

Extra Übungsblatt zur Wiederholungsklausur der Experimentalphysik I



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Sommersemester 2014 - Übungsblatt 14

Gravitationskonstante:	$G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$
Boltzmannkonstante:	$k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
Erdbeschleunigung:	$g_{\text{Erde}} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Marsbeschleunigung:	$g_{\text{Mars}} = 3,69 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Erdtemperatur:	$T_E = 289 \text{ K}$
Marstemperatur:	$T_M = 218 \text{ K}$
Sonnentemperatur:	$T_{\odot} = 5800 \text{ K}$
Standarddruck Erde:	$P_E = 1013 \text{ hPa}$
Standarddruck Mars:	$P_M = 6 \text{ hPa}$
Absoluter Nullpunkt:	$0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Wärmekapazität Eis:	$C_{p,E} = 2220 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Wärmekapazität Wasser:	$C_{p,W} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Wärmekapazität Dampf:	$C_{p,D} = 2080 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Schmelzwärme Wasser:	$L_f = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Verdampfungswärme Wasser:	$L_f = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Normvolumen für 1 mol:	$V_{\text{mol}} = 22,41 \text{ l}$

Protonenzahl (Ordnungszahl)	1	Atommasse in u (gerundeter Wert)	1.01
Elementsymbol	H	Elementname	Wasserstoff
Schmelztemperatur (gerundet) in $^{\circ}\text{C}$	-259	Dichte in g/cm^3 Bei Gasen in g/l (0°C , 1013 hPa)	0.09
Siedetemperatur (gerundet) in $^{\circ}\text{C}$	-253	Elektronegativität	2.1

Periode	Hauptgruppen							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.	1 H Wasserstoff 1.01 -259 0.09 -253 2.20							2 He Helium 4.00 0.18 -269 -
2.	3 Li Lithium 6.97 181 0.53 1342 0.98	4 Be Beryllium 9.01 2077 1.85 2468 1.57	5 B Bor 10.81 2077 2.35 4000 2.04	6 C Kohlenstoff 12.01 4440 2.2 3825 2.55	7 N Stickstoff 14.01 -210 1.25 -196 3.04	8 O Sauerstoff 16.00 -210 1.43 -183 3.44	9 F Fluor 19.00 -220 1.70 -188 3.98	10 Ne Neon 20.18 -249 0.90 -246 -
3.	11 Na Natrium 22.99 98 0.97 882 0.93	12 Mg Magnesium 24.31 650 1.74 1190 1.31	13 Al Aluminium 26.98 660 2.70 2519 1.61	14 Si Silicium 28.09 1414 2.33 3265 1.90	15 P Phosphor 30.97 44 1.82 281 2.19	16 S Schwefel 32.07 115 2.07 445 2.58	17 Cl Chlor 35.45 -101 3.21 -34 3.16	18 Ar Argon 39.95 -189 1.78 -186 -

Aufgabe 14.1 Neue Solarpanels braucht das Land.

Ein Investor behauptet mit nur 1 Milliarde € eine Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 99% zur Serienreife bringen zu können. Berechnen Sie den maximal möglichen Wirkungsgrad (auf der Erde) und entscheiden Sie auf dieser Grundlage, ob es überhaupt möglich ist.

Aufgabe 14.2 Dankwärts Frittenfett

Dankwart hat von seiner Frittenbude auf der Raumstation Omega-3 jede Menge Fett übrig. Da sich die Entsorgung auf seiner Raumstation schwierig gestaltet, hat er sich einen alten Dieselmotor besorgt in dem das Fett verbrannt werden soll. Sauerstoff hin oder her.

Zunächst werden 0,1 Liter Luft (7 Freiheitsgrade) unter Normalbedingungen (300 K, 1000 hPa) ein gesaugt und unter adiabatischer Kompression mit dem Fett vermischt. Bei 600 K wird zündet das Fett schließlich und verbrennt unter Abgabe von 78,80 J. Im nächsten Schritt wird das Gas adiabatisch auf die ursprüngliche Größe expandiert und anschließend durch neue Luft ersetzt. Das Abgas soll die Fritteuse heizen.

- Wie viele mol Sauerstoff werden pro Zyklus angesaugt?
- Zeichnen Sie ein P - V -Diagramm des Prozesses
- Berechnen Sie zu jedem der vier Punkte des P - V -Diagramms den Druck, das Volumen und die Temperatur und schreiben Sie diese in das P - V -Diagramm.
- Wie viel mechanische Energie wird frei und welche Effizienz hat Dankwärts Verbrennungsmaschine? Drücken Sie die Effizienz in Abhängigkeit der Verdichtung und der Anzahl der Freiheitsgrade aus. Vergleichen Sie diese außerdem mit dem Carnot-Prozess.

Übungsblatt 14 zur Experimentalphysik I

Name, Vorname: _____ Matrikelnummer:

Lösungen:

Aufgabe 14.1 Neue Solarpanels braucht das Land.

Auch eine Solarzelle ist durch den Carnot-Wirkungsgrad begrenzt:

Das Argument ist das selbe wie bei einer Wärmekraftmaschine: Gäbe es eine Solarzelle mit höherer Effizienz könnte man eine Carnot-Maschine betreiben, welche ein Wärmereservoir mit der Temperatur der Sonne speist. Würde man nun die Solarzellen statt von der Sonne von dem Wärmereservoir bescheinen lassen (Was den Solarzellen ziemlich egal ist), hätte man ein Perpetuum Mobile zweiter Art gebaut. Da dies nicht möglich ist, muss ist also der Wirkungsgrad der Solarzellen durch den Carnot-Wirkungsgrad begrenzt. Dieser ist:

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{289 \text{ K}}{5800 \text{ K}} = 95,02\% < 99\%$$

Damit ist ein Wirkungsgrad von 99% nicht möglich und es handelt sich um eine komplette Fehlinvestition.

Aufgabe 14.2 Dankwärts Frittenfett

a) $PV = Nk_B T \Leftrightarrow$

$$N = \frac{PV}{k_B T} = \frac{1000 \text{ hPa} \cdot 0,1 \text{ l}}{1,387 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K}} = 2,414 \cdot 10^{21} = \underline{\underline{4,010 \text{ mmol}}}$$

c) $\gamma = \frac{f+2}{f} = \frac{9}{7}$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$P = \frac{Nk_B T}{V}$$

$$Nk_B T_1 \frac{V_1^\gamma}{V_1} = Nk_B T_2 \frac{V_2^\gamma}{V_2} \Leftrightarrow$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Leftrightarrow$$

$$T_1 V_1^{\frac{9}{7}-1} = T_2 V_2^{\frac{9}{7}-1} \Leftrightarrow T_1 V_1^{\frac{2}{7}} = T_2 V_2^{\frac{2}{7}} \Leftrightarrow$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{7}{2}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{7}{2}} = 0,1 \text{ l} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{7}{2}} = 8,839 \text{ ml}$$

$$U = \frac{f}{2} Nk_B T$$

$$U_3 = U_2 + E \Leftrightarrow \frac{f}{2} Nk_B T_3 = \frac{f}{2} Nk_B T_2 + E \Leftrightarrow T_3 = T_2 + \frac{2E}{fNk_B}$$

$$T_3 = 600 \text{ K} + \frac{2 \cdot 78,89 \text{ J}}{2 \cdot 0,00401 \text{ mol} \cdot 1,387 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}} = 600 \text{ K} + 675,3 \text{ K} = 1275,3 \text{ K}$$

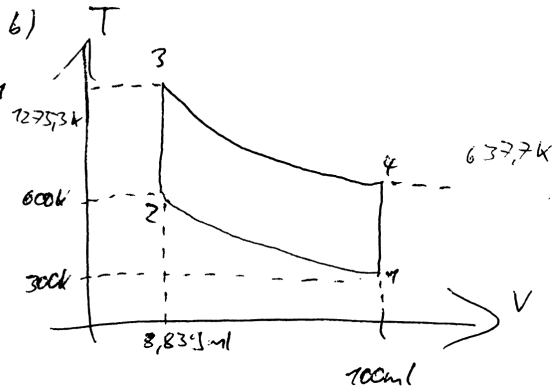
$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{7}{2}} = 1275,3 \text{ K} \cdot \left(\frac{8,839 \text{ ml}}{100 \text{ ml}}\right)^{\frac{7}{2}} = 1275,3 \text{ K} \cdot \frac{1}{2} = 637,7 \text{ K}$$

$$P = \frac{Nk_B T}{V} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \frac{T}{V} = P_1 \cdot \frac{V_1}{V} \cdot \frac{T}{T_1}$$

$$P_2 = 1000 \text{ hPa} \cdot \frac{100 \text{ ml}}{8,839 \text{ ml}} \cdot \frac{600 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 22,627 \text{ Bar}$$

$$P_3 = 1000 \text{ hPa} \cdot \frac{100 \text{ ml}}{8,839 \text{ ml}} \cdot \frac{1275,3 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 48,094 \text{ Bar}$$

$$P_4 = 1000 \text{ hPa} \cdot \frac{100 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} \cdot \frac{637,7 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 2,126 \text{ Bar}$$



Übungsblatt 14 zur Experimentalphysik I

Name, Vorname: _____ Matrikelnummer:

$$\begin{aligned}
 d) \quad w &= \int \Delta P \, dV = \int_{V_2}^{V_1} P_{\text{high}} - P_{\text{low}} \, dV \\
 &= \int_{V_2}^{V_1} P_3 \left(\frac{V_3}{V}\right)^{\frac{2}{\gamma}+1} - P_2 \left(\frac{V_2}{V}\right)^{\frac{2}{\gamma}+1} \, dV \\
 &= (P_3 - P_2) \left(\int_{V_2}^{V_1} \left(\frac{V_3}{V}\right)^{\frac{2}{\gamma}+1} \, dV \right) = (P_3 - P_2) V_2^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left[-\frac{\gamma}{2} V^{-\frac{2}{\gamma}} \right]_{V_2}^{V_1} \\
 &= -\frac{\gamma}{2} (P_3 - P_2) V_2^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left(V_1^{-\frac{2}{\gamma}} - V_2^{-\frac{2}{\gamma}} \right) = \frac{\gamma}{2} (P_3 - P_2) V_2 \cdot \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} \right) \\
 &= \frac{\gamma}{2} N k_B (T_3 - T_2) \cdot \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} \right) = E \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} \right) = E \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) \\
 &= 78,8 \text{ J} \cdot \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{600 \text{ K}} \right) = 39,4 \text{ J} \\
 \epsilon &= \frac{w}{E} = \frac{39,4 \text{ J}}{78,8 \text{ J}} = \underline{\underline{50\%}} \\
 \epsilon_{\text{Carnot}} &= 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{1275,3 \text{ K}} = \underline{\underline{76,48\%}}
 \end{aligned}$$