

Sommersemester 2012	Blatt 1 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1072
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

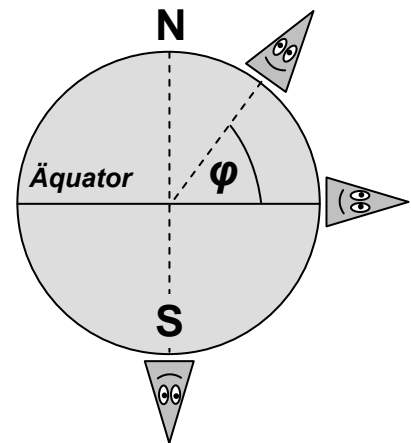
Gesamtpunktzahl: 60

Aufgabe 1: Das Gartenzwergexperiment

(25 Punkte)

Ein bekannter Hersteller von Analysenwaagen lässt als Werbemaßnahme seit Herbst 2011 einen Gartenzwerg in verschiedenen Labs von Europa bis zum Südpol mit der immer gleichen Waage wiegen. Die dabei zu erwartenden Messergebnisse sollen im folgenden berechnet werden. Zur Vereinfachung ist anzunehmen, dass die Erde eine ideale Kugelform aufweist.

- Das Experiment wurde bereits am Äquator und am Südpol durchgeführt. Wo war die auf den Zwerg wirkende und in Richtung Erdboden gerichtete Kraft größer? Antwort bitte begründen!
- Mit welcher Winkelgeschwindigkeit rotiert die Erde um ihre Achse?
- Am Südpol (S) wirkte eine Gewichtskraft von 3 N auf den Zwerg. Welchen Wert m_{90} zeigte die Waage für seine Masse an?
- Welchen Wert m_0 für die Masse zeigte die Waage am Äquator?
- Welchen Wert m_{48} für die Masse wird die Waage bei einer Messung in Balingen bei $\varphi = 48^\circ$ nördlicher Breite anzeigen?



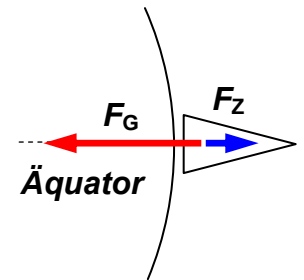
Angaben Erdradius r_E = 6370 km
 Erdbeschleunigung am Südpol g_S = 9,8322 m/s²

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1

Gartenzwergexperiment

(H Käß)

- a) Am **Südpol** ist die resultierende Kraft in Richtung Erdboden **größer** als am Äquator, hier wirkt auf den Zwerg die **Zentrifugalkraft F_Z entgegen** der Gewichtskraft F_G . Am Südpol gilt $F_Z = 0$, die Erdbeschleunigung ist $g = g_S$ (kein Rotationseffekt).



- b) Die Erde dreht sich einmal in $T = 24 \text{ h}$ (die Rotation um die Sonne wird vernachlässigt)
Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2 \pi / T = 2 \pi / 86400 \text{ s} = 7,2722 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$

- c) Die Masse m des Zwergs folgt aus $F_G = m \cdot g_S$

daher zeigt die Waage am Südpol $m_{90} = m = F_G / g_S = 3 \text{ N s}^2 / 9,8322 \text{ m} = 305,12 \text{ g}$

- d) Am Äquator wirkt F_G die Zentrifugalkraft $F_Z = m \cdot \omega^2 \cdot r_E$ entgegen, die Gesamtkraft auf die Waage ist somit $F_{\text{res}} = F_G - F_Z = m (g_S - \omega^2 \cdot r_E) = m \cdot g_{\text{eff}}$

Aufgrund der Rotation hat hier die Erdbeschleunigung den Effektivwert $g_{\text{eff}} < g_S$

wobei $g_{\text{eff}} = g_S - \omega^2 \cdot r_E = (9,8322 - 6,37 \cdot 10^6 \cdot 7,2722^2 \cdot 10^{-10}) \text{ m/s}^2$
 $= (9,8322 - 0,0337) \text{ m/s}^2 = 9,7985 \text{ m/s}^2$

Die Waage zeigt hier $m_0 = m \cdot g_{\text{eff}} / g_S = F_{\text{res}} / g_S = m \cdot 0,9966 = 304,05 \text{ g}$

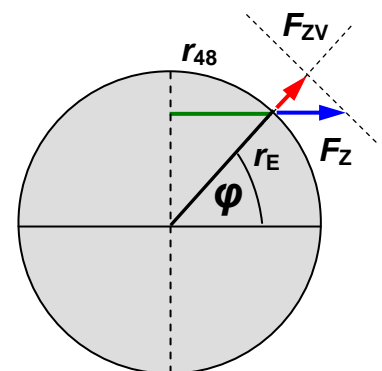
- e) Radius r_{48} der Kreisbahn in Balingen bei $\varphi = 48^\circ$

nördlicher Breite folgt aus $r_{48} / r_E = \cos \varphi$

somit $r_{48} = r_E \cos \varphi$

$$= 6370 \text{ km} \cos 48^\circ$$

$$= 4262,4 \text{ km}$$



Vertikale, entgegen F_G gerichtete Komponente F_{ZV} der Zentrifugalkraft

$$F_{ZV} = F_Z \cos \varphi = m \omega^2 \cdot r_{48} \cdot \cos \varphi = m \omega^2 \cdot r_E \cdot \cos^2 \varphi$$

Damit wird die resultierende Gesamtkraft

$$F_{\text{res}} = F_G - F_{ZV} = m (g_S - \omega^2 \cdot r_E \cdot \cos^2 \varphi) = m \cdot g_{\text{eff}}$$

Die Waage zeigt hier

$$m_{48} = m \cdot g_{\text{eff}} / g_S = m (g_S - \omega^2 \cdot r_E \cdot \cos^2 \varphi) / g_S$$

$$= m (9,8322 - 0,01508) / 9,8322$$

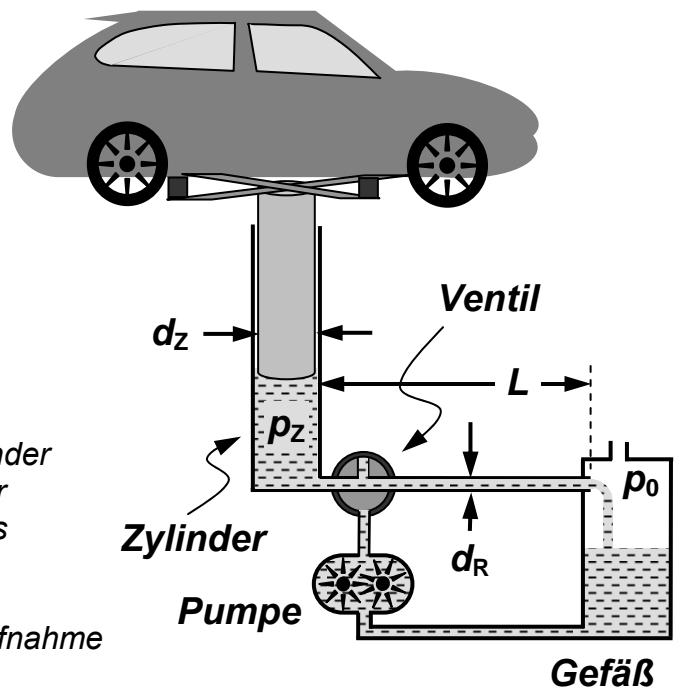
$$= m 0,99847 = 304,65 \text{ g}$$

Sommersemester 2012	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

Aufgabe 2: Hydraulische Hebebühne

(20 Punkte)

Das Funktionsprinzip einer Hebebühne für Autos ist nebenstehend skizziert. Sie enthält einen hydraulischen Zylinder, eine Pumpe und ein Mehrwegventil. Zum Heben der Last wird Öl unter Druck in den Zylinder gepresst. Zum Absenken wird das Ventil so umgestellt, dass das Öl über ein langes Rohr zurück in das Speichergefäß fließt.



Angaben

- $d_z = 124 \text{ mm}$ *Innendurchmesser Zylinder*
- $d_R = 4 \text{ mm}$ *Innendurchmesser Rohr*
- $L = 3 \text{ m}$ *Gesamtlänge des Rohrs*
- $m_L = 2500 \text{ kg}$ *Masse Auto*
- $H = 2 \text{ m}$ *maximaler Hubweg*
- $P_{el} = 2 \text{ kW}$ *elektrische Leistungsaufnahme*
- $\eta_{\text{Öl}} = 0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ *Viskosität Hydrauliköl*
- $p_0 = 1 \text{ bar}$ *Außendruck*

*Die Masse von Zylinder und Tragekreuz wird vernachlässigt.
Der Druck im Zylinder wird zur Vereinfachung als überall gleich angenommen.*

- a) Ein Auto der Masse m_L steht auf der Hebebühne. Welchen Überdruck p_z gegenüber dem Außendruck p_0 muss die Pumpe im Zylinder aufbauen, um das Auto anzuheben ?
- b) Welches Ölvolumen muss die Pumpe in den Zylinder pressen, um ihn von der unteren Ausgangsposition um den maximalen Hubweg H nach oben zu bewegen ?
- c) Das Auto wird in 45 Sekunden um H gehoben, die elektrische Leistungsaufnahme P_{el} der Pumpe beträgt dabei 2 kW. Welchen Wirkungsgrad hat die Anlage ?
- d) Beim Absenken fließt das Öl über das umgestellte Ventil durch das Rohr der Länge L zurück in das Speichergefäß, wie in der Skizze gezeichnet. Welche mittlere Geschwindigkeit hat das Öl im Rohr und wie lange dauert der Absenkvorgang ?

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 2

Hebebühne

(H Käß)

a) Notwendiger Überdruck p_z gegen den Außendruck

$$p_z = F_L / g = m_L \cdot g / [\pi (d_z/2)^2] = 2500 \text{ kg } 9,81 \text{ m/s}^2 / [\pi 0,062^2 \text{ m}^2 \text{ s}^2] \\ = 2,0308 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = \mathbf{20,308 \text{ bar}}$$

b) Zylindervolumen $V = \pi (d_z/2)^2 \cdot H = \pi 0,062^2 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 0,02415 \text{ m}^3 = \mathbf{24,15 \text{ l}}$

c) Hubarbeit $W_{\text{hub}} = m \cdot g \cdot H = 2500 \text{ kg } 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ m} = 49050 \text{ Nm} = 49,05 \text{ kJ}$

Hubleistung (mech) $P_{\text{hub}} = W_{\text{hub}} / t = 49050 \text{ Nm} / 45 \text{ s} = 1090 \text{ W}$

Wirkungsgrad $\eta = P_{\text{hub}} / P_{\text{el}} = 1090 \text{ W} / 2000 \text{ W} = 0,545 = \mathbf{54,5 \%}$

d) Hagen-Poiseuille $\Delta V / \Delta t = \pi \cdot (d_R/2)^4 \cdot p_z / (8 \cdot \eta \cdot L) =$
 $= \pi \cdot 16 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4 \cdot 2,0308 \cdot 10^6 \text{ Pa} / (8 \cdot 0,1 \cdot 3 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m})$
 $= 4,2534 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 42,53 \text{ cm}^3/\text{s}$

Es müssen 24,15 Liter ausfließen, dies dauert

$$t = 24,15 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 / (42,53 \text{ cm}^3/\text{s}) = \mathbf{567,8 \text{ s} \approx 9'30''}$$

Kontinuitätsgleichung $\Delta V / \Delta t = A \cdot v = \pi \cdot (d_R/2)^2 \cdot v$

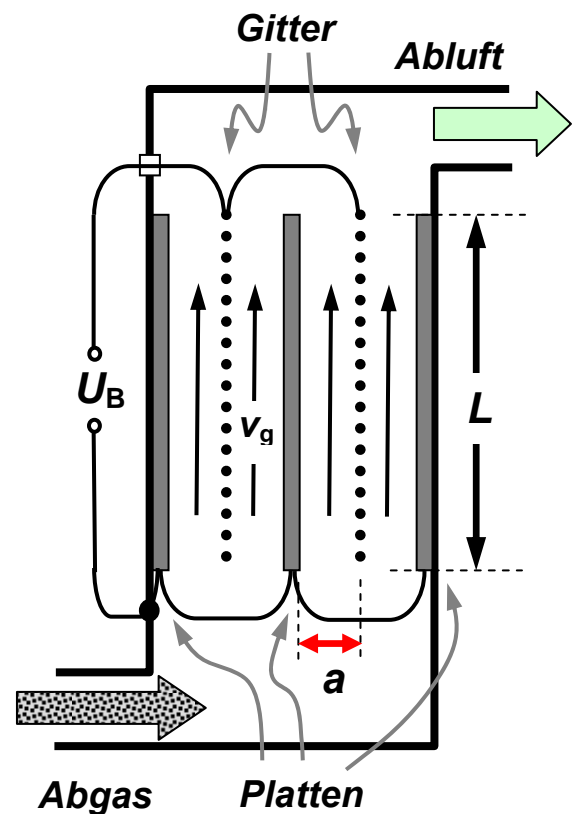
daraus $v = [\Delta V / \Delta t] / [\pi \cdot (d_R/2)^2] = 42,53 \text{ cm}^3 / [\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}]$
 $= 338,47 \text{ cm/s} = \mathbf{3,38 \text{ m/s}}$

Sommersemester 2012	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

Aufgabe 3: Abgasreinigung

(15 Punkte)

Zur Abgasreinigung werden häufig Elektrofilter verwendet. Sie bestehen im Prinzip aus einer Reihe ebener Drahtgitter mit dazu parallelen, dazwischen angeordneten Metallplatten, durch die das zu reinigende Gas geleitet wird. Zwischen den Gitterelektroden und den mit dem Filtergehäuse metallisch leitend verbundenen Plattenelektroden liegt eine hohe Gleichspannung U_B (siehe Skizze). Im Abgas enthaltene Partikel werden an den Gittern negativ aufgeladen. Danach wandern sie zu den Platten, wo sie sich ablagern.



Angaben

Abstand Gitter – Platte	$a = 3 \text{ cm}$
Länge Filterbereich	$L = 30 \text{ cm}$
Betriebsspannung	$U_B = 10 \text{ kV}$
Partikeldurchmesser	$d = 15 \mu\text{m}$
Partikelladung	$q = -2 \cdot 10^4 e$
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Viskosität Abgas	$\eta = 15 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$

- Zeichnen Sie die Feldlinien des E-Felds zwischen den Elektroden in die Skizze ein.
- Wie groß ist die aufgrund des E-Felds entstehende Kraft auf ein Partikel zwischen den Elektroden ?
- Die Partikel sind kugelförmige Öltröpfchen, die alle in guter Näherung den gleichen Durchmesser d aufweisen. Mit welcher konstanten Geschwindigkeit bewegen sie sich nach der Aufladung am Gitter zwischen den Elektroden ?
- Welche Geschwindigkeit v_g darf das Abgas zwischen den Elektroden maximal haben, damit alle Partikel herausgefiltert werden können ?

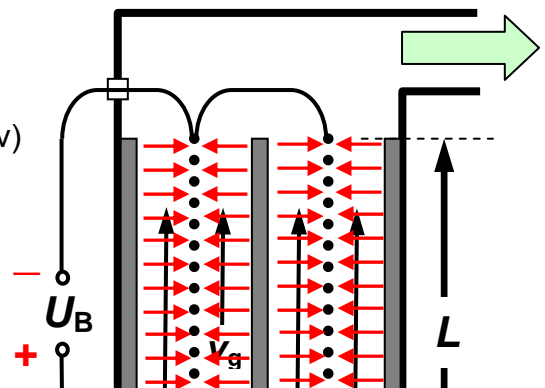
Lösungsvorschlag zu Aufgabe 3

Abgasreinigung

(H Käß)

- a) Homogenes E-Feld
parallele Feldlinien

Richtung von Platten (positiv) zu Gittern (negativ)



- b) Feldstärke hier $E = U_B / a$
 $= 10000 \text{ V} / 0,03 \text{ m} =$
 $= 3,33 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

Die Kraft ist $F_{el} = E \cdot q = q \cdot U_B / a = 2 \cdot 10^4 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10000 \text{ J} / (\text{C} \cdot 0,03 \text{ m})$
 $= 1,068 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

- c) Kräftegleichgewicht zwischen Reibungskraft nach Stokes F_R und elektrischer Kraft F_{el}

$$F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot (d/2) \cdot v = q \cdot U_B / a = F_{el}$$

daraus folgt $v = F_{el} / (6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot (d/2)) = 1,068 \cdot 10^{-9} \text{ N} / (6 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m})$
 $= 0,5036 \text{ m/s}$

- d) Die Flugzeit t_F der Partikel zwischen den Elektroden beträgt

$$t_F = a / v = 0,03 \text{ m} / (0,5036 \text{ m/s}) = 0,0596 \text{ s} = 59,6 \text{ ms}$$

In dieser Zeit darf sich das Abgas maximal eine Plattenlänge L weiterbewegen.

Demnach ist die maximale Bewegungsgeschwindigkeit v_g des Gases

$$v_g = L / t_F = 0,3 \text{ m} / 0,0596 \text{ s} = 5,036 \text{ m/s}$$