

Physik-Vorkurs WS 2019

Quiz zur Thermodynamik

- (1) Alice füllt 1 mol Wasserstoffgas (H_2 -Moleküle) und Bob Heliumgas (He-Atome) in Behälter mit gleichem Volumen, und die Gase haben die gleiche Temperatur. Welche der folgenden Aussagen sind richtig?
- (a) die Gas-Drücke sind in beiden Behältern gleich
 - (b) die inneren Energien der Gase sind in beiden Behältern gleich
 - (c) die kinetischen Energien der Gasteilchen sind gleich
 - (d) die mittleren Geschwindigkeiten der Gasteilchen sind gleich
 - (e) die Gesamtmasse der Gase sind in beiden Fällen gleich

Lösung: (a, c)

Begründung:

- (a) Für beide Gase gilt die ideale Gasgleichung, d.h. $pV = \nu RT$. Da $T_{\text{Alice}} = T_{\text{Bob}}$, $\nu_{\text{Alice}} = \nu_{\text{Bob}}$ und $V_{\text{Alice}} = V_{\text{Bob}}$, muss daher auch $p_{\text{Alice}} = p_{\text{Bob}}$ sein. Da beide Gase als ideal angenommen werden dürfen, spielen die Unterschiede aufgrund der verschiedenen Art der Atome bzw. Moleküle keine Rolle für den Druck; (a) ist also richtig.
 - (b) Die innere Energie ist hingegen $U = C_V T = \frac{f}{2} \nu RT$, wobei f die Zahl der „thermodynamisch angeregten“ Freiheitsgrade ist. Für Wasserstoff- und Heliumgas unter gewöhnlichen Alltagsbedingungen kann man das Heliumatom als „starre Kugel“ und das Wasserstoffgas als starre „Hantel“ ansehen, d.h. es ist $f_{\text{Alice}} = 5$ und $f_{\text{Bob}} = 3$, d.h. die innere Energie von Alices Wasserstoffgas ist größer als die von Bobs Heliumgas, denn $\nu_{\text{Bob}} = \nu_{\text{Alice}}$ und $f_{\text{Bob}} < f_{\text{Alice}}$; (b) ist also falsch.
 - (c) in einem idealen Gas ist die mittlere kinetische Energie der Gasteilchen $\langle E_{\text{kin}} \rangle = \frac{3}{2} k_B T$, also bei gleicher Temperatur für alle idealen Gase unabhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung gleich; (c) ist also richtig.
 - (d) Es ist $\langle E_{\text{kin}} \rangle = \frac{m}{2} \langle \vec{v}^2 \rangle$, wobei m die Masse eines Gasatoms bzw. -moleküls ist. Demnach ist die mittlere quadratgemittelte Geschwindigkeit $v = \sqrt{\langle \vec{v}^2 \rangle} = \sqrt{2E_{\text{kin}}/m}$. Da nun ein Heliumatomkern aus 2 Protonen und 2 Neutronen und also ungefähr 4 atomare Masseneinheiten wiegt und ein Wasserstoffatom aus nur 1 Proton besteht, also das H_2 -Molekül ungefähr 2 Masseneinheiten wiegt, ist also $m_{\text{Bob}} > m_{\text{Alice}}$ und folglich Bobs Heliumatome langsamer als Alices Wasserstoffmoleküle; (d) ist also falsch.
 - (e) Die Gesamtmasse der Gase ist $N_A \nu m$, wobei m die Masse der Gasteilchen ist. Wie eben festgestellt, ist $m_{\text{Bob}} > m_{\text{Alice}}$, d.h. Bobs Heliumgas ist ebenfalls schwerer als Alices Wasserstoffgas, denn beide haben die gleiche Stoffmenge 1 mol abgefüllt; (e) ist also falsch.
- (2) Alice und Bob füllen 1 mol ideales Gas der gleichen Sorte und der gleichen Temperatur T_1 in jeweils einen Behälter. Der Druck entspricht in beiden Fällen dem äußeren Luftdruck. Alice verschließt ihren Behälter fest und heizt das Gas von der Temperatur T_1 auf eine höhere Temperatur T_2 auf. Bob verschließt seinen Behälter mit einem (reibungsfrei) beweglichen Kolben und heizt sein Gas ebenfalls auf die Temperatur T_2 auf. Welche der folgenden Aussagen sind richtig?
- (a) Bob braucht mehr Wärmeenergie zum Aufheizen
 - (b) Alice braucht mehr Wärmeenergie zum Aufheizen
 - (c) Alices Gas verrichtet mechanische Arbeit
 - (d) Bobs Gas verrichtet mechanische Arbeit

Lösung: (a,d)

Begründung:

- (a,b) Da Alice ihren Behälter fest verschließt, erfolgt das Aufheizen Ihres Gases bei konstantem Volumen. Demnach ist $dQ_{\text{Alice}} = C_V dT$. Da $C_V = \text{const}$ benötigt Alice also die Wärmemenge $\Delta Q_{\text{Alice}} = C_V \Delta T = C_V (T_2 - T_1)$. Da sich bei Bobs Behälter der Kolben frei bewegen kann, muss der Gasdruck im Gleichgewicht stets dem äußeren Luftdruck entsprechen, d.h. es bleibt während des Aufheizens $p = \text{const}$. Bob benötigt also die Wärme $\Delta Q_{\text{Bob}} = C_p \Delta T = C_p (T_2 - T_1)$. Nun ist bei idealen Gasen $C_p = C_V + \nu RT > C_V$, d.h. Bob benötigt mehr Wärmeenergie als Alice; (a) ist also richtig.
- (c,d) Für die nach außen abgegebene Arbeit gilt $dW = p dV$. Da $dV_{\text{Alice}} = 0$, verrichtet Alices Gas beim Aufheizen keine Arbeit, während Bobs Gas sich ausdehnt, denn nach der idealen Gasgleichung ist $V = \nu RT / p$. Da Bobs Gas bei gleichbleibendem Druck erwärmt wird und $T_2 > T_1$ ist, ist also $V_2 > V_1$ und folglich $dV_{\text{Bob}} > 0$, d.h. das Gas verrichtet gegen den äußeren Luftdruck Arbeit. Diese Arbeit muss Bob im Vergleich zu Alice zusätzlich aufbringen, und deshalb benötigt er auch mehr Wärmeenergie; (d) ist also korrekt.
- (3) Ein Wasserstoffatom besitzt die Molmasse von ungefähr $m_{\text{mol}} = 1 \text{ g/mol}$. Im Grundpraktikum arbeiten Alice und Bob zusammen und füllen 10g Wasserstoffgas (H_2 -Moleküle) in einen Behälter. Der Praktikumsbetreuer fragt, wieviel mol Gas sie abgefüllt haben. Bob meint, es seien 10 mol. Alice widerspricht und meint, es seien 5 mol. Wie reagiert der Betreuer?
- Alice hat recht und darf den Versuch durchführen
 - Bob hat recht und darf den Versuch durchführen
 - beiden wird die Versuchsdurchführung wegen mangelnder Vorbereitung verweigert

Lösung: (a)

Begründung: Das Wasserstoffgas besteht unter Normalbedingungen wie angegeben aus H_2 -Molekülen. Da ein Wasserstoffatomkern aus einem Proton besteht, wiegt das Molekül atomare Masseneinheiten, d.h. es ist $m_{\text{mol}}^{(\text{H}_2)} = 2 \text{ g/mol}$. Die abgefüllte Gasmenge ist also $\nu = m / m_{\text{mol}} = 10 \text{ g} / (2 \text{ g/mol}) = 5 \text{ mol}$, d.h. Alice hat richtig nachgedacht und darf daher den Versuch durchführen.

- (4) Alice füllt 1 mol Gas in einen mit einem Kolben verschlossenen Behälter und heizt das Gas mit einem Bunsenbrenner auf. Sie stellt fest, dass während der ganzen Zeit die Temperatur des Gases gleich bleibt und sich am Ende das Volumen verdoppelt hat. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?
- die innere Energie des Gases hat sich verdoppelt
 - die innere Energie des Gases hat sich halbiert
 - der Druck hat sich halbiert
 - der Druck hat sich verdoppelt
 - das Gas hat mechanische Arbeit verrichtet
 - das Gas hat keine mechanische Arbeit verrichtet

Lösung: (c, e)**Begründung:**

- (a,b) Es handelt sich um eine isotherme Zustandsänderung. Für die innere Energie des idealen Gases gilt also $dU = C_V dT = 0$, d.h. die innere Energie ändert sich nicht; (a) und (b) sind also beide falsch.
- (c,d) Nach der idealen Gasgleichung ist $p = \nu RT / V$. Da $T_2 = T_1$ und $V_2 = 2V_1$ ist $p_2 = \nu RT_2 / V_2 = \nu RT_1 / (2V_1) = (\nu R / V_1) / 2 = p_1 / 2$, ist also (c) korrekt und (d) falsch.
- (e,f) Da sich das Gas ausgedehnt hat, hat es Arbeit verrichtet, die als Wärmeenergie hineingesteckt wurde, denn nach dem 1. Hauptsatz ist $dU = dQ - dW$ und wegen $T = \text{const}$ ist $dU = C_V dT = 0$ und also $dW = dQ$.
- (5) Alice und Bob bekommen im Grundpraktikum ein ideales Gas in einem Behälter mit fest vorgegebenem Volumen, das Helium (He-Atome) oder Stickstoff (N_2 -Moleküle) sein kann. Der Praktikumsbetreuer sagt ihnen, dass er 1 mol Gas abgefüllt hat, geht dann weg und will zwei Stunden später wissen, welches Gas die beiden bekommen haben. Mit welchen der folgenden Messungen können Alice und Bob messen herauszufinden, um welches Gas es sich handelt (das Labor ist optimal mit allen Geräten ausgestattet, die sie evtl. brauchen)?

- (a) den Druck als Funktion der Temperatur
- (b) die benötigte Wärmeenergie als Funktion der Temperaturänderung
- (c) die Masse des Gases (sie können einen gleichartigen evakuierten Behälter wiegen)
- (d) es gibt keine Möglichkeit, das ohne chemische Analyseverfahren herauszufinden

Lösung: (b,c)

Begründung:

- (a) Nach der idealen Gasgleichung ist $pV = \nu RT$, d.h. es ist $p = \nu RT/V$, wobei ν und V fest vorgegeben sind. Alice und Bob können also zwar p als Funktion von T messen, aber in der Gleichung hängt nichts von der Art des Gases ab, d.h. durch diese Messung können sie nicht feststellen, ob es sich um Helium- oder Stickstoffgas handelt; (a) ist also falsch.
- (b) Wenn Alice und Bob ihr Gas aufheizen und da $V = \text{const}$ ist, benötigen sie dazu die Wärmemenge $\Delta Q = C_V \Delta T = \frac{f}{2} \nu R \Delta T$, wobei f die Anzahl der Freiheitsgrade der Gasmoleküle ist. Da He einatomig ist, ist $f_{\text{He}} = 3$. Stickstoff ist zweiatomig und folglich $f_{\text{N}_2} = 5$. Messen Alice und Bob also, wieviel Wärme sie für eine vorgegebene Temperaturänderung ΔT benötigen, können sie $f = 2\Delta Q/(\nu R \Delta T)$ berechnen und entscheiden, ob He- oder N₂-Gas abgefüllt wurde; (b) ist also richtig.
- (c) Da $m_{\text{mol}}^{(\text{He})} \simeq 4 \text{ g/mol}$ und $m_{\text{mol}}^{(\text{N}_2)} \simeq 28 \text{ g/mol}$ ist, kann man durch Bestimmung der Gasmasse entscheiden, ob Helium oder Stickstoff vorliegt; (c) ist also richtig.
- (d) da (b) und (c) sehr wohl die Bestimmung der Gassorte ermöglichen, benötigt man keine chemische Analyse, um die Frage zu entscheiden; (d) ist also falsch.