ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

Rektorat

Schriftliche Aufnahmeprüfungen **Herbst 2003**

PHYSIK (deutsch)

Kandidat.-Nr.

Name:
Vorname:

Die Resultate müssen den **vollständigen Lösungsweg** und **alle Zwischenresultate** enthalten.
(Beschluss der Aufnahmeprüfungskommission vom 15.9.2000)

1. Kugelstossen (3P / 1P / 2P)

Physikalisch gesehen ist der Stoss einer Kugel ein schiefer Wurf mit dem Ziel, möglichst weit zu werfen. Die Kugel verlässt aus einer Höhe h über dem Boden die Hand der Werferin mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 und unter dem Winkel α zur Horizontalen. Der Luftwiderstand wird vernachlässigt.

a) Betrachten Sie h, v_0 und α als gegeben und bestimmen Sie algebraisch die Wurfweite x_W.

Natalya Lisovskaya stiess mit v_0=14,25m/s, α=45°, h=2,1m im Jahre 1987 die Kugel auf Weltrekordweite. Wieviel betrug also dieser Rekord?

b) Entscheiden Sie rein numerisch, ob die Athletin bei diesem Wurf eher etwas steiler oder etwas flacher als unter 45° werfen sollte, um eine grössere Wurfweite zu erhalten.

c) Bestimmen Sie den Betrag v_W der Aufprallgeschwindigkeit und den Winkel β zur Horizontalen, mit welchem die Kugel aufprallt.

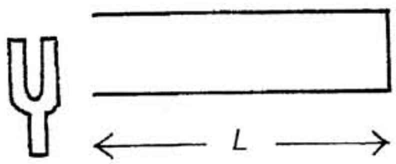
(Nur algebraisch, nicht numerisch).

2. Schwingende Stimmgabel (2P / 2P / 2P)

Eine 880Hz-Stimmgabel aus Stahl (ρ= 7,8 gr/cm³) wird so angeschlagen, dass die Amplitude am Ende der Stimmgabel y_{max}= 0,3mm beträgt.

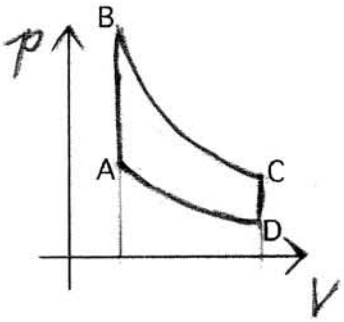
a) Leiten Sie die Funktionen *y(t), v(t)* und *a(t)* für Elongation, Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Punktes am Ende der Stimmgabel her. (Nehmen Sie an, die Amplitude bleibe konstant).

b) Vergleichen Sie die maximale Beschleunigung eines Massepunktes am Ende der Stimmgabel mit der Fallbeschleunigung auf der Erde. Welche maximale Kraft wirkt auf ihn, wenn ein Masse“punkt“ von 1mm³ Volumen betrachtet wird?



c) Die Stimmgabel wird vor ein einseitig offenes Rohr gehalten. Wie gross muss dessen Länge *L* gewählt werden, damit wir Resonanz erhalten? Skizzieren Sie die Verteilung der Schwingungsamplitude im Rohr für die von Ihnen angenommene Resonanz.

3. Thermodynamik (2P / 2P / 2P)



Eine Menge von 0,1 Mol eines idealen zweiatomigen Gases durchläuft den hier skizzierten Kreisprozess in der Richtung A-B-C-D. Die Schritte BC und DA sind isotherm. Einige Zustandswerte in den Punkten A, B, C, D sind in der unten stehenden Tabelle gegeben.

a) Ergänzen Sie die Tabelle durch Berechnen der noch fehlenden Zustandsgrössen von *p, V* und *T* in den Punkten A,B,C,D des Kreisprozesses.

	p in N/m²	*V* in cm³	*T* in °C
A		1000	80
B			1500
C			
D		4000	

b) Bestimmen Sie die Arbeit, welche das Gas im Schritt BC abgibt und die Arbeit, welche es in DA aufnimmt. Wenn sie es nicht exakt berechnen können, so bestimmen Sie diese Arbeitsbeträge näherungsweise.

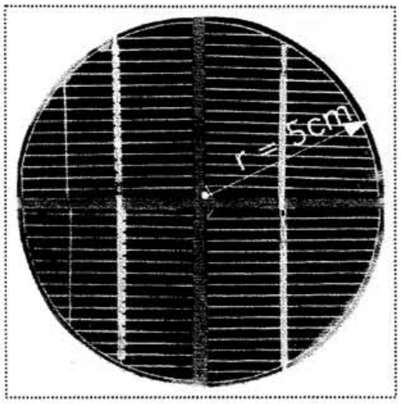
c) Welchen Wirkungsgrad für die Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie hat dieser Kreisprozess, wenn man von weiteren Verlusten absieht? Welches sind Ihre Annahmen bei dieser Berechnung?

4. Das Verhalten von Solarzellen (1.5P / 2.5P / 2P)

Fotovoltaische Solarzellen werden an einem sonnigen Tag optimal auf die Sonne ausgerichtet. Die einzelne Zelle weist eine Spannung U_o auf, wenn sie keinen Strom liefern muss und sie hat einen Innenwiderstand R_i. Maximale Stromstärke erhält man, wenn die Anschlüsse kurzgeschlossen werden. Dies nennt man die „Kurzschluss-Stromstärke".

a) Wie berechnet sich die Kurzschluss-Stromstärke, ausgedrückt durch U_o und R_i, wenn man *n* Solarzellen parallel schaltet? Wieviel beträgt sie, wenn man *n* Zellen in Serie schaltet?

b) Dieses kleine Modul wird an einen Widerstand *R* angeschlossen, der verändert werden kann. Durch Messung findet man die hier gegebene Abhängigkeit zwischen *R* und der Spannung *U* des Moduls:



R in Ω:	1	2	3	4	5	10
U in V:	0,55	0,97	1,23	1,39	1,50	1,75

Stellen Sie in einem Graphen die vom Modul in *R* umgesetzte Leistung *P* in Abhängigkeit von *R* dar. Bei welchem Wert für *R* wird gemäss Grafik die Leistung maximal?

c) Am Tag der obigen Messung betrug die direkte Sonnenstrahlung 750 W/m². Welchen maximalen Wirkungsgrad hatten die Solarzellen für die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie?

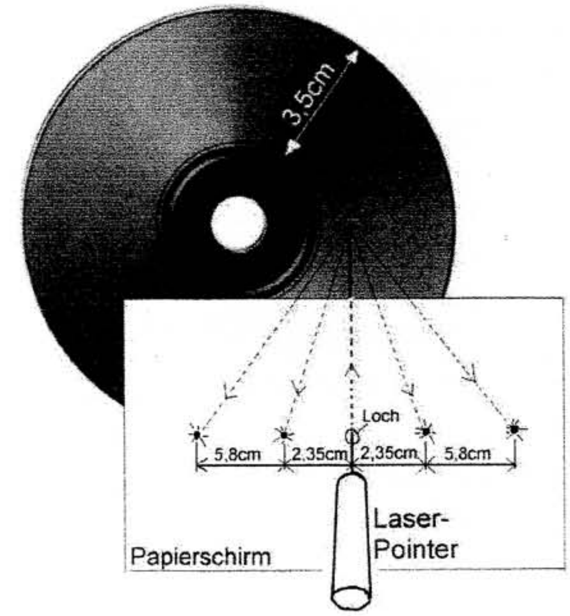
Wenn Sie b) nicht lösen konnten, so nehmen Sie für c) als maximale Leistung *P*= 0,78W.

5. Wellenoptik (1.5P / 2P / 2.5P)

a) Skizzieren Sie ein Spektrum der elektromagnetischen Wellen und vermerken Sie darauf die ungefähre Lage der folgenden Bereiche: Sichtbares Licht, γ-Strahlen, Mikrowellen, Röntgenwellen, Radiowellen, Ultraviolett und Wärmestrahlung.

b) Wir lassen das Licht eines Laserpointers durch ein Loch in einem Papierschirm senkrecht auf die Oberfläche einer Compact Disc (CD) fallen. Auf dem Papierschirm beobachten wir in der Reflexion ein Muster mit vier hellen Punkten, wie die Skizze zeigt.

Erklären Sie ohne mathematische Begründung, wie dieses Muster zustande kommt.



c) Die Wellenlänge des Laserpointers beträgt 660nm. Der Papierschirm befindet sich in 5cm Abstand vor der CD und steht parallel zu dieser.

Bestimmen Sie, wieviele Rillen die CD im bespielten Bereich von 3,5cm Breite aufweist

1. Kugelstossen (2.5P / 1.5P / 2P)

a)

$$x(t) = (v_0 \cos\alpha)\cdot t \quad y(t) = h + (v_0 \sin\alpha)\cdot t - \tfrac{1}{2}gt^2$$

$$y(t_W) = 0 \Rightarrow t_W = \frac{1}{g}\cdot(v_0 \sin\alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha + 2gh})$$

$$x_W = \frac{1}{g}\cdot v_0 \cos\alpha \cdot \left(v_0 \sin\alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}\right)$$

Berechneter Weltrekord: x_W=22,62m

b)

Durch Einsetzen von zwei Winkeln etwas oberhalb und unterhalb von 45° merkt man durch Ausprobieren, dass man (theoretisch) etwas flacher werfen muss. Z.B.:

für α=43° : x_W=22,70m

α=44° : x_W=22,67m

α=46° : x_W=22,55m

α=47° : x_W=22,45m

c) Durch Anwendung der Energieerhaltung oder der Bewegungsgesetze:

$$mgh + \tfrac{1}{2}mv_0^2 = \tfrac{1}{2}mv_W^2 \Rightarrow v_W = \sqrt{(2gh + v_0^2)}$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{v_0 \cos\alpha}{v_W}\right) = \arccos\left(\frac{v_0 \cos\alpha}{\sqrt{(2gh + v_0^2)}}\right)$$

2. Schwingende Stimmgabel (2P / 2P / 2P)

a)

$$y(t) = y_{max}\cdot \sin(2\pi f\cdot t) = 0{,}0003\cdot \sin(1760\pi\cdot t)$$

$$v(t) = \dot{y}(t) = 0{,}0003\cdot 1760\pi\cdot \cos(1760\pi\cdot t)$$

$$a(t) = \dot{v}(t) = -0{,}0003\cdot (1760\pi)^2\cdot \sin(1760\pi\cdot t)$$

b) a_{max}= 0,0003 · $(1760\pi)^2$=9172 m/s² ≈ 935 · g

$m = \rho\cdot V$=7800 kg/m³ · 10^{-9} m³ =7,8 · 10^{-6} kg

daraus: $F_{max} = m\cdot a_{max}$ =0,072 N

c) Ein Bauch an der Öffnung, ein Knoten am geschlossenen Ende. Es sind natürlich auch Antworten mit L= (3/4) · λ usw richtig! Rechnung und Skizze müssen konsistent sein.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow L = \frac{c}{4f} = \frac{340\frac{m}{s}}{3520\text{Hz}} = 9{,}66\text{cm}$$

3. Thermodynamik (2P / 2P / 2P)

a) Mit $pV=nRT$ erhält man :

(Die 2P sinnvoll verteilen)

	p in 10^5 N/m²	V in cm³	T in °C
A	2,935	1000	80
B	14,741	1000	1500
C	3,685	4000	1500
D	0,734	4000	80

b)

$$W_{BC} = nRT_{BC}\int_{V_A}^{V_D}\frac{1}{V}dV = nRT_{BC}\ln\frac{V_D}{V_A} = \underline{2043{,}5\text{J}}$$

$$W_{DA} = nRT_{DA}\ln\frac{V_A}{V_D} = \underline{-406{,}9\text{J}}$$

c) Zweiatomiges Gas :

$C_V = C_p - R$ = (29,2-8,314) J/mol·K = 20,9 J/mol·K

$$E_{AB} = nC_V\cdot(T_{BC} - T_{DA}) = 2968\text{J}$$

$$E_{BC} = W_{BC} \quad \text{(isotherm, innere Energie konstant)}$$

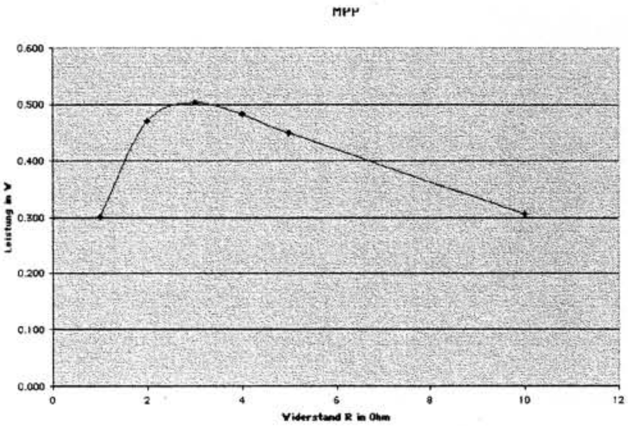
$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{W_{BC} - |W_{DA}|}{E_{AB} + E_{BC}} = \underline{0{,}327} = 32{,}7\%$$

4. Das Verhalten von Solarzellen (1.5 P / 2.5P / 2P)

a) parallel: $I_k = n \cdot U_0/R_i$ Serie : $I_k = (n \cdot U_0)/(n \cdot R_i) = U_0/R_i$

b)

	A	B	C
1	Spannung U (V)	Widerstand R (Ω)	P=U*U/R (W)
2	0.55	1	0.303
3	0.97	2	0.470
4	1.23	3	0.504
5	1.39	4	0.483
6	1.5	5	0.450
7	1.75	10	0.306
8			



Die Auswertung zeigt:

Maximale Leistung bei $R \approx 3\Omega$ $P \approx 0{,}5$W

(Gut leserliche Grafik mit beschrifteten Achsen verlangt).

c) Fläche $A = r^2\pi = 78{,}54$ cm² Auf A einfallende Leistung : $P_{in} = A \cdot I = 5{,}89$W

Wirkungsgrad $\eta = P_{out}/P_{in} = 0{,}5$ W/5,89W= 8.5%

5. Wellenoptik (1.5P / 2P / 2.5P)

a) Wichtig ist die richtige Reihenfolge der Wellenlängenbereiche. Es sollte erkennbar sein, dass der sichtbare Bereich sehr schmal ist (1 „Oktave“).

b) Es muss verstanden worden sein, dass die „Linien“ auf der CD eine Art Beugungsgitter darstellen. Wir haben es mit der Beugung an einer Folge von Doppelspalten zu tun: Die an den beugenden Strukturen entstehenden Elementarwellen interferieren miteinander. Unter einem bestimmten Winkel beträgt die Gangdifferenz zwischen benachbarten Elementarwellen gerade eine Wellenlänge, sie verstärken sich. Dies ergibt die beiden ersten Interferenzmaxima links und rechts. Die zweiten Maxima entstehen dort, wo die Teilwellen 2 Wellenlängen Gangdifferenz haben.

c)

$$\sin\alpha_n = n \cdot \frac{\lambda}{d} \quad \alpha_n = \arctan\frac{D}{L} \quad \Rightarrow d = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\arctan\frac{D}{L})}$$

mit $n = 1,\ D = 0{,}0235m,\ L = 0{,}05m,\ \lambda = 660nm :\Rightarrow d = 1{,}55\mu m$

mit $n = 2,\ D = 0{,}0815m,\ L = 0{,}05m,\ \lambda = 660nm :\Rightarrow d = 1{,}548\mu m$

daraus die Anzahl Rillen auf 3,5cm : $N = 0.035m/1{,}55\mu m \approx 22600$

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

Rektorat

Schriftliche Aufnahmeprüfungen **FRÜHJAHR 2004**

PHYSIK (deutsch)

Kandidat.-Nr.

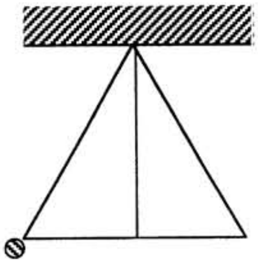
Name:
Vorname:

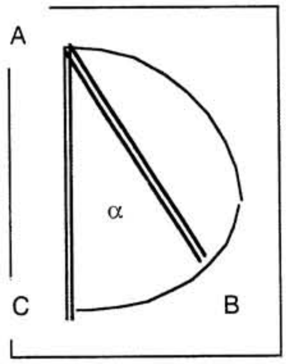
Die Resultate müssen den **vollständigen Lösungsweg** und **alle Zwischenresultate** enthalten. *(Beschluss der Aufnahmeprüfungskommission vom 15.9.2000)*

1. Kreiskegelpendel

a) (4 P) Ein Kreiskegelpendel ist eine an einem dünnen Faden (Länge l) aufgehängte, auf einem waagrechten Kreis (Radius r) umlaufende Masse m. Der Faden beschreibt den Mantel eines Kreiskegels mit halbem Öffnungswinkel α. Geben Sie die Umlaufdauer (oder Periode) T als Funktion der Höhe h des Kreiskegels an! (siehe Skizze unten links)

b) (4 P) Zeichnen Sie zwar bloss qualitativ, aber im übrigen sorgfältig, die folgenden zwei Kreiskegelpendel: *Ein* Pendel hat die doppelte *Fadenlänge* (also 2l), aber die selbe Masse m und die selbe Umlaufdauer T. Das *andere* Pendel hat die doppelte *Masse* (also 2m) bei gleicher Fadenlänge l und unveränderter Umlaufdauer T.



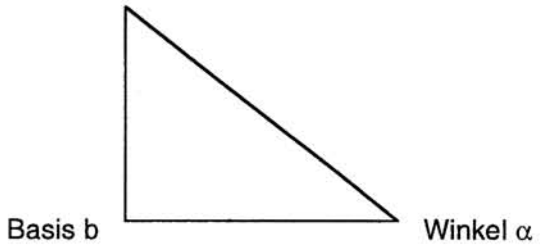


2. Galileis Sehnen; Pultdach

a) (4 P) Auf einem senkrecht stehenden Brett sind zwei Rohre AC und AB (siehe Skizze oben rechts) angebracht. Dabei bildet die senkrechte Strecke AC den Durchmesser eines Kreises. Der Punkt B liegt auf dem Kreisbogen über AC (Thaleskreis). Die Rohre schliessen bei A den Winkel α ein. Galilei liess gleichzeitig durch jedes Rohr je eine Kugel fallen: Bei AC handelt es sich um einen freien Fall, bei AB um einen reibungsfreien „Rutsch" (die Kugel rollt *nicht* im Rohr). Vergleichen Sie die Fallzeit t_1 von A nach C mit der Rutschzeit t_2 von A nach B! Wie hängt die Rutschzeit mit dem Winkel α zusammen?

b) (2 P) Was passiert qualitativ, wenn die Kugel von A nach B *rollt* statt zu rutschen? Begründen Sie Ihre Antwort!

c) (2 P) Ein Pultdach (siehe Skizze unten links) hat eine *fest* vorgegebene Basis b. Welcher Neigungswinkel α ist der beste, sodass das Regenwasser vom Dach möglichst rasch abläuft?

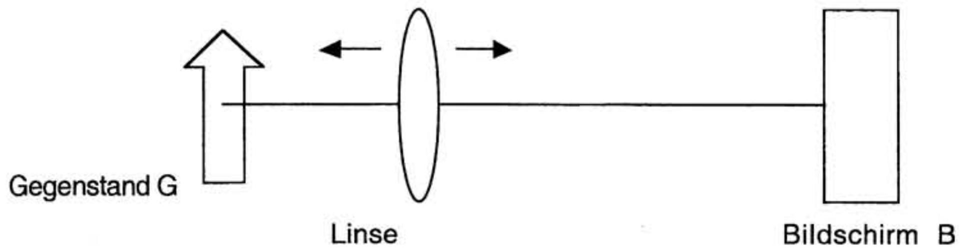


3. Erhitzen eines Drahtes

a) (4 P) Ein Aluminiumdraht (siehe Skizze oben rechts) der Querschnittsfläche $A = 5\ \text{mm}^2$ und der Länge $l_0 = 50$ cm wird während der Zeit $t = 60$ s erhitzt, indem man ihn eine elektrische Leistung von $P = 16$ W aufnehmen lässt. (Annahme: keinerlei Wärmeverluste). Berechnen Sie die Drahtmasse m, den anfänglichen Drahtwiderstand R_0 (bei Zimmertemperatur) und die Temperaturzunahme ΔT.

b) (2 P) Berechnen Sie für den obigen Draht, um wieviel er sich verlängert! Zeigen Sie, dass dieses Resultat von der konkreten Drahtlänge *unabhängig* ist!

c) (2 P) Berechnen Sie die anfängliche Stromstärke I_0 bzw. die anfängliche Spannung U_0 bei dem unter a) beschriebenen Versuch (Annahme: ohmsch). Berechnen Sie den Widerstand R_1, die Stromstärke I_1 und die Spannung U_1 am *Ende* des Versuchs.



4. Besselverfahren

a) (4 P) Zwischen einem leuchtenden Gegenstand G und einem Bildschirm B, die von einander den festen Abstand d = GB haben (siehe Skizze oben), wird eine Sammellinse hin und her geschoben: In *einer* bestimmten Stellung erzeugt die Linse ein *vergrössertes* Bild des Gegenstands auf dem Schirm, in einer *anderen* Stellung ein *verkleinertes*. Wenn man den Abstand zwischen diesen zwei Linsenstellungen mit e bezeichnet, so ergibt sich für die Brennweite der Linse folgender Ausdruck:

$f = (d^2 - e^2)/(4d)$. Wie kommt diese Gleichung zustande?

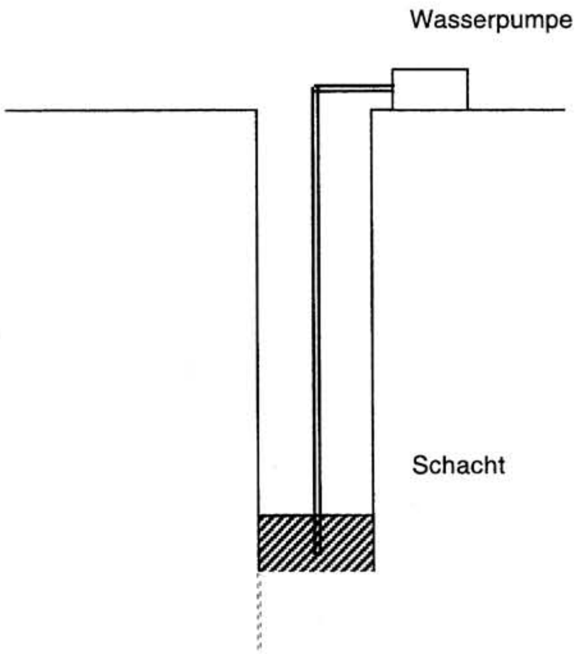
b) (4 P) Das oben beschriebene Verfahren wird verwendet, um die Brennweite einer unbekannten Sammellinse zu bestimmen. Dabei wählt man aber die Strecke d recht zufällig. Gibt es Randbedingungen für d? Ist es denkbar, dass das Experiment gar nicht funktioniert? (Wenn ja: unter welchen Umständen?)

5. Wasserpumpe

a) (4 P) Aus einem Bergwerksschacht müssen pro Stunde 3,2 m^3 Wasser aus 600m Tiefe herauf gepumpt werden. Wie viele Kilowatt nimmt der elektrische Antriebsmotor auf, wenn er selber einen Wirkungsgrad von 0,95 und die an ihn angeschlossene Pumpe einen Wirkungsgrad von 0,75 hat?

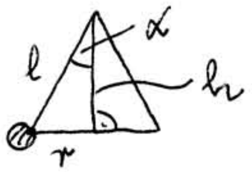
b) (4 P) Grundsätzlich gibt es sowohl Saug- als auch Druck-Pumpen, um Wasser aus der Tiefe nach oben zu fördern. Erläutern Sie, wie man im obigen Fall das Problem

- einerseits mit *Saugpumpen* (Skizze, Anordnung der Pumpen, kurze Rechnung),
- andererseits mit *Druckpumpen* (Skizze, Anordnung der Pumpen, kurze Rechnung) lösen würde! (Natürlich müssen Sie sich vorher klar darüber werden, was „saugen“ und was „drücken“ in diesem Zusammenhang heisst.)



Lösungen Frühling 2004

1a)



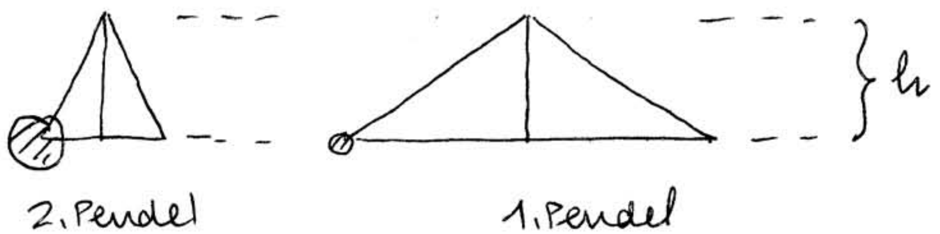
$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}$; $v = \frac{2\pi r}{T}$; $h = l \cdot \cos\alpha = \frac{r}{\tan\alpha}$

Damit: $\underline{\underline{T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}}}$

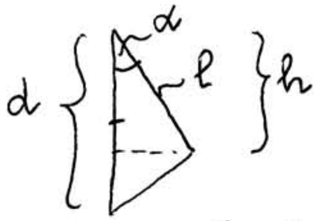
1b) 1. Pendel: $F_Z = \frac{m v^2}{2r}$; $v = \frac{2\pi(2r)}{T}$ $\rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$

2. Pendel: $F_Z = \frac{2m v^2}{r}$; $v = \frac{2\pi r}{T}$ $\rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$

Beide Pendel haben also dieselbe Höhe wie das ursprüngliche weil sie dieselbe Periode haben.



2a) Es sei $d = \overline{AC}$. Es gilt: $d = \frac{g}{2} \cdot t_1^2 \rightarrow \underline{\underline{t_1 = \sqrt{\frac{2d}{g}}}}$



Es gilt: $\cos\alpha = \frac{l}{d} = \frac{h}{l}$

Also: $h = \frac{l^2}{d} = \frac{d^2 \cdot \cos^2\alpha}{d} = d \cdot \cos^2\alpha$

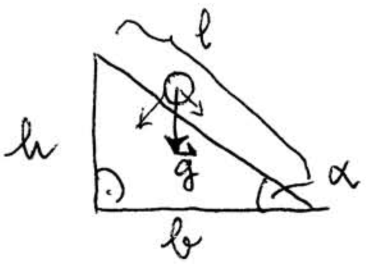
$h = \frac{g}{2} \cdot t_2^2$ oder: $l = \frac{g \cdot \sin(90° - \alpha)}{2} \cdot t_2^2 = \frac{g \cdot \cos\alpha}{2} \cdot t_2^2 = \frac{h}{\cos\alpha}$

$\rightarrow \underline{\underline{t_2}} = \sqrt{\frac{2h}{g \cdot \cos^2\alpha}} = \underline{\underline{\sqrt{\frac{2d}{g}}}}$

Die beiden Zeiten sind <u>gleich</u>!
Die Zeit t_2 hängt <u>nicht</u> von α ab!

2b) Beim Rutschen wird Lageenergie in kinetische verwandelt (reibungsfrei). Die Fallzeit ist <u>kürzer</u> als wenn ein Teil in Rotationsenergie (Rollen) verwandelt wird.

2c)



in Dachrichtung: $g' = g \cdot \sin\alpha$ (Beschl.)

$l = \frac{g'}{2} \cdot t^2$

2c) (Forts.) $t = \sqrt{\frac{2l}{g \cdot \sin\alpha}} = \sqrt{\frac{2b}{g \cdot \underbrace{\cos\alpha \cdot \sin\alpha}}} = \sqrt{\frac{4b}{g \cdot \cos^2\alpha}}$ (B)

$\cos\alpha = \frac{b}{l}$ — muss max. sein, damit t minimal wird

$\cos^2\alpha$ ist genau dann maximal, wenn $\underline{\underline{\alpha = 45^\circ}}$ ist.

3a) $m = \rho \cdot A \cdot l = \underline{\underline{6{,}75\ g}}$

$R_0 = \rho' \cdot \frac{l}{A} = \underline{\underline{2{,}82\ m\Omega}}$

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \longrightarrow \underline{\underline{\Delta T = 158{,}7^\circ C}}$

b) $\alpha = 23{,}8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} \rightarrow \Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T = \underline{\underline{1{,}9\ mm}}$

$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \frac{Q}{m \cdot c} = \underline{\underline{\frac{\alpha \cdot P \cdot t}{\rho \cdot A \cdot c}}}$ (unabhängig von l_0)

c) $P = U \cdot J = R \cdot J^2 = \frac{U^2}{R}$ (falls R ohmsch ist)

Also: $J_0 = \sqrt{\frac{P}{R_0}} = \underline{\underline{75{,}3\ A}}$; $U_0 = \sqrt{P \cdot R_0} = \underline{\underline{0{,}212\ V}}$

Mit $\alpha' = +3{,}9 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C} \longrightarrow \Delta R = \alpha' \cdot R_0 \cdot \Delta T = +1{,}75\ m\Omega$

$\hookrightarrow \underline{\underline{R_1 = 4{,}57\ m\Omega}}$

Damit: $\underline{\underline{J_1 = 59{,}2\ A}}$ und $\underline{\underline{U_1 = 0{,}27\ V}}$

4a) Symmetrie! $d = g + e + g \rightarrow g = \frac{d-e}{2}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{2}{d-e} + \frac{2}{d+e} = \frac{4d}{(d^2-e^2)}$$

Also: $f = \frac{d^2-e^2}{4d}$ q.e.d.

4b) Grenzfall: $e \gtrsim 0 \rightarrow f \approx \frac{d}{4}$

Also: <u>d muss mindestens gleich 4f sein.</u>

Wenn f gar nicht bekannt ist, muss d einfach „gross genug" gewählt werden ...

(Falls $d = 3f$ wäre, müsste z.B. die Wurzel aus einer neg. Zahl gezogen werden ...)

(c)

5a) Betrachte 1 Stunde:

$$W^{\nearrow} = 3{,}2\cdot 10^3\,kg \cdot 600\,m \cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2} = 1{,}884\cdot 10^7\,J$$

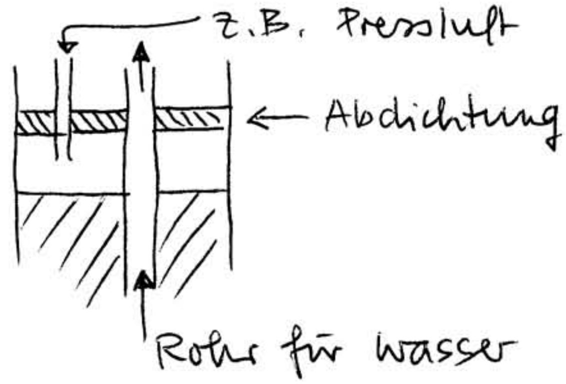
$$W^{\swarrow} = \frac{W^{\nearrow}}{0{,}95\cdot 0{,}75} = 2{,}64\cdot 10^7\,J \rightarrow \underline{\underline{P^{\swarrow} = 7{,}34\,kW}}$$

b) Saugen:

Weil die absolut-maximale Hubhöhe für eine Saugpumpe bei 9,81 m liegt, müsste man mindestens 62 Saugpumpen in Serie schalten, wobei jeweils immer wieder der Luftdruck „angreifen" können müsste.

Druck:

Abdichten und Druck über dem Wasser erhöhen:



Der Überdruck über dem Wasser müsste auf etwa 62 bar erhöht werden.

$$p(h) = \rho\cdot g\cdot h = (10^3\cdot 10^2)\,Pa = 1\,bar = 10^3\,\frac{kg}{m^3}\cdot 10\,\frac{m}{s^2}\cdot 10\,m$$