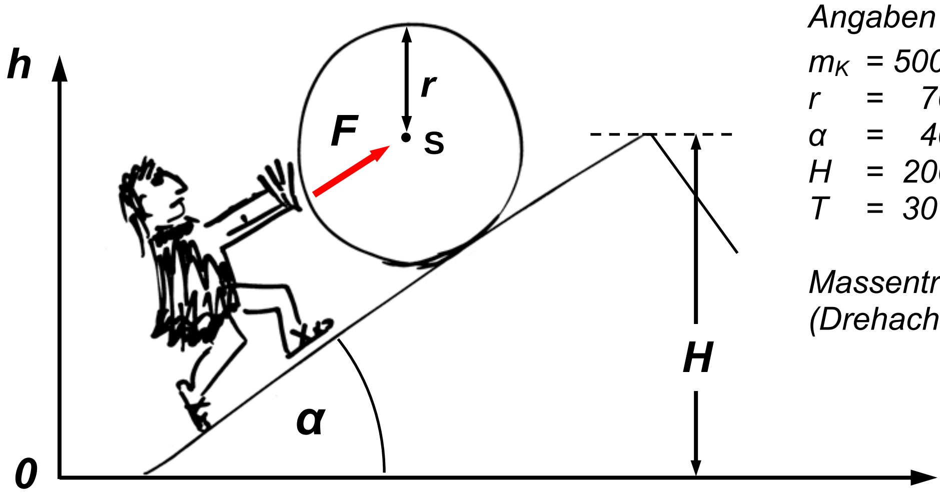
Sommersemester 2008		Blatt 1 (von 3)
Studiengang:	BT(B)1 / CI(B)1	Semester 1
Prüfungsfach:	Physik 1	Fachnummer: 1041 (B) 1044
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

Gesamtpunktzahl: 60

Aufgabe 1: Sisyphus **(20 Punkte)**

Sisyphus wurde zur Strafe für seine Verschlagenheit von den Göttern dazu verurteilt, einen riesigen Stein einen Berg hinauf zu bewegen. Oben angekommen, glitt er Sisyphus jedoch immer aus den Händen und rollte wieder hinunter, so dass die Arbeit nie endete.

Für die nachfolgende Rechnung werde der Stein durch eine Kugel konstanter Dichte auf einem Hang konstanter Neigung ersetzt. Alle Bewegungen erfolgen reibungsfrei.



Angaben :

m_K = 500 kg Masse der Kugel
r = 70 cm Radius der Kugel
α = 40° Neigungswinkel
H = 200 m Höhe des Berges
T = 30 min Dauer eines Aufstiegs

Massenträgheitsmoment der Kugel (Drehachse durch Schwerpunkt S)

$$J_S = \tfrac{2}{5} m_K r^2$$

a) Es werde angenommen, dass Sisyphus die Kugel mit konstanter Geschwindigkeit den Hang hinauf bewegte. Mit welcher Kraft F musste er in Wegrichtung schieben ?

b) Welche Arbeit verrichtete Sisyphus bei jedem Aufstieg an der Kugel ?

c) Welche mittlere Leistung gab er dabei an die Kugel ab ?

Oben angekommen, rollte die Kugel aus der Ruhelage den Hang wieder hinab.

d) Welches Drehmoment wirkte dabei auf die Kugel ?

e) Wie groß war die sich daraus ergebende Winkelbeschleunigung ?

f) Mit welcher Geschwindigkeit rollte sie am Fuß des Hangs in die Horizontale ?

Lösungsvorschlag Sisyphus Autor H Käß

a) Konstante Geschwindigkeit bedeutet, die Kugel wird nicht beschleunigt, Sisyphus musste also „nur“ mit der Hangabtriebskraft schieben

Die Hangabtriebskraft beträgt $F_H = F_G \sin\alpha = m_K\, g \sin\alpha$

$= 500\text{ kg } 9{,}81\text{ m/s}^2 \sin 40° = \mathbf{3152{,}9\ N}$

b) Die Hubarbeit W_{hub} beträgt dabei $W_{hub} = m_K\, g\, H = 500\text{ kg } 9{,}81\text{ m/s}^2\ 200\text{ m}$

$= \mathbf{981\ kJ}$

c) Mittlere Leistung ist Arbeit pro Zeiteinheit, also $P_m = W_{hub} / \Delta t = \mathbf{545\ W}$

d) Drehmoment = Kraft x Hebelarm, hier also Hangabtriebskraft x Kugelradius

$M = F_H\, r = \mathbf{2201{,}01\ Nm}$

e) Drehmoment und Winkelbeschleunigung hängen über $M = J\,\alpha$ zusammen

Die Kugel dreht sich um eine Achse durch den Berührpunkt D mit dem Hang, der Satz von Steiner ergibt für das Massenträgheitsmoment J_D bezüglich dieser Drehachse

$$J_D = J_S + m_K\, r^2 = (2/5)\, m_K\, r^2 + m_K\, r^2 = (7/5)\, m_K\, r^2 = 343\text{ kg m}^2$$

demnach folgt $\alpha = M / J_D = \mathbf{6{,}417\ rad/s^2}$

f) Der Energieerhaltungssatz lautet $W_{hub} = E_{rot}$ und es ist $v = \omega\, r$

also folgt $m_K\, g\, H = ½\, J_D\, \omega^2 = ½\, J_D\, (v/r)^2 = ½\, (7/5)\, m_K\, v^2$

und die Geschwindigkeit ist $v = \sqrt{(10/7)\, g\, H} = \mathbf{52{,}94\ m/s} = 190{,}6\text{ km/h}$

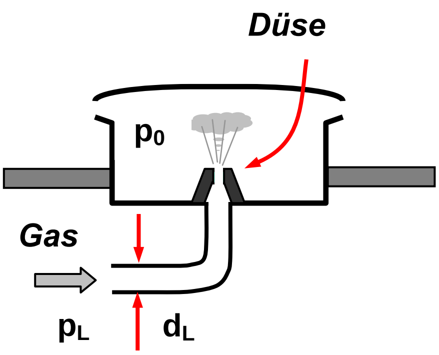
Alternative Rechnung ohne Verwendung des Satzes von Steiner :
Kinetische Energie am Fuß des Hangs $E_{kin} = ½\, m_K\, v^2 + ½\, J_S\, \omega^2$
mit $J_S = (2/5)\, m_K\, r^2$
und $v = \omega\, r$ $E_{kin} = ½\, m_K\, v^2 + ½\, (2/5)\, m_K\, r^2\, (v/r)^2$
$= ½\, (7/5)\, m_K\, v^2$

weiter wie oben ...

Sommersemester 2008	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BT(B)1 / CI(B)1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1041 (B) 1044

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

Gasherde können üblicherweise mit verschiedenen Gasen betrieben werden. Zur Anpassung an die jeweilige Gassorte werden dafür in den einzelnen Brennern Düsen geeigneten Innendurchmessers eingebaut. Hier wird ein solcher Brenner betrachtet (Skizze).



Angaben :

p_0	$= 1{,}000$ bar	*Luftdruck*
p_L	$= 1{,}020$ bar	*Druck in der Gasleitung*
d_L	$= 8$ mm	*Innendurchmesser Gasleitung*
d_d	$= 940$ µm	*Innendurchmesser Düse (kreisförmig)*
ρ_G	$= 0{,}65$ kg/m^3	*Dichte Erdgas*
H_u	$= 50$ MJ/kg	*Heizwert Erdgas*

Nehmen Sie an, die Strömung erfolge reibungsfrei, das Gas sei inkompressibel

a) Mit welcher mittleren Geschwindigkeit v_d strömt das Erdgas aus der Düse ?

b) Wie groß ist der Volumenstrom durch die Düse ? Wie lange kann man den Brenner mit 1 m^3 Erdgas betreiben ?

c) Welche Heizleistung hat der Brenner ?

d) Welche mittlere Geschwindigkeit v_L hat das Erdgas in der Gasleitung ?

e) Der Gasherd wird in einen 200 m höher gelegenen Stadtteil aufgestellt. Der Druck im Gasnetz beträgt dort ebenfalls p_L = 1,020 bar. Diskutieren Sie qualitativ, wie sich Ausströmgeschwindigkeit, Volumenstrom und Heizleistung ändern.

Lösungsvorschlag ***Gasherd*** ***Autor H Käß***

a) Reibungsfreie Strömung, Bernoulligleichung (oder gleich Ausströmformel nehmen ...)
Strömungsgeschwindigkeit v_L in Leitung sehr viel kleiner als in Düse v_d

also $\frac{1}{2} \rho_G v_d^2 + p_0 = \frac{1}{2} \rho v_L^2 + p_L \approx p_L$

damit wird $v_d = \sqrt{2 (p_L - p_a) / \rho_G} = \mathbf{78{,}45\ m/s}$ *= 282 km/h*

b) Für den Volumenstrom $\Delta V/\Delta t$ gilt $A_d \cdot v_d = \text{const} = \Delta V/\Delta t$

Hierbei ist die Fläche der Mündung $A_d = \pi \cdot (d_d/2)^2 = 0{,}694\ mm^2$

und somit wird $\Delta V/\Delta t = 5{,}444 \cdot 10^{-5}\ m^3/s = \mathbf{3{,}27\ l/min}$

Also $\Delta V/\Delta t = 0{,}196\ m^3/h$ 1 m^3 Gas reicht daher 5,102 h ≈ **5 h 6 min**

c) Heizleistung ist Wärmeenergie pro Zeit. Aus dem Volumenstrom des Gases folgt der Massenstrom zu $\Delta m/\Delta t = \rho_G\, \Delta V/\Delta t = 3{,}5386 \cdot 10^{-5}\ kg/s = 0{,}1274\ kg/h$

Mit dem Heizwert H_u des Gases folgt $\Delta E/\Delta t = H_u\, \Delta m/\Delta t = 50\ MJ/kg\ 0{,}1274\ kg/h = 6{,}369\ MJ/h = \mathbf{1{,}769\ kW}$

d) Die Kontinuitätsgleichung besagt $\Delta V/\Delta t = A_d \cdot v_d = A_L \cdot v_L$

mit $A_L = 50{,}3 \cdot 10^{-6}\ m^2$ folgt daraus $v_L = (\Delta V/\Delta t) / A_L = \mathbf{1{,}083\ m/s}$

e) Mit steigender Höhe nimmt der Luftdruck ab (eine Abschätzung kann mit der barometrische Höhenformel erfolgen, 200 Höhenmeter entsprechen ca. 25 mbar). Wenn der Druck in der Gasleitung konstant ist, folgt daraus:

Die **Ausströmgeschwindigkeit** des Gases **steigt** an

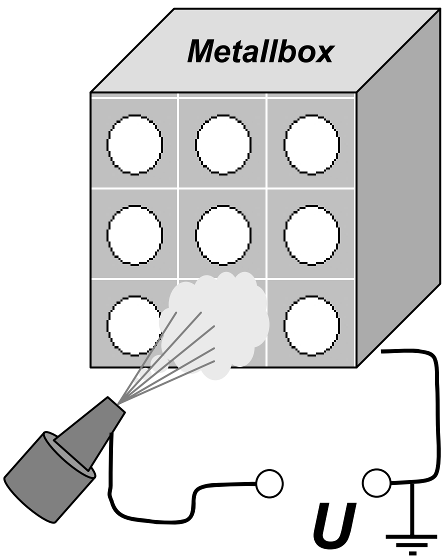
Der **Volumen-** (und Massen-) **Strom** des Gases **steigt**

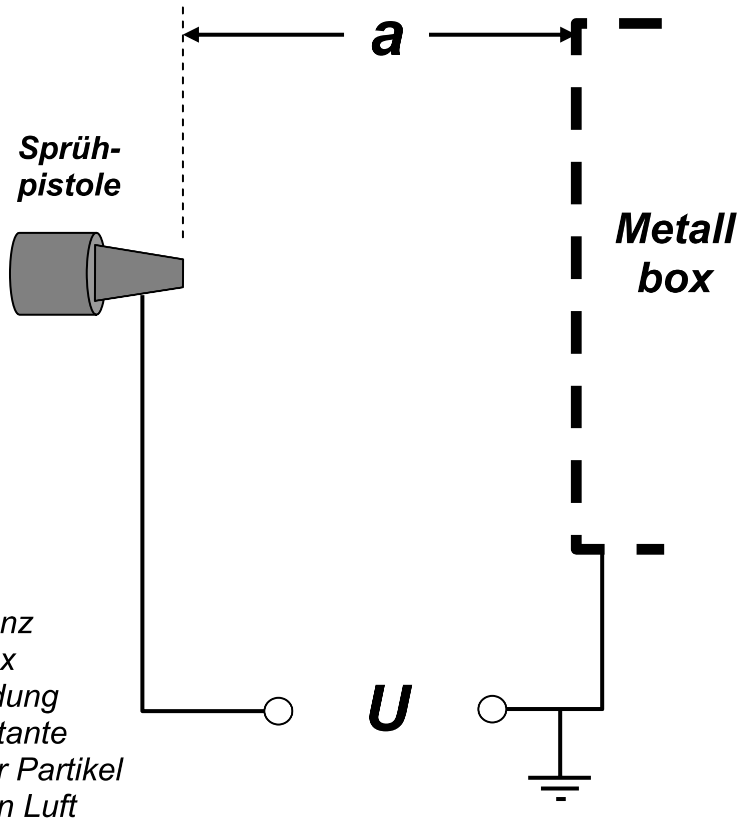
Die **Heizleistung** des Brenner **steigt** daher ebenfalls an

Sommersemester 2008	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BT(B)1 / CI(B)1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1041 (B) 1044

Aufgabe 3: Pulverlack **(20 Punkte)**

Eine Metallbox aus Lochblech soll pulverlackiert werden. Die kugelförmigen Lackpartikel werden durch elektrostatische Pulverbeschichtung aufgebracht. Die Sprühpistole liegt auf **negativem** Potential relativ zur geerdeten Metallbox, die Potentialdifferenz beträgt U.





Angaben:

U = 40 kV	*Betrag der Potentialdifferenz*
a = 30 cm	*Abstand Pistole - Metallbox*
$e = 1{,}602\cdot10^{-19}$ C	*Elementarladung*
$\varepsilon_0 = 8{,}854\cdot10^{-12}$ As/(Vm)	*Influenzkonstante*
d = 40 µm	*Durchmesser Partikel*
η_{Luft} = 0,0182 mPa s	*Viskosität von Luft*

a) Skizzieren Sie rechts in der Schnittzeichnung den Verlauf der elektrischen Feldlinien !

b) Jedes Partikel trägt 500000 Elektronen. Welche Kraft wirkt zwischen zwei Partikeln (Betrag, Orientierung), wenn ihre Schwerpunkte 100 µm voneinander entfernt sind ?

Im folgenden soll der Effekt des elektrischen Feldes auf ein Partikel abgeschätzt werden. Nehmen Sie zur Näherung an, das Feld zwischen Pistole und Metallbox sei homogen.

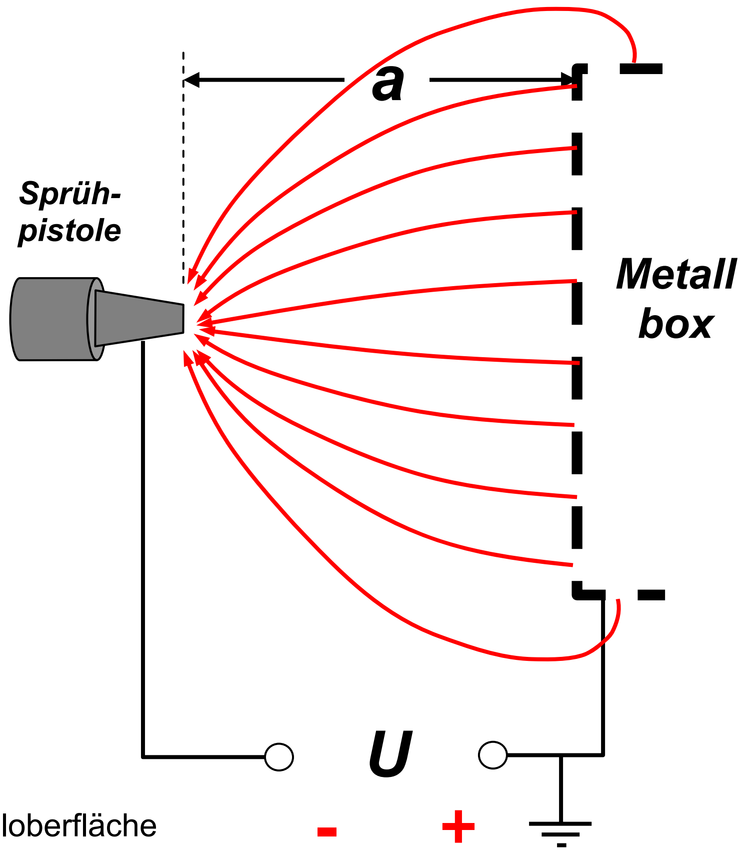
c) Welche Feldstärke hätte dann das elektrische Feld ?

d) Welche Kraftwirkung hätte dieses elektrische Feld auf ein Partikel ?

e) Mit welcher konstanten Geschwindigkeit bewegte sich dann das Partikel im E-Feld ?

Lösungsvorschlag ***Pulverlack*** ***Autor H Käß***

a)



wesentliche Punkte:

- Pistole **negativ** gegen Box
- Linien **von „+“ nach „-“**
- Linien **senkrecht** auf Metalloberfläche
- Keine Linien in Box hinein (**Faraday-Käfig** !)

b) Beide Partikel tragen die gleiche Ladung $q_1 = q_2 = q = 500000\ e = 5 \cdot 10^5 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ As

Coulombkraft (Abstand r = 100 µm) $F = 1/(4\ \pi\ \varepsilon_0)\ q^2 / r^2$ = **$5{,}766 \cdot 10^{-9}$ N**

Die Partikel stoßen sich ab !

c) In der <u>Näherung eines homogenen Feldes</u>, analog Plattenkondensator

Für die Feldstärke gilt $E = U/d = 40$ kV / 0,3 m = **133,3 kV/m**

d) Kraftwirkung E-Feld $F_{el} = E\ q = 5 \cdot 10^5 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ As 133,33 kV/m

$= 1{,}068 \cdot 10^{-8}$ VAs/m = **$1{,}068 \cdot 10^{-8}$ N**

e) Für v = const herrscht Kräftegleichgewicht zwischen der Reibungskraft F_R auf die Partikel nach Stokes mit $F_R = 6\ \pi\ \eta\ r\ v$ und der elektrischen Kraft F_{el}

Die Gleichgewichtsbedingung: $F_R = F_{el}$

ergibt für Partikel mit r = 20 µm $v = F_{el} / (6\ \pi\ \eta\ r)$ = **1,557 m/s**