

令和5年度長崎大学大学院工学研究科

博士前期課程 総合工学専攻一般入試

化学・物質工学コース 専門科目 A

物理化学

この分野の問題を選択する場合は左の枠内に○を付け、選択しない場合は×を付けること。

受験番号 _____

※用紙の2枚目以降には決して受験番号を記入しないこと。

この線の下には受験者は何も記入しないこと。

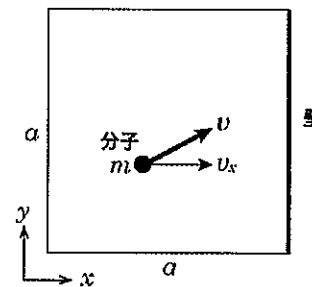
整理番号 _____

物理化学 (1/2)

- 解答は問題が記載された指定用紙の解答欄に必ず記入すること。異なる問題の解答欄に記入した場合は、採点されないので注意すること。紙面が不足する場合は、指定用紙の裏面を利用せよ。
- 解答は途中の計算過程がわかるように記述すること。必要があれば、次の数値および単位の関係式を用いよ。
 気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 0.0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 $1.00 \text{ bar} = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.987 \text{ atm}$, $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$, $1 \text{ J} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} = 1 \text{ Pa m}^3$
- 特に指定がない限り、気体は完全気体 (理想気体) として取り扱うこと。

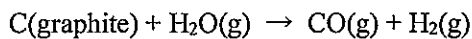
問1. 右図に示すように、1辺が a の立方体の中に1種類の気体が1 mol 入っている。この気体分子 (単原子分子) の衝突は完全弾性衝突であると仮定し、以下の問に答えよ。

- 1) 質量 m の1個の気体分子が速度 v で運動しており、その x 軸方向の速度成分を v_x とする。この分子が、 x 軸に対して垂直な壁と衝突し、跳ね返った。衝突前後の x 軸方向の運動量の変化量を式で表せ。
- 2) 1)の分子1個が、 x 軸に対して垂直な壁と衝突した後、再び同じ壁に衝突するまでの時間は $2a/v_x$ である。1個の分子がこの垂直な壁に衝突するときの単位時間あたりに及ぼす力 f を式で表せ。
- 3) 1 mol の分子が立方体の x 軸に対して垂直な1つの面に及ぼす圧力 p は $N_A m \overline{v_x^2} / V$ となることを示せ。ただし、 $\overline{v_x^2}$ は x 軸方向の二乗速度の平均であり、 V は立方体の体積である。
- 4) 二乗速度の平均が $\overline{c^2} = 3\overline{v_x^2}$ であるとき、根平均二乗速度 c_{rms} は $c_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{c^2}} = \sqrt{3RT/M_m}$ となることを示せ。ここで、 M_m はモル質量、 R は気体定数、 T は絶対温度である。
- 5) ある温度 T において、アルゴン (モル質量: 40.0 g mol^{-1}) の根平均二乗速度 c_{rms} は 750 m s^{-1} であった。温度 T を求めよ。ただし、有効数字3桁で答えること。



問2. 以下の問に答えよ。

- 1) 1.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ を定圧下、 100°C で等温可逆的に凝縮させて液体にした。この過程の仕事 w , 熱量 q , 内部エネルギー変化 ΔU , エンタルピー変化 ΔH をそれぞれ求めよ。ただし、 100°C における水の標準蒸発エンタルピーは 40.7 kJ mol^{-1} である。
- 2) 下に示した反応について、下表の熱力学データ (298 K , 1.00 bar) を用いて、定圧下での 298 K と 378 K における反応エンタルピー ΔH_r をそれぞれ求めよ。定圧熱容量 C_p の値は、この温度範囲では一定とする。



物質	$C_p^\circ / \text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$	$\Delta H_f^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$
C(graphite)	8.53	0.00
H ₂ O(g)	33.6	-242
CO(g)	29.1	-111
H ₂ (g)	28.8	0.00

C_p° は定圧熱容量、 ΔH_f° は標準生成エンタルピーである。

問1, 2の解答欄

物理化学 (2/2)

- 解答は問題が記載された指定用紙の解答欄に必ず記入すること。異なる問題の解答欄に記入した場合は、採点されないので注意すること。紙面が不足する場合は、指定用紙の裏面を利用せよ。
 - 解答は途中の計算過程がわかるように記述すること。必要があれば、次の数値および単位の関係式を用いよ。
気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 0.0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 $1.00 \text{ bar} = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.987 \text{ atm}$, $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$, $1 \text{ J} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} = 1 \text{ Pa m}^3$
 - 特に指定がない限り、気体は完全気体（理想気体）として取り扱うこと。
-

問3. 以下の問に答えよ。

- 1) ある燃料電池反応の 298 K における標準反応 Gibbs 自由エネルギーおよび標準反応エントロピーは、それぞれ -702 kJ mol^{-1} および $-83.9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ である。この反応の 298 K における標準反応エンタルピーを求めよ。また、298 K, 1 bar において本反応により電気エネルギーを得るときの最大仕事効率（理論効率）を求めよ。
- 2) 水と平衡にあるメタンガスの圧力が 100 Torr であるとき、水中のメタンの質量モル濃度はいくらか求めよ。ただし、水相は理想希薄溶液とおき、メタンの Henry 定数は $3.14 \times 10^5 \text{ Torr}$ とする。また、 $[\text{水中のメタンのモル分率}] \approx [\text{水中のメタンのモル数}] / [\text{水のモル数}]$ と近似し、水のモル質量は 18.0 g mol^{-1} とせよ。

問4. $A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ の気相反応について、1000 K での熱力学的平衡定数 K は 3.11 である。以下の問に答えよ。

- 1) 1000 K における上記反応の標準反応 Gibbs 自由エネルギーを求めよ。
- 2) ある密閉容器に 1.00 mol の $A(g)$ のみを入れ、1000 K で平衡状態にしたところ、全圧が 1.00 bar になった。このときの $A(g)$ の解離度 α を求めよ。
- 3) 上記気相反応の標準反応エンタルピーが温度によらず 30.0 kJ mol^{-1} で一定のとき、熱力学的平衡定数 K が 1000 K のときの値の 2 倍になる反応温度を求めよ。

問5. ある一次反応が 30.0% 進行するのに、300 K で 12.0 分、340 K では 3.00 分を要した。以下の問に答えよ。

- 1) 300 K での反応速度定数 k_{300} および半減期 $t_{1/2}$ を求めよ。
 - 2) この反応の活性化エネルギー E_a を求めよ。ただし、 E_a は温度によらず一定とせよ。
-

問3～5の解答欄