5. Physik-Klausur

Name: ______________________ Punkte: ____________ Note: ____________

1.) Berechne jeweils die fehlende Größe eines idealen Gases:

(a) $p = 500\,\text{hPa}$, $V = 7\,\text{dm}^3$, $T = 20\,°\text{C}$

(b) $T = 300\,\text{K}$, $V = 113\,\text{l}$, $\nu = 7 \cdot 10^{24}$ Teilchen

(c) Wie verändert sich das Volumen eines idealen Gases bei konst. Temperatur und Teilchenzahl, wenn man den Druck auf das Gas verzehnfacht, verhundertfacht, ...?
Wie verhält sich eine realeres Gas unter diesen Umständen und warum?

2.) Bei konstanter Teilchenzahl und konstantem Volumen erhöht man die Temperatur eines Gases von zunächst 200 K auf 300 K.

(a) Wie groß ist nachher der Druck auf die Außenwände, wenn er zunächst 700 hPa betrug?

(b) Druck ist eine makroskopische Größe. Was entspricht dem Druck mikroskopisch?

(c) Mit welcher mittleren Bewegungsenergie bewegen sich die Teilchen in einem Gas bei 300 K. Wie schnell sind sie dann im Mittel, wenn es sich um O_2 handelt? Welche Teilchen würden sich im Schnitt schneller bewegen?

3.) Temperaturen gleichen sich von alleine an. Was sagt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik über das Gegenteil aus?
Wie verhält es sich mit dem „Wert“ von Energie laut diesem Satz? Erläutere diesen Begriff an einem Beispiel deiner Wahl.
Wie hängt dieser Begriff mit Wahrscheinlichkeit zusammen?

4.) (a) Welche Temperatur stellt sich ein, wenn man 3 kg Wasser 40 °C mit 2 kg Wasser 90 °C mischt?

(b) Welche Temperatur stellt sich ein, wenn man 1 kg Wasser 95 °C mit 200 g Aluminium −15 °C „mischt“?

(c) Man tut einen Stein (150 g, −8 °C) in 300 g Wasser (95 °C) und wartet, bis sich die Temperaturen angeglichen haben.
Um welche Art von Stein hat es sich gehandelt, wenn sich eine Temperatur von 87 °C einstellt?

Material	Wärmekapazität c in $\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,897
Schiefer	0,76
Sandstein	0,71
Marmor	0,84

Tabelle 1: Wärmekapazitäten

Musterlösung Physik 11. Klasse, KA 5a

1)

allgemeines Gasgesetz für ideale Gase: $\mathbf{p \times V = \nu \times R \times T}$
universelle Gaskonstante: $\mathbf{R = 8{,}31\ J/(K \times mol)}$
Avogadro-Konstante: $\mathbf{N_A = 6{,}02 \times 10^{23}}$ **Teilchen pro mol**

a)

Am besten erst alle Werte in SI-Einheiten umrechnen, wenn nötig, denn dann kommt am Ende wieder eine SI-Einheit raus (hier mol):

$\mathbf{p = 500\ hPa = 50000\ Pa;\ V = 7 dm^3 = 7 \times 10^{-3}\ m^3;\ T = 20°C = 293\ K}$
zu ermitteln ist also die Stoffmenge ν:

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \mathbf{0{,}14\ mol}$$

b)

$\mathbf{T = 300\ K;\ V = 113\ l = 1{,}13 \times 10^{-1}\ m^3;\ N = 7 \times 10^{24}}$ **Teilchen**
Man muss zuerst die Stoffmenge ν ermitteln:

$\nu = N/N_A = 11{,}63$ mol

dann kann man den Druck berechnen:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \mathbf{256580\ Pa}$$

c)

Druck und Volumen sind umgekehrt proportional: $p \sim 1/V$ →
Druck verzehnfacht → Volumen 1/10, Druck verhundertfacht → Volumen 1/100.

Bei realen Gasen besitzen die Teilchen im Gegensatz zu idealen Gasen ein Volumen, dass Sie beanspruchen (sog. Covolumen). Dadurch vermindert sich das effektive Volumen, das den Teilchen zur Verfügung steht (das erhöht den Druck nach außen). Reale Teilchen zeihen sich durch van der Waals-WW an (sog. Binnendruck). Dadurch sind die Teilchen im Schnitt näher bei einander (der Druck nach außen vermindert sich).
Ein reales Gas wird also bei 10-fachem Druck nicht auf 1/10 zusammengedrückt, sondern weicht davon ab. Wie stark und in welche Richtung sich die Abweichung bemerkbar macht, hängt von der Natur des Gases ab und welcher Effekt (Covolumen oder Binnendruck) bei einem bestimmten Druck und einer bestimmten Temperatur gerade überwiegt. Bei sehr niedrigem Druck verhält sich jedes reales Gas fast wie ein ideales.

2a)

Druck und Temperatur sind proportional: $p \sim T$ → Temperatur erhöht sich um das 1,5-fache, dann erhöht sich auch der Druck entsprechend:

700 hPa × 1,5 = **1050 hPa.**

b)

Mikroskopisch entspricht dem Druck der Impuls der Gasteilchen, den sie beim Stoß mit der Wand an diese übertragen – höherer Impuls der Teilchen und/oder höhere Stoßhäufigkeit → höherer Druck.

c)

Boltzmann-Konstante: $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K
atomare Masseneinheit: $u = 1{,}66 \times 10^{-27}$ kg
$m(O_2) = 32{,}0\ u = 5{,}31 \times 10^{-26}$ kg
$T = 300$ K

Für die durchschnittliche kinetische Energie eines Gasteilchens gilt:

$$\overline{W_{kin}} = \frac{3}{2} kT = \mathbf{6{,}21 \times 10^{-21}\ J}$$

Die Bewegungsenergie eines Teilchens ist aber auch gleich ½mv^2.
Daraus lässt sich die mittlere Geschwindigkeit eines Sauerstoffmoleküls berechnen:

$$\overline{W_{kin}} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m(O_2)}} = \mathbf{483{,}75\ m/s}$$

Alle Teilchen, die leichter sind als O_2 (z.B. N_2) würden sich im Mittel schneller bewegen, weil die Energie gemittelt gleichmäßig auf alle Teilchen verteilt wird und somit bei kleinerer Masse die Geschwindigkeit höher sein muss [$v \sim (1/m)^{1/2}$]

3)
Würde sich z.B. in einem Metallblock eine Seite spontan erwärmen, während sich die andere Seite dafür abkühlt, so würde dies nicht dem 1. HS der Thermodynamik widersprechen (Energieerhaltung). Der 2. HS besagt jedoch, dass ein unordentlicher Zustand wahrscheinlicher ist als ein geordneter. Wenn aber die Wärmeenergie im Metallblock mehr auf einer Seite lokalisiert ist, dann ist dieser Zustand geordneter als wenn sie gleichmäßig verteilt ist.
Ein anschaulicheres Beispiel: Schüttelt man eine Schnee-Glaskugel, so ist es theoretisch möglich, dass nach dem Absinken des Kunstschnees alle Teilchen auf einer Seite der Glaskugel liegen bleiben. Das ist aber sehr unwahrscheinlich, da es viel mehr Kombinationsmöglichkeiten der relativen Anordnung der Schneeteilchen zueinander gibt, wenn sie über die gesamte Fläche verteilt sind (statistische Theorie der Materie)

Wärmeenergie kann prinzipiell nicht vollständig in Arbeit umgewandelt werden, da der 2.HS der Thermodynamik verlangt, dass sich bei einem „freiwillig“ (spontan) ablaufenden Prozess die Unordnung (Entropie) im „Weltall“ erhöht.
Beispie Wärmekraftmaschine - Verbrennungsmotor: Durch verbrennen des Kraftstoffs wird Wärme erzeugt, die durch Expansion der Verbrennungsgase in mechanische Arbeit umgewandelt wird (Bewegung des Kolbens). Dieser Vorgang läuft nur deshalb freiwillig ab, weil die entstehende Wärme auch die Umgebung erwärmt und dadurch die Unordnung dieser erhöht. Es muss also ein Teil der Wärmeenergie „vergeudet“ werden, um dafür zu sorgen, dass die gesamt-Unordnung des „Weltalls“ zunimmt.
Da die Energie in Form von Wärme an sich schon recht „unordentlich“ ist (die Gasteilchen z.B. fliegen ungeordnet durcheinander), ist diese Energieform qualitativ nicht so wertvoll wie z.B. die chemische Energie, die im Brennstoff gespeichert ist. Diese kann leicht nahezu vollständig in Wärmeenergie überführt werden (durch verbrennen), da bei der Erzeugung von Wärme sich die Entropie ja erhöht.

4a)
Mischungstemperatur zweier Wasserchargen:

1. **Wasser-Charge: $m_{w1} = 3$ kg; $T_1 = 313$ K**
2. **Wasser-Charge: $m_{w2} = 2$ kg; $T_2 = 363$ K**

Die Mischungstemperatur erhält man einfach aus dem (Masse) gewichteten arithmetischen Mittel:

$$T_m = \frac{m_{W1} T_1 + m_{W2} T_2}{m_{W1} + m_{W2}} = \mathbf{333\ K}$$

b)
Mischungstemperatur einer Flüssigkeit mit einem Feststoff:

1. **Wasser: m_w = 1 kg; T_W = 368 K**
2. **Aluminium: m_{Al} = 0,2 kg; T_{Al} = 258 K**

Da hier 2 Substanzen mit unterschiedlicher spezifischer Wärmekapazität gemischt werden, muss man dies bei der Gewichtung zusätzlich berücksichtigen:
spezifische Wärmekapazität: **c_W = 4,18 kJ/(kg×K); c_{Al} = 0,897 kJ/(kg×K)**

$$T_m = \frac{c_W\, m_W\, T_W + c_{Al}\, m_{Al}\, T_{Al}}{c_W\, m_W + c_{Al}\, m_{Al}} = \mathbf{363{,}5\ K}$$

c)
Wie bei Aufgabe b) - jedoch ist hier die spezifische Wärmekapazität des Feststoffs unbekannt, dafür aber die Mischungstemperatur:

1. **Wasser: m_w = 0,3 kg; T_W = 368 K; c_W = 4,18 kJ/(kg×K)**
2. **Stein: m_{St} = 0,15 kg; T_{St} = 265 K**
   Mischungstemperatur T_m = 360 K

Man muss also die Gleichung nach c_{St} auflösen:

$$T_m = \frac{c_W\, m_W\, T_W + c_{St}\, m_{St}\, T_{St}}{c_W\, m_W + c_{St}\, m_{St}} \rightarrow T_m\, c_W\, m_W + T_m\, c_{St}\, m_{St} = c_W\, m_W\, T_W + c_{St}\, m_{St}\, T_{St} \rightarrow$$

$$T_m\, c_{St}\, m_{St} - c_{St}\, m_{St}\, T_{St} = c_W\, m_W\, T_W - T_m\, c_W\, m_W \rightarrow c_{St}(T_m\, m_{St} - T_{St}\, m_{St}) = c_W\, m_W\, (T_W - T_m) \rightarrow$$

$$c_{St} = \frac{c_W\, m_W\, (T_W - T_m)}{m_{St}\, (T_m - T_{St})} = \mathbf{0{,}704\ kJ/(kg\times K)}$$ → Es handelt sich um Sandstein.