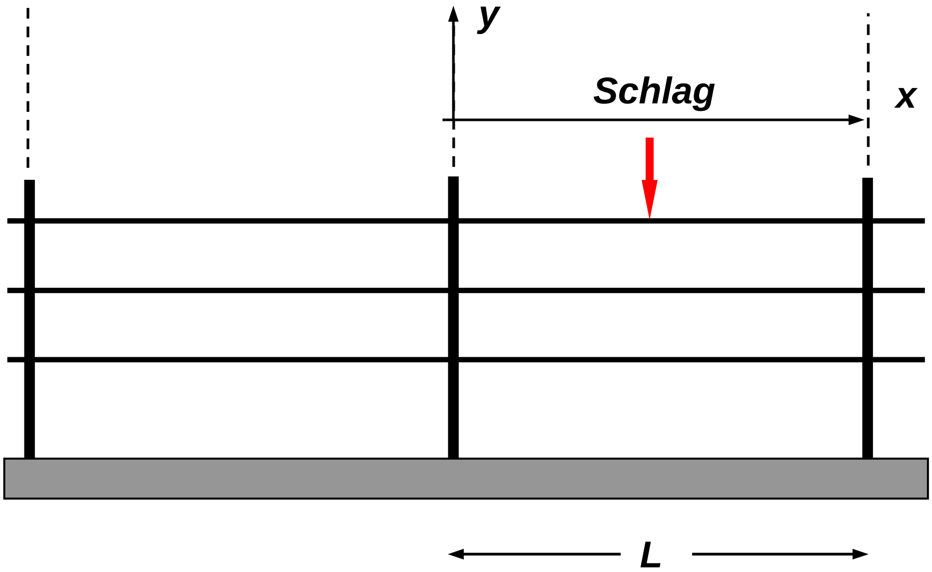
$f =$ **2,5 cm** (Augenlinse auf „unendlich“)

e) Der Sehwinkel zur Auflösung zweier Punkte ist der gleiche wie in Teilaufgabe c). Ihr Abstand folgt analog b) zu $\Delta x =$ **0,2 m = 20 cm**

Sommersemester 2007	Blatt 6 (von 6)
Studiengang: BT(B)2 / CI(B)2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2011 2044 (B)

Aufgabe 6: Geländer **(18 Punkte)**

Die Querstrebe eines Metallgeländers hat die Länge L = 3,4 m. Sie kann durch einen Schlag zu stehenden Querwellen angeregt werden (siehe Skizze). Die Messung der dabei auftretenden Frequenzen ergibt einen minimalen Wert von f_0 = 5,5 Hz.



a) Skizzieren Sie die Lage der Schwingungsbäuche und –knoten für die niedrigsten drei prinzipiell möglichen Eigenfrequenzen f_0, f_1 und f_2.

b) Berechnen Sie die Phasengeschwindigkeit c dieser stehenden Wellen.

c) Berechnen Sie die nächsthöheren beiden Eigenfrequenzen f_1 und f_2.

Die Strebe schwingt mit der Grundschwingungsfrequenz f_0 , die Schwingungsamplitude in ihrer Mitte beträgt 5 mm.

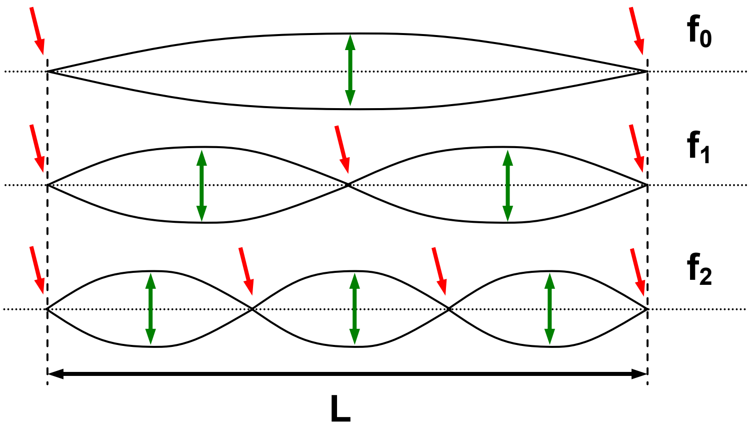
d) Welche Werte haben Kreisfrequenz ω_0 und Wellenzahl k_0 ?

e) Geben Sie eine Wellenfunktion für die Auslenkung y als Funktion von Ort und Zeit an !

f) Welche maximale Geschwindigkeit erreicht ein Punkt in der Mitte der Strebe während einer Schwingungsperiode ?

Lösungsvorschlag **Geländer** ***Autor H Käß***

a) Ausbildung stehender Transversalwellen, beidseitig feste Enden ...



Knoten: Einfachpfeile
Bäuche : Doppelpfeile

b) Phasengeschwindigkeit $c = f \cdot \lambda = f_0 \cdot \lambda_0 = = f_0 \cdot 2 \cdot L =$ **37,5 m/s**

c) Für die Frequenzen f_n gilt hier $f_n = (n + 1)\, f_0$ Vielfache der Grundfrequenz

Alternativer Weg $f_n = c / \lambda_n$ Berechnung über Wellenlänge

Auf beiden Wegen folgt $f_1 =$ **11 Hz**

$f_2 =$ **16,5 Hz**

d) Grundfrequenz $f_0 = 5{,}5$ Hz $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 =$ **34,56·rad/s**

und für dieWellenzahl k_0 folgt $k_0 = 2 \cdot \pi / \lambda_0 =$ **0,924·1/m**

e) Die Wellenfunktion kann als Produkt zweier sin - Funktionen geschrieben werden

$$y(x,t) = y_m \sin(\omega_0 \cdot t) \sin(k_0 \cdot x)$$

damit folgt **y(x,t) = 5 mm · sin(t·34,56·1/s) sin(x·0,924·1/m)**

f) Die Geschwindigkeits-Zeit-Funktion ist die Ableitung der Weg-Zeit-Funktion nach der Zeit. Hier also

$$dy(x,t)/dt = y_m \cdot \omega_0 \cos(\omega_0 \cdot t) \sin(k_0 \cdot x)$$

In der Mitte der Strebe tritt die höchste Maximalgeschwindigkeit auf. Sie hat den Betrag der Geschwindigkeitsamplitude v_m mit

$$v_m = y_m \cdot \omega_0 = \mathbf{0{,}173\ m/s}$$