

Name(n):

Gruppe:

Punkte: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

## 12. Übungsblatt      Experimentalphysik I      WS 2011/2012

Abgabe: 20. Jan 2012 im Gruppenunterricht

2 Seiten!

### 12.1 Getterpumpe (10 Punkte)

In verschlossenen Vakuumgefäßen (z.B. Röhren, Restlichtverstärkern oder Vakuumapparaturen) wird durch sogenannte *Getter* das "Vakuum" aufrecht erhalten. Diese *Getter* sind chemisch reaktive Oberflächen (z.B. Titan), mit denen Gasteilchen reagieren und dann haften bleiben.

a) Welches Gasvolumen pro Sekunde ( $dV/dt$ ) pumpt eine ebene Fläche der Größe  $A$ , unter der Annahme, dass jedes auftreffende Teilchen haften bleibt?

b) Berechnen Sie die Pumpleistung für Stickstoff und Wasserstoff bei Raumtemperatur (293 K) und einer Getterfläche von  $A = 10 \text{ cm}^2$ .

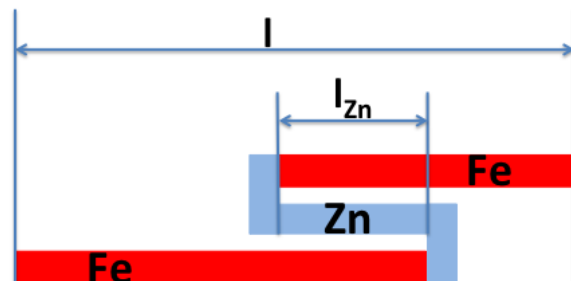
**Lösungshinweis:** Zur Herleitung der Pumpleistung  $dV/dt$  betrachten Sie ein quaderförmiges Volumen, bei dem eine der Seitenflächen als Getterfläche dient. Berechnen Sie die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen in Richtung der Getterfläche. Verwenden Sie hierzu folgende Geschwindigkeitsverteilung:

$$n(v_x) = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \cdot \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) \quad (1)$$

Die Wahrscheinlichkeit  $n(v_x)dv_x$  gibt hierbei die Wahrscheinlichkeit an, daß ein Teilchen eine Geschwindigkeit in dem Intervall  $[v_x, v_x + dv_x]$  hat. Wenn Sie die mittlere Geschwindigkeit ausrechnen, müssen Sie die Integrationsgrenzen richtig wählen. Anschliessend können sie dann direkt die Pumpleistung ausrechnen.

### 12.2 Thermische Längenausdehnung (10 Punkte)

Wie lang muss ein Zinkbrücke zwischen zwei Stahlträgern sein, um die thermischen Längenänderungen auf null auszugleichen? Die hergeleitete Beziehung soll für jede beliebige Temperaturänderung  $\Delta T$  gelten. Verwenden Sie  $\alpha_{Zn} = 36 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  und  $\alpha_{Fe} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .



### 12.3 Einweckglas (10 Punkte)

Auf ein leeres Einweckglas (Volumen  $V = 2 \text{ l}$ ) wird bei Zimmertemperatur ( $T_0 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) und Normaldruck  $p_0$  zuerst der Gummidichtring und dann der Deckel (Innendurchmesser der Dichtfläche  $d = 10 \text{ cm}$ ) gelegt. Danach werde das Einweckglas langsam auf  $T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmt, so dass die Temperatur der Luft im Glas der Temperatur des Glases folgen kann. Durch die Temperaturerhöhung entweicht Luft aus dem Glas. Gehen Sie davon aus, dass so viel Luft entweicht, dass der Druck im Glas immer gleich dem Normaldruck ist.

a) Welcher Anteil der Luft, die bei  $T_0$  im Einweckglas war, ist entwichen, wenn  $T_1$  erreicht wurde?

b) Danach kühlt das Einweckglas wieder auf  $T_0$  ab, ohne dass Luft in das Glas zurückströmen kann. Mit welcher Kraft muss nun am Deckel gezogen werden, um den Deckel anzuheben?

c) Was ändert sich (qualitativ), wenn sich im Glas Wasser befindet, das zum Sieden gebracht wird, und so alle Luft durch Wasserdampf verdrängt wird bevor es abgekühlt wird?

## 12.4 Kaffeekochen (10 Punkte)

Da es bei Ihnen einen Stromausfall gibt, laufen Sie Gefahr, ohne Ihren Morgenkaffee aus dem Haus gehen zu müssen. In Ihrer Physikvorlesung haben Sie etwas über Energie und Wärme gelernt und versuchen das direkt einmal in die Praxis umzusetzen.

Sie füllen Ihre Thermoskanne mit etwas Wasser ( $T = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ) und beginnen zu schütteln. Das Wasser falle beim Schütteln etwa 30 Mal pro Minute aus einer Höhe von 30 cm auf den (ruhenden) Boden der Kanne. Wie lange müssen Sie schütteln bis das Wasser in der Kanne eine Temperatur von  $100\text{ }^\circ\text{C}$  erreicht, wenn Sie annehmen, dass die spezifische Wärme von Wasser  $c = 4190\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) beträgt, Ihre Thermoskanne perfekt thermisch isoliert und die Wärmekapazität des inneren Behälters vernachlässigbar ist.

## Experimental physics I, exercise sheet 12

1	2	3	4	Σ
9	10	9	10	

1. Mean velocity of only particles "flying" towards the getter plate.

$$\overline{v_{x, \text{relent}}} = \frac{1}{N} \int_0^{\infty} v_x n(v_x) dv_x$$

$$\text{Let } c := \frac{m}{2kT}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \overline{v_{x, \text{rel}}} \cdot N &= \int_0^{\infty} v_x \cdot \sqrt{\frac{c}{\pi}} \cdot e^{-cv^2} dv_x \\ &= \frac{1}{2\sqrt{\pi c}} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{m}{2kT}}} = \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad (+) \end{aligned}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A}{N} \cdot N_{x, \text{relent}}$$

$$N = \int_{-\infty}^{\infty} n(v_x) dv_x = 1 \quad (\text{because of the properties of } e^{-cx^2})$$

$$(c) \Rightarrow \frac{dV}{dt} = A \cdot \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad (+)$$

$N_1, N_2$

$$(d) \quad \begin{array}{ll} \text{maxippen} = 32 \mu & (O_2) \\ \text{minitropfen} = 28 \mu & (N_2) \end{array} \quad \begin{array}{l} T = 293 \text{ K} \\ A = 10 \text{ cm}^2 \end{array}$$

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\text{plugging values into formula: } \frac{dV_{\text{maxippen}}}{dt} \approx 0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\frac{dV_{\text{minitropfen}}}{dt} \approx 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (+)$$

$$2. \quad \frac{pV}{T} = \text{const.}$$

$$3. \quad \Rightarrow \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$(a) \quad p_0 = p_1, \quad T_1 = 373 \text{ K}, \quad T_0 = 295 \text{ K}, \quad V_0 = 2 \text{ L}$$

$$\Rightarrow V_1 = \frac{p_0}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_0} \cdot V_0 = \frac{373}{295} \cdot 2 \text{ L}$$

$$\frac{V_1 - V_0}{V_1} = \frac{(373 - 295) \cdot 2 \text{ L}}{373 \cdot 2 \text{ L}} = \frac{78}{373} \approx 20,91\% \quad (+)$$

$$(b) \quad \text{NE} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}; \quad \begin{array}{l} V_1 = 2 \text{ L}, \quad p_1 = p_0, \quad T_1 = 373 \text{ K} \\ V_2 = 2 \text{ L}, \quad T_2 = 295 \text{ K}; \quad \text{Looking for } p_2 \end{array}$$

$$p_2 = p_0 \cdot \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$= (1013 \text{ mbar}) \cdot \frac{295 \text{ K}}{373 \text{ K}} \approx 801 \text{ mbar}$$

$$F = -p_2 \cdot A + p_0 \cdot A \quad (\text{air pressure minus inside pressure})$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$= (1013 - 801 \text{ mbar}) \cdot \pi \cdot \left(\frac{10 \text{ cm}}{2}\right)^2$$

$$\approx 166 \text{ N}$$

(c) If we had had liquid water in the jar, when the glass cooled down the pressure would not first lower, too, and under lower pressure, water stays gaseous longer. The cooling would go much slower because lots of energy is required to condense water, and since liquid water is (almost) incompressible the pressure in the jar would lower to almost zero, making it much harder to open the jar.

?

②

$$L_{Fe, \text{total}} = L + L_{Zn}$$

12.2

$$\Delta L_{Fe} = \alpha_{Fe} \cdot L_{Fe, \text{total}} \cdot \Delta T$$

$$\Delta L_{Zn} = \alpha_{Zn} \cdot L_{Zn} \cdot \Delta T$$

$$\Delta L_{Fe} \stackrel{!}{=} \Delta L_{Zn} \Rightarrow \alpha_{Fe} \cdot L_{Fe, \text{total}} \cdot \Delta T \stackrel{!}{=} \alpha_{Zn} \cdot L_{Zn} \cdot \Delta T$$

$$\Leftrightarrow \alpha_{Fe} \cdot L + \alpha_{Fe} \cdot L_{Zn} \stackrel{!}{=} \alpha_{Zn} \cdot L_{Zn}$$

$$\Leftrightarrow \alpha_{Fe} \cdot L \stackrel{!}{=} (\alpha_{Zn} - \alpha_{Fe}) \cdot L_{Zn}$$

$$\Leftrightarrow L_{Zn} \stackrel{!}{=} \frac{\alpha_{Fe}}{\alpha_{Zn} - \alpha_{Fe}} \cdot L = \frac{11}{36 - 11} \cdot L = 0,44 \cdot L$$

$$\Rightarrow L_{Zn} \stackrel{!}{=} 0,44 \cdot L \quad \text{or } \textcircled{+10}$$

$$h. \quad \Delta T = 85 \text{ K} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$W \text{ required work; } W \stackrel{!}{=} Q$$

$$W = N \cdot m \cdot g \cdot h \quad \text{with } N = \text{the } \overset{\text{total}}{\text{number}} \text{ of times I turn the bottle}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow N \cdot m \cdot g \cdot h \stackrel{!}{=} c \cdot m \cdot \Delta T \Rightarrow N = \frac{c \cdot \Delta T}{g \cdot h} = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 85 \text{ K}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,3 \text{ m}}$$

$$\text{Total} = \frac{N}{f} = \frac{N}{\frac{1}{60 \text{ s}}} = N \cdot 25 = 242032 \text{ s} \approx 2,8 \text{ days } \textcircled{+} \quad = 12 \cdot 10^{16} \frac{\text{J} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} = 12 \cdot 10^{16}$$