

はじめに

本書は、大学入学共通テストの化学で高得点を得るために、短期間で効率よく学力を向上させることを目的とした、単元別の問題集です。

共通テストの化学の問題は、教科書の範囲から幅広く出題され、基本的なものから難しいものまでを適度のバランスで含みます。難易度は内容だけでなく、出題形式や選択肢などでも調整されます。

共通テストで高得点を得るには、ポイントを的確に押さえた問題演習が欠かせません。著者らは、過去の共通テストやセンター試験の問題について、テーマ、頻出度、難易度などを綿密に分析し、独自の改作、編集を行って、この問題集をつくりました。本書には、問題および重要事項のまとめ、解説を含めて、著者らの予備校での学習指導、模試編集などの経験が盛り込まれています。受験生の皆さんが本書を十分に活用されて、本番の試験で力を発揮されるよう、心より願っております。

〈本書の特長と使い方〉

① 重要事項のまとめ

各章の問題を解くために必要なポイントが、簡潔に示してあります。問題を解く前、わからない問題があった時、試験直前のチェックなどに利用して下さい。

② 単元別の問題配列

学習の進度に合わせて、適宜、選択しながら効果的に利用することができます。

③ 共通テストに直結した配点、解答時間、難易度

各章は大問ごとに、配点、解答時間、難易度の目安を示してあります。これらを認識しながら学習することで、本番に強い学力が自然に養われます。

④ 共通テストに必要な不可欠なポイントを盛り込んだ問題構成

本書全体をムラなく学習することで、共通テスト対策が十分に行えるように、問題が構成されています。何度もくり返して、完全に自分のものとして下さい。

著者

目次

レベル表記：無印…やや易 ★…標準 ★★…やや難

第1章 物質の状態と平衡 5

- ★ 第1問 物質の三態と状態変化 …… 16
- ★ 第2問 気体の状態方程式 …… 18
- ★ 第3問 気体の法則 …… 22
- ★ 第4問 混合気体の圧力, 実在気体… 24
- ★★ 第5問 蒸気圧曲線 …… 26
- ★★ 第6問 飽和蒸気圧 …… 28
- ★ 第7問 結晶と化学結合 …… 32
- ★★ 第8問 限界半径比 …… 36
- ★ 第9問 固体の溶解度 …… 40
- ★ 第10問 気体の溶解度 …… 42
- ★ 第11問 希薄溶液の性質 …… 44
- ★★ 第12問 蒸気圧降下と凝固点降下 …… 48
- 第13問 コロイド …… 50

第2章 物質の変化と平衡 51

- ★ 第14問 エンタルピー変化を付した化学反応式, 反応エンタルピー …… 60
- ★★ 第15問 反応エンタルピー, 結合エンタルピー (結合エネルギー) …… 62
- ★★ 第16問 中和エンタルピー, 溶解エンタルピー …… 66
- ★ 第17問 電気分解とファラデーの法則 68
- ★★ 第18問 電気分解の応用 …… 70
- ★ 第19問 イオン化傾向と金属の反応性, 電池とそのしくみ …… 72
- ★★ 第20問 ダニエル型電池の起電力 …… 76
- ★★ 第21問 反応の速さ …… 80
- ★ 第22問 反応速度式 …… 84
- ★ 第23問 化学平衡, 触媒 …… 88
- ★ 第24問 平衡定数, 平衡移動 …… 90
- ★★ 第25問 水の電離平衡 …… 94

第3章 無機物質 97

- ★ 第26問 非金属元素の単体と化合物… 106
- ★ 第27問 気体の製法 …… 108

- ★ 第28問 典型元素 …… 112
- ★ 第29問 遷移元素 …… 114
- ★★ 第30問 コバルトの錯体 …… 116
- ★ 第31問 金属イオンの沈殿 …… 120
- ★ 第32問 金属イオンの系統分離 …… 124
- 第33問 生活と無機物質 …… 126
- ★ 第34問 薬品の保存, 取り扱い, 人間生活 128

第4章 有機化合物 131

- ★ 第35問 異性体 …… 142
- ★ 第36問 脂肪族炭化水素 [1] …… 144
- ★ 第37問 脂肪族炭化水素 [2] …… 146
- ★★ 第38問 脂肪族酸素化合物 [1] …… 148
- ★ 第39問 アルコールの沸点 …… 150
- ★★ 第40問 脂肪族酸素化合物 [2] …… 152
- ★★ 第41問 オゾン分解 …… 156
- ★★ 第42問 けん化価とヨウ素価 …… 160
- ★ 第43問 芳香族化合物 [1] …… 162
- ★★ 第44問 芳香族化合物 [2] …… 164
- 第45問 生活と有機化合物 …… 166
- ★ 第46問 有機総合 [1] …… 168
- ★★ 第47問 有機総合 [2] …… 170

第5章 高分子化合物 173

- ★ 第48問 高分子化合物 …… 186
- ★ 第49問 合成繊維 …… 188
- ★ 第50問 ナイロン 66 の合成実験 …… 190
- 第51問 合成樹脂 …… 194
- ★ 第52問 ゴム …… 196
- 第53問 糖類 …… 198
- ★ 第54問 アミノ酸とタンパク質 …… 200
- ★ 第55問 アミノ酸の分離 …… 202
- ★★ 第56問 ペプチドのアミノ酸配列の決定 204
- 第57問 繊維 …… 208
- 第58問 天然・合成高分子化合物 …… 210

第1章 物質の状態と平衡 — 重要事項 —

1 結晶とその構造

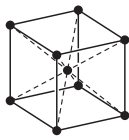
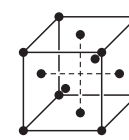
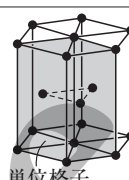
固体の物質には、結晶質と非晶質がある。

固体— 結晶質……粒子が規則的(格子状)に配列し、周期性がある。
— 非晶質(アモルファス, 無定形)……粒子が不規則に配列し、周期性がない。

[例]アモルファス金属, アモルファスシリコン

a 金属の結晶

- ① 金属の結晶格子は、㉗体心立方格子、①面心立方格子、㉙六方最密構造に分類される。①と㉙は最密構造(充填率㉗68%, ①・㉙74%)である。

	㉗体心立方格子	①面心立方格子	㉙六方最密構造
原子の配列 (●は原子の中心) の位置			 単位格子
1個の原子に接する 原子の数(配位数)	8	12	12
結晶格子の最小のくり返し構 造(単位格子)中の原子の数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2(\text{個})$	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4(\text{個})$	$(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3) \times \frac{1}{3} = 2(\text{個})$
単位格子の一边の長さ(格子定 数)(l)と原子半径(r)の関係	$r = \frac{\sqrt{3}}{4} l$	$r = \frac{\sqrt{2}}{4} l$	—

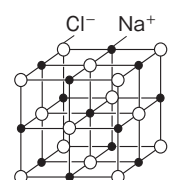
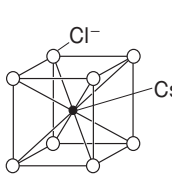
- ② 金属の結晶の密度 d (g/cm^3)

結晶の密度は単位格子の密度に等しい。

単位格子	質量 $Vd(\text{g})$	原子数 n	$\left[\begin{array}{l} V: \text{単位格子の体積}(\text{cm}^3) \\ n: \text{単位格子中の原子の数} \\ M: \text{原子のモル質量}(\text{g/mol}) \\ N_A: \text{アボガドロ定数}(/\text{mol}) \end{array} \right]$
結晶 1 mol	$M(\text{g/mol})$	$N_A(/\text{mol})$	
$Vd: n = M: N_A$ より, $d = \frac{Mn}{VN_A}$			

b イオン結晶

イオン結晶の結晶格子には、塩化ナトリウム(NaCl)型や塩化セシウム(CsCl)型などがある。配位数の大きいイオン結晶の方が構造として安定である。

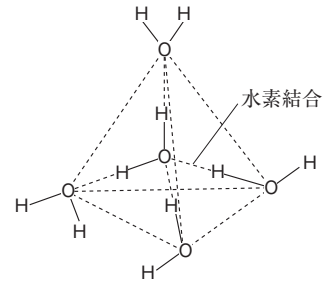
	NaClの単位格子		CsClの単位格子	
イオンの配列 (●, ○は イオンの 中心の位置)				
1個のイオンに 接するイオンの 数(配位数)	Na ⁺ ●	6	Cs ⁺ ●	8
	Cl ⁻ ○	6	Cl ⁻ ○	8
単位格子中の イオンの数	Na ⁺ ●	4	Cs ⁺ ●	1
	Cl ⁻ ○	4	Cl ⁻ ○	1

(●と○をすべて入れかえても同じ構造である)

c 分子結晶

分子が分子間力(ファンデルワールス力, 水素結合)により規則正しく配列している結晶である。

水の結晶では, 水分子1個が4個の水分子と, 水素結合によって引き合い, すき間の多い構造をつくる(液体の水から氷ができるとき, 体積が増加するので, 氷は水よりも密度が小さい)。



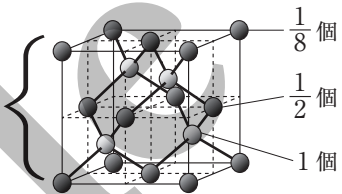
氷の結晶構造

d 共有結合(の)結晶

非金属元素の原子が多数, 次々と共有結合した構造の結晶である(巨大分子ともいう)。

〔例〕ダイヤモンド, 黒鉛, ケイ素, 二酸化ケイ素

$$\left(\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 1 \times 4 = 8 \right)$$



ダイヤモンドCやケイ素 Si の単位格子

2 物質の三態と状態変化

a 状態変化とエネルギー

① 粒子の熱運動

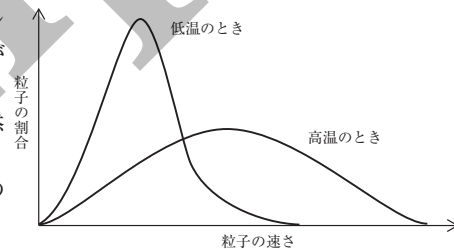
熱運動: 物質の構成粒子が, 持っているエネルギーによって常に運動している現象(温度が高いほど激しい)

拡散: 物質の構成粒子が, 熱運動によって自然に散らばっていく現象

絶対零度: 粒子が運動しなくなる温度(温度の下限界) $\Rightarrow -273^{\circ}\text{C}$

絶対温度 $T[\text{K}]$: 絶対零度を原点とする温度

$$T[\text{K}] = t[^{\circ}\text{C}] + 273$$

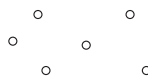


気体分子の速さ・温度と粒子の割合の関係

② 物質の三態

物質は温度・圧力などによって粒子の集合状態が変わり, 気体・液体・固体の状態になる。

粒子は熱運動により, 飛びまわる(粒子間の引力がほとんどはたらかない)



気体

粒子は熱運動をしているが, 相互の位置は変わらない(粒子間の引力が強くはたらく)



固体

粒子は熱運動により, 相互の位置を変える(粒子間の引力がはたらく)



液体

昇華

凝華

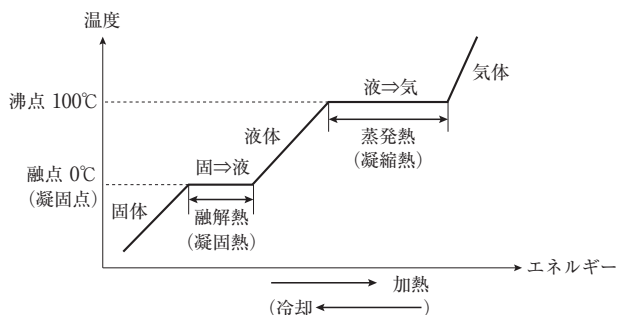
凝縮

蒸発

融解

凝固

〔例〕 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 atm) のもとで水を加熱(または冷却)していくと、次図のような状態変化を示す。

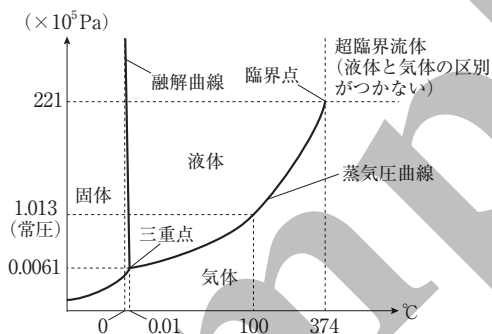


$1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 atm) 下における水の状態変化

③ 状態図

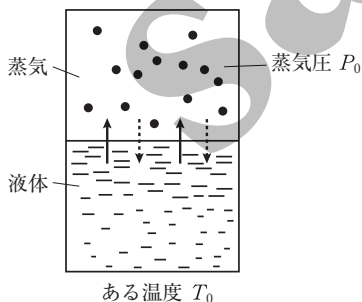
物質の状態を、縦軸に圧力、横軸に温度をとって表した図を、状態図(相図)という。

〔例〕水の状態図



b 飽和蒸気圧

ある温度で液体とその蒸気が平衡状態(気液平衡)にあるとき、その蒸気の示す圧力(分圧)を(飽和)蒸気圧という。気液平衡で蒸気圧は一定となる(単位時間あたり、蒸発する分子数と凝縮する分子数が等しくなる)が、蒸発と凝縮は常にくり返されている。



蒸気圧の性質

- ・液体とその蒸気の共存下で示す圧力である。
- ・液体の種類と温度で決まる圧力である。(温度が高くなると大きくなる。)
- ・その温度で安定に存在できる蒸気の最大圧力である。
- ・液体量、蒸気体積、平衡と無関係の他の気体の存在に影響されない。

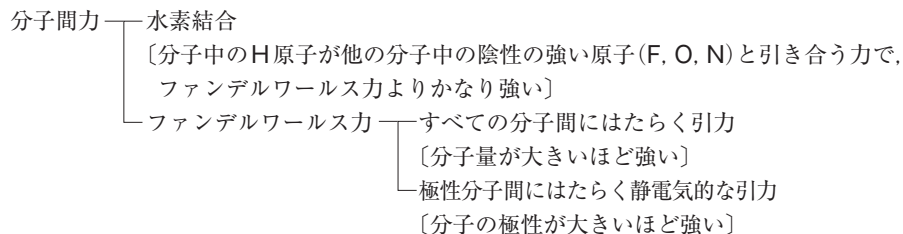
沸点：外圧(一般に大気圧 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) = 蒸気圧となるときの液体の温度。沸点では沸騰が起こる。

沸騰：蒸気圧が外圧と等しくなり、液面だけでなく液体内部からも蒸気が泡となって生じる現象。

(注) 外圧が大きくなると、液体の沸点は高くなる。

c 分子間力と融点・沸点

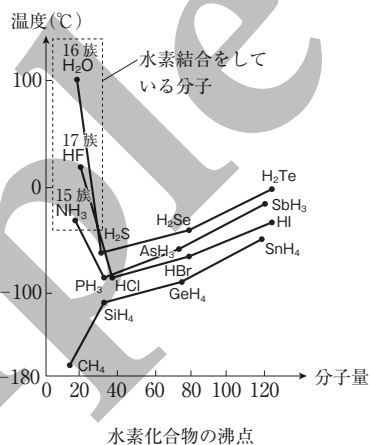
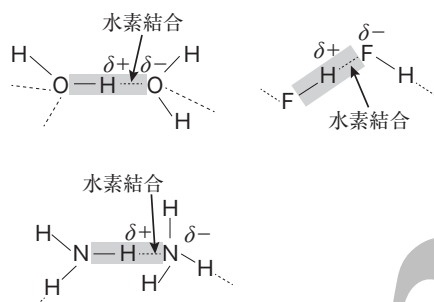
① 分子間力(分子間にはたらく力で、化学結合よりはるかに弱い)



分子からなる物質：分子間力が強いほど、融点・沸点が高くなり、融解熱・蒸発熱が大きくなる。

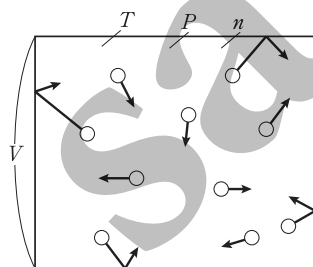
② 水素結合と沸点

[例]



3 気体

a 理想気体の法則



- (1) 気体の体積 $V(\text{L})$: 分子が動きまわっている容器内の空間全体の体積
- (2) 圧力 $P(\text{Pa})$: 分子が壁に衝突してはねかえされるときに、壁に与える単位面積当たりの衝撃力
- (3) 絶対温度 $T(\text{K})$: 分子の平均の運動エネルギーに比例
(注) $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$
- (4) 物質質量 $n(\text{mol})$: 分子数に比例

実際に存在する気体(実在気体)では、

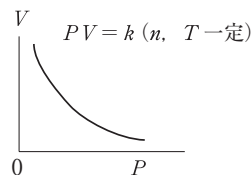
(イ) 分子自身の体積 と (ロ) 分子間力

がともに存在するが、これらは非常に小さく、一般に無視しう程度である。(イ)と(ロ)が両方とも全くない仮想上の気体を理想気体という。以下に示す3つの法則は、理想気体で厳密に成立する。

① ボイルの法則

「一定温度で、一定量の気体の体積 V は、圧力 P に反比例する」

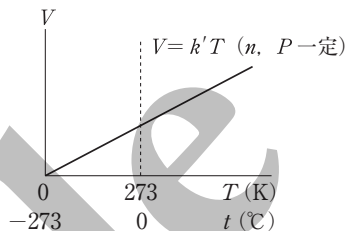
$$(P_1, V_1) \xrightarrow[n, T \text{ 一定}]{\text{変化}} (P_2, V_2) \quad \boxed{P_1 V_1 = P_2 V_2} \quad (PV = k)$$



② シャルルの法則

「一定圧力で、一定量の気体の体積 V は絶対温度 T に比例する」

$$(T_1, V_1) \xrightarrow[n, P \text{ 一定}]{\text{変化}} (T_2, V_2) \quad \boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}} \quad \left(\frac{V}{T} = k' \right)$$



(注) ボイル・シャルルの法則(①, ②の法則をまとめたもの)

$$n \text{ 一定} \quad \boxed{\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}} \quad \left(\frac{PV}{T} = k'' \right)$$

③ アボガドロの法則

「同温、同圧のもとで、同体積を占める気体中には、気体の種類によらず同数の分子が含まれる」

(注) 0°C , $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ (1 atm) [標準状態]の気体 22.4 L 中には、アボガドロ数個 (1 mol) の分子が含まれる。

①～③の法則をまとめると、次の理想気体の状態方程式が得られる。

$$PV = nRT \quad (R \text{ は気体定数})$$

$$\left[\begin{array}{l} P(\text{Pa}), V(\text{L}), n(\text{mol}), T(\text{K}) \text{ に対して,} \\ R = 8.31 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) = 8.31 \text{J} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \end{array} \right]$$

モル質量 $M(\text{g/mol})$ の気体 $w(\text{g})$ の物質量は $n = \frac{w}{M}(\text{mol})$ なので,

$$\boxed{PV = \frac{w}{M} RT} \quad \left(M = \frac{wRT}{PV} \right)$$

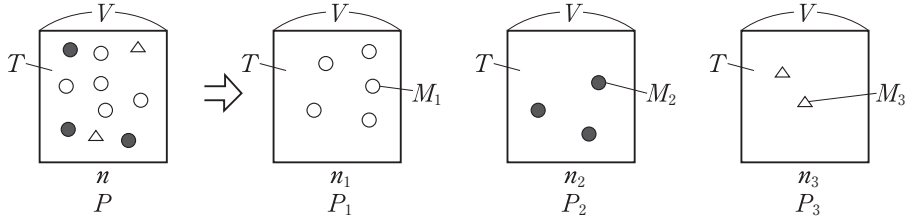
気体の密度は $\rho = \frac{w}{V}(\text{g/L})$ なので,

$$\boxed{P = \frac{\rho}{M} RT} \quad \left(\rho = \frac{PM}{RT} \right)$$

b 混合気体の法則(ドルトンの分圧法則)

「混合気体の圧力(全圧)は、各成分気体の圧力(分圧)の和に等しい」

この法則も、混合気体の各成分が理想気体のとき厳密に成立する。



$$P(\text{全体}) = P_1(\text{分圧}) + P_2(\text{分圧}) + P_3(\text{分圧}) + \dots$$

$$P_1 = P \times \frac{n_1}{n}, \quad P_2 = P \times \frac{n_2}{n}, \quad P_3 = P \times \frac{n_3}{n}, \quad \dots \quad (\text{分圧} = \text{全圧} \times \text{モル分率})$$

(注) 分圧とは、混合気体の各成分がそれぞれ単独で混合気体と同じ体積(同温下)を占めたとき示す圧力である。

混合気体の各成分の組成については、次の関係が導かれる。

$$\text{モル比(分子数比)} = \text{分圧比} = \text{体積比} \neq \text{質量比}$$

混合気体の平均分子量

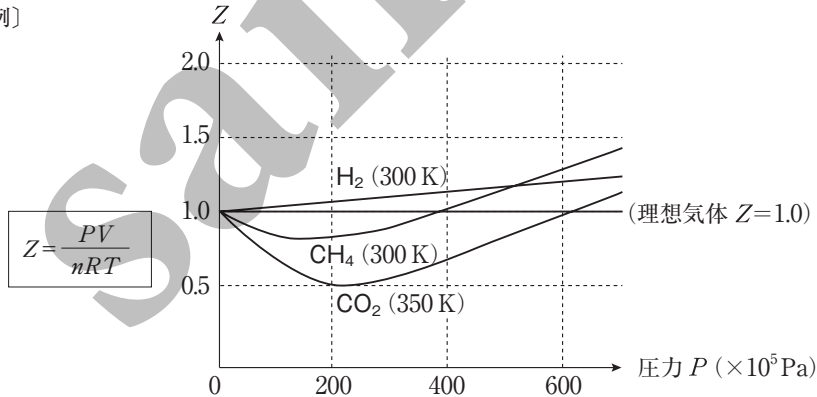
$$\bar{M} = \frac{w}{n} = M_1 \times \frac{n_1}{n} + M_2 \times \frac{n_2}{n} + M_3 \times \frac{n_3}{n} + \dots$$

[平均分子量 = (各成分の分子量 × モル分率) の和]

c 実在気体

実在気体は、(イ)分子自身の体積と(ロ)分子間力があるために、理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ が厳密には成り立たない。

[例]



(注) グラフで理想気体の直線 $Z=1.0$ より上にずれているときは、(イ)の影響が(ロ)より大きく、下にずれているときは、(ロ)の影響が(イ)より大きい。(イ)と(ロ)の影響の仕方は、気体の種類、圧力、温度によって変化する。

実在気体を理想気体に近づける条件

⑦ 低圧にする。

[単位体積あたりの分子数が少なくなり、(イ)の影響が小さくなる。]

⑧ 高温にする。

[エネルギーに富み、分子運動の盛んな分子が増加し、(ロ)の影響が小さくなる。]

§ 1 物質の状態変化

★第1問 次の問い(問1・2)に答えよ。

【3分】(配点 6)

必要があれば、原子量は次の値を使うこと。

H 1.0 C 12 N 14 O 16 Cl 35.5

問1 分子の熱運動に関する次の記述 **a** ～ **d** について、正しいものの組合せを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。 1

- a** 同じ温度では、分子の種類に関わらず、すべての気体分子のもつ運動エネルギーの総和は一定である。
- b** 一般に、分子量が小さい気体分子ほど、運動速度は小さい。
- c** 同じ温度では、同じ種類の気体分子はすべて同じ速さで運動している。
- d** 気体だけでなく、液体や固体でも、分子は熱運動している。

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| ① a・b | ② a・c | ③ a・d |
| ④ b・c | ⑤ b・d | ⑥ c・d |

問2 物質の性質に関する次の記述 **a** ～ **c** について、正しいものすべてを正しく選択しているものの組合せを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。 2

- a** 塩素、酸素、水素のうちで、沸点が最も高いのは、水素である。
- b** メタンとアンモニアは分子量が同程度なので、沸点はほとんど同じである。
- c** フッ化水素、塩化水素、臭化水素のうちで、分子間に水素結合を形成しているのは、フッ化水素のみである。

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| ① a | ② b | ③ c |
| ④ a・b | ⑤ a・c | ⑥ b・c |

§ 2 気体の性質

★第2問 次の問い(問1～3)に答えよ。

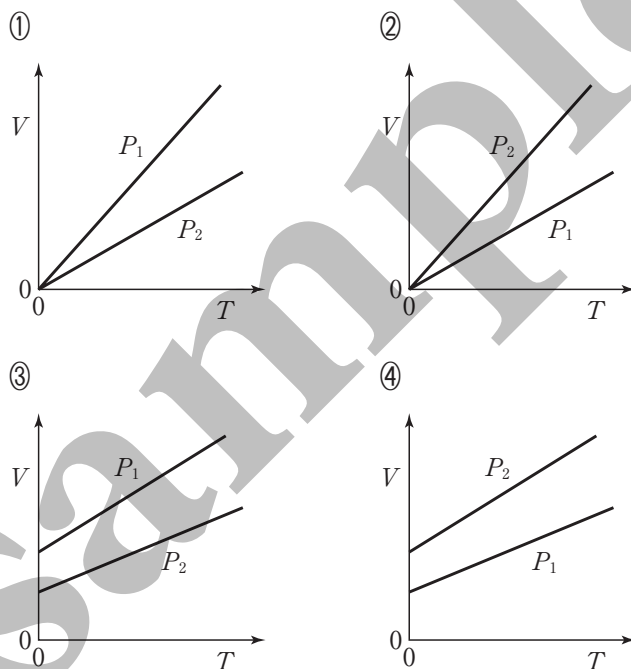
【6分】(配点 10)

必要があれば、原子量は次の値を使うこと。

H 1.0 He 4.0 Ar 40

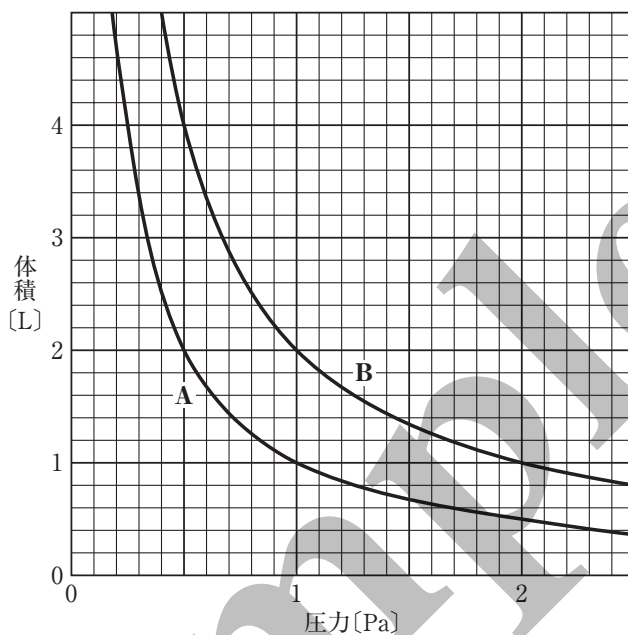
問1 一定量の気体の圧力を P_1 [Pa]または P_2 [Pa]に保つとき、気体の体積 V [L]と温度 T [K]との関係を表すグラフとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、 $P_1 > P_2$ とする。

1



問2 次の図中のAの曲線は、 W [g]の水素について、 27°C における圧力と体積の関係を示したものである。図中のBの曲線はどのような気体についてのグラフか。最も適当なものを、後の①～⑤のうちから一つ選べ。

2



- ① 27°C における $\frac{W}{2}$ [g]の水素
- ② 27°C における W [g]のヘリウム
- ③ 327°C における W [g]の水素
- ④ 327°C における $\frac{W}{2}$ [g]のヘリウム
- ⑤ 327°C における W [g]のヘリウム

問 3 アルゴン 4.0 g を密閉容器に入れ，127℃に保ったところ，圧力は $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ になった。容器の体積は何 L か。最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，気体定数を $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

L

① 0.5

② 1.1

③ 1.7

④ 2.3

⑤ 2.9

⑥ 3.5

★第3問 次の文章を読み、問い(問1～3)に答えよ。

【8分】(配点 9)

図1のような水銀が入ったJ字管の先端に閉じ込められた空気の体積 $V[\text{cm}^3]$ が、温度一定のもとで水銀面の高さの差による圧力 $h[\text{mmHg}]$ に対してどのように変化するかを調べたところ、表1の実験結果が得られた。ただし、大気圧は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (760 mmHg) であり、水銀の蒸気圧は無視するものとする。

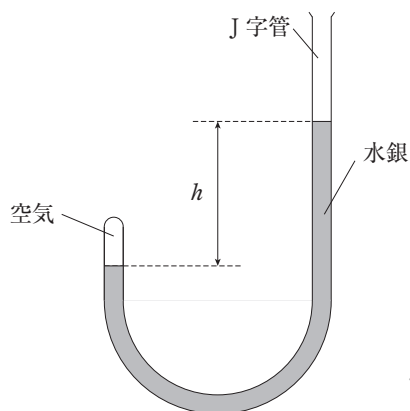


図 1

表 1

$V[\text{cm}^3]$	$h[\text{mmHg}]$
32.0	395
24.0	768
20.0	1090
16.0	1550

問1 この実験結果と最も関係の深い法則名を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

1

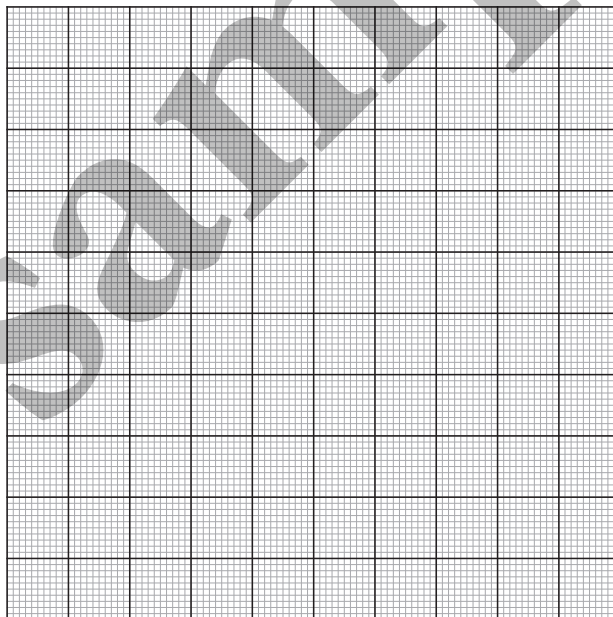
- ① ヘスの法則 ② シャルルの法則 ③ アボガドロの法則
④ ヘンリーの法則 ⑤ ボイルの法則

問2 問1で選んだ法則が成り立つとすると、 $V[\text{cm}^3]$ と $h[\text{mmHg}]$ はどのような関係式で表されるか。最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、 k は定数とする。 2

- ① $V = kh$ ② $V = \frac{k}{h}$ ③ $V = k(h + 760)$
 ④ $V = \frac{k}{h+760}$ ⑤ $V = k(760 - h)$ ⑥ $V = \frac{k}{760-h}$

問3 問2で選んだ関係式の k の値を、表1の実験結果から求めるといくらになるか。有効数字2桁で次の形式で表すとき、3 ～ 5 に当てはまる数字を、後の①～⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。なお、 k の単位は省略してある。必要があれば、与えられた方眼紙を利用すること。

3 . 4 $\times 10^{\text{5}}$



- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0

解 説

第1章 物質の状態と平衡

§1 物質の状態変化

第1問 物質の三態と状態変化

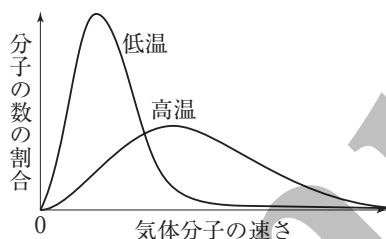
問1 1 正解③

a (正) 気体分子のもつ運動エネルギーは、温度によって異なり、また、同じ物質でも粒子によって異なるが、同じ温度では、すべての気体分子のもつ運動エネルギーの総和は一定である。

b (誤) 粒子の質量を m 、運動速度を v とすると、その運動エネルギー E は、 $E = \frac{1}{2}mv^2$ で表される。よって、

粒子が同じ運動エネルギーをもつとき、 m が小さいほど v が大きく、 m が大きいほど v が小さい。したがって、分子量の小さい気体分子ほど運動速度は大きく、分子量の大きい気体分子ほど運動速度は小さい。

c (誤) 同じ温度でも、同じ物質における気体分子の運動速度は大きいものもあれば小さいものもあり、すべてが等しいわけではない。(下図参照)



d (正) 気体分子は熱運動により自由に空間を飛び回っている。一方、液体分子は熱運動によって相互の位置を変えており、また、固体分子は相互の位置は変わらないがその位置で回転している。このように気体分子だけでなく、液体分子や固体分子もそれぞれの温度に応じた熱運動を行っている。

問2 2 正解③

a (誤) 塩素 Cl_2 、酸素 O_2 、水素 H_2 はいずれも二原子分子である。分子量が大きいほどファンデルワールス力が強いので、分子構造がほぼ同じ場合は、分子量が大きい分子ほど沸点が高い。それぞれの分子量は、 $\text{Cl}_2=71$ $\text{O}_2=32$ $\text{H}_2=2.0$ であるから、沸点が最も高いものは、分子量が最も大きい塩素であると考えられる。

[参考]それぞれの沸点は次の通り。

$\text{Cl}_2 \cdots -34^\circ\text{C}$, $\text{O}_2 \cdots -183^\circ\text{C}$, $\text{H}_2 \cdots -253^\circ\text{C}$

b (誤) メタン CH_4 とアンモニア NH_3 の分子量はそれぞれ、 $\text{CH}_4=16$ $\text{NH}_3=17$ で、ほぼ等しい。しかし、アンモニアは分子間に水素結合を形成するため、沸点は分子量の割にかなり高い。よって、メタンに比べてアンモニアの沸点はかなり高いと考えられる。

[参考]それぞれの沸点は次の通り。

$\text{CH}_4 \cdots -162^\circ\text{C}$, $\text{NH}_3 \cdots -33^\circ\text{C}$

c (正) 分子内に、 $\text{O}-\text{H}$, $\text{N}-\text{H}$, $\text{F}-\text{H}$ をもつ分子は、分子間に水素結合を形成する。したがって、フッ化水素 HF 、塩化水素 HCl 、臭化水素 HBr のうちで分子間に水素結合を形成するのは、フッ化水素のみである。

§2 気体の性質

第2問 気体の状態方程式

問1 1 正解②

ボイル・シャルルの法則より、一定量の気体において、その圧力 P 、体積 V 、絶対温度 $T[\text{K}]$ については次式が成り立つ。

$$\frac{PV}{T} = k (\text{一定})$$

これを変形すると、 $V = \frac{k}{P} \times T$ となるので、 V は T に比例することがわかる。したがって、①または②のいずれかと決まる。さらに、 P が大きいほど $V = \frac{k}{P} \times T$ の傾きに当たる $\frac{k}{P}$ が小さくなるため、圧力が P_1 のときの方が P_2 のときよりもグラフの傾きが小さくなる。よって、最も適当なグラフは②と決まる。

問2 2 正解③

状態方程式 $PV = nRT$ ($P \cdots$ 圧力, $V \cdots$ 体積, $n \cdots$ 物質量, $R \cdots$ 気体定数, $T \cdots$ 絶対温度) と、 $n = \frac{w}{M}$ ($n \cdots$ 物質量, $w \cdots$ 質量, $M \cdots$ モル質量) より、 $PV = \frac{w}{M}RT$ となり、こ

れを変形すると、 $P = \frac{wRT}{MV}$ となる。したがって、例えば、体積を 1L としたとき、 27°C における $W[\text{g}]$ の水素 H_2 (モル質量 2.0g/mol) の圧力は、以下の式で表される。

$$P = \frac{W \times R \times (273 + 27)}{2.0 \times 1} = 150WR [\text{Pa}]$$

同様に、①～⑤について、体積を 1L としたときの圧力を求めると、

$$\textcircled{1} \quad P = \frac{\frac{W}{2} \times R \times (273+27)}{2.0 \times 1} = 75 WR [\text{Pa}]$$

$$\textcircled{2} \quad P = \frac{W \times R \times (273+27)}{4.0 \times 1} = 75 WR [\text{Pa}]$$

$$\textcircled{3} \quad P = \frac{W \times R \times (273+327)}{2.0 \times 1} = 300 WR [\text{Pa}]$$

$$\textcircled{4} \quad P = \frac{\frac{W}{2} \times R \times (273+327)}{4.0 \times 1} = 75 WR [\text{Pa}]$$

$$\textcircled{5} \quad P = \frac{W \times R \times (273+327)}{4.0 \times 1} = 150 WR [\text{Pa}]$$

※ヘリウム He のモル質量は 4.0 g/mol

ここで図より、体積が 1 L のとき、B のグラフでの圧力は A のグラフでの圧力の 2 倍であるから、 $150 WR [\text{Pa}]$ の 2 倍である。つまり、 $150 WR \times 2 = 300 WR [\text{Pa}]$ である。よって、B の曲線は $\textcircled{3}$ の気体についてのグラフである。

問 3 3 正解 $\textcircled{3}$

アルゴン Ar (モル質量 40 g/mol) 4.0 g の物質量は、
 $\frac{4.0 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.10 \text{ mol}$ である。容器の体積を $x [\text{L}]$ とすると、状態方程式 $PV = nRT$ (P …圧力, V …体積, n …物質質量, R …気体定数, T …絶対温度) より、次式が成り立つ。

$$2.0 \times 10^5 \times x = 0.10 \times 8.3 \times 10^3 \times (273+127)$$

よって、 $x = 1.66 \text{ L} \doteq 1.7 \text{ L}$

第 3 問 気体の法則

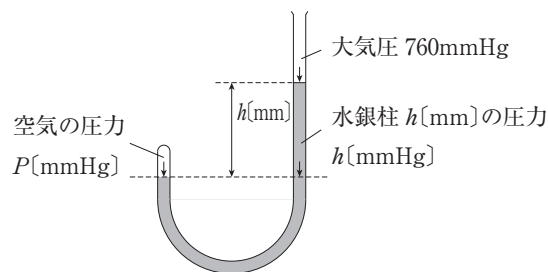
問 1 1 正解 $\textcircled{5}$

温度一定のもとで、気体の体積 (V) が圧力 (P) に対してどのように変化するかを調べたことになるから、その実験結果はボイルの法則 ($PV = k$ 一定) に従うものと考えられる。

問 2 2 正解 $\textcircled{4}$

J 字管に閉じ込められた空気の圧力を $P [\text{mmHg}]$ とすると、 $h [\text{mm}]$ の水銀柱の圧力 $h [\text{mmHg}]$ と大気圧 $760 [\text{mmHg}]$ の和が P とつり合っているの、 P は次式で表される。

$$P = h + 760 [\text{mmHg}]$$



よって、ボイルの法則 ($PV = k$ 一定) が成り立つとすると、

$$(h+760) [\text{mmHg}] \times V [\text{cm}^3] = k [\text{mmHg} \cdot \text{cm}^3]$$

$$\therefore V = \frac{k}{h+760}$$

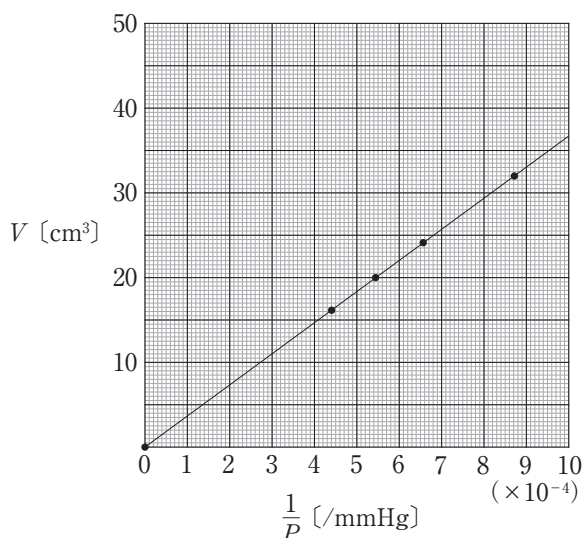
問 3 3 正解 $\textcircled{3}$ 4 正解 $\textcircled{7}$ 5 正解 $\textcircled{4}$

表 1 より、 $V [\text{cm}^3]$ に対する $P = h + 760 [\text{mmHg}]$, $\frac{1}{P}$
 $= \frac{1}{h+760} [1/\text{mmHg}]$ を算出すると、以下のようになる。

$V [\text{cm}^3]$	$P [\text{mmHg}]$	$\frac{1}{P} [1/\text{mmHg}]$
32.0	1155	8.66×10^{-4}
24.0	1528	6.54×10^{-4}
20.0	1850	5.41×10^{-4}
16.0	2310	4.33×10^{-4}

V と $\frac{1}{P}$ の関係をグラフにすると、次図のような直線が得られる。

これより、ボイルの法則が成り立っていることがわかる。



グラフより直線($V=k \times \frac{1}{P}$)の傾き $k[\text{mmHg} \cdot \text{cm}^3]$ を

求めると、例えば、 $\frac{1}{P}$ が $6.0 \times 10^{-4} / \text{mmHg}$ のとき V は

22cm^3 だから、

$$22 \text{cm}^3 = k \times 6.0 \times 10^{-4} / \text{mmHg}$$

$$k \doteq 3.7 \times 10^4 \text{mmHg} \cdot \text{cm}^3$$

[別解]

$PV[\text{mmHg} \cdot \text{cm}^3]$ 値を計算してみると、

$$\left. \begin{array}{l} 32.0 \times 1155 = 3.70 \times 10^4 \\ 24.0 \times 1528 = 3.67 \times 10^4 \\ 20.0 \times 1850 = 3.70 \times 10^4 \\ 16.0 \times 2310 = 3.70 \times 10^4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{平均} \\ 3.7 \times 10^4 \end{array}$$

となり、ほぼ一定となることがわかる。

よって、ボイルの法則 $PV=k$ より、

$$k \doteq 3.7 \times 10^4 \text{mmHg} \cdot \text{cm}^3$$

第4問 混合気体の圧力、実在気体

問1 1 正解④

温度と圧力が一定であれば、体積は物質質量に比例する。したがって、各気体の反応による物質質量の変化は体積の変化と同じになるので、以下に示すように、体積の変化で考えてよい。

	2CO	+	O ₂	→	2CO ₂	
反応前	0.4		0.4		0	
変化量	-0.4		-0.2		+0.4	
反応後	0		0.2		0.4	(単位はL)

したがって、反応後の気体の体積は、 $0.2+0.4=0.6\text{L}$

問2 2 正解②

コックを開いて気体を混合すると、窒素と酸素の体積はいずれも $2.0\text{L}+3.0\text{L}=5.0\text{L}$ になる。温度一定のもとでは、ボイルの法則が成り立つから、コックを開いて混合したときの窒素と酸素の分圧をそれぞれ、 $P_{\text{N}_2}[\text{Pa}]$ と $P_{\text{O}_2}[\text{Pa}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$2.0 \times 10^5 \text{Pa} \times 2.0 \text{L} = P_{\text{N}_2}[\text{Pa}] \times 5.0 \text{L}$$

$$\therefore P_{\text{N}_2} = 0.8 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$1.0 \times 10^5 \text{Pa} \times 3.0 \text{L} = P_{\text{O}_2}[\text{Pa}] \times 5.0 \text{L}$$

$$\therefore P_{\text{O}_2} = 0.6 \times 10^5 \text{Pa}$$

混合気体の全圧は、成分気体の分圧の和に等しいから、容器内の気体の圧力は、

$$0.8 \times 10^5 \text{Pa} + 0.6 \times 10^5 \text{Pa} = 1.4 \times 10^5 \text{Pa}$$

問3 3 正解③

状態方程式 $PV=nRT$ (P …圧力, V …体積, n …物質質量,

R …気体定数, T …絶対温度) より、 $\frac{PV}{nRT}=1$ となる。

理想気体は状態方程式が完全に成り立つ仮想の気体であるから、一定量の気体について、温度を一定にして圧力

を変化させたとき、 $\frac{PV}{nRT}$ の値は常に 1 となる。これに

対して実在気体は、分子間力がはたらくことと、分子自身の体積がゼロでないことから、圧力の変化にともなっ

て $\frac{PV}{nRT}$ の値が変化する。

①(誤) 一般に分子量が小さいほど分子間力が弱いいため、理想気体に近くなる。水素 H_2 は窒素 N_2 よりも分子量が小さいため、水素の方が理想気体に近い。したがって、Bが水素、Aが窒素のグラフである。

②(誤) P , n , R , T の値は、すべての気体について同

じなので、 $\frac{PV}{nRT}$ の値が理想気体に比べて小さいのは、

V (体積) が小さいからである。つまり、圧力が $5 \times 10^7 \text{Pa}$ 以下のとき二酸化炭素は理想気体よりも常に体積が小さいといえる。これは、分子間力の影響が大きいことが原因である。

③(正) どんな気体でも圧力を高くしていくと、理想気体からのずれは大きくなる。これは、分子自身に体積があるため、圧力がかなり大きい場合、それ以上圧力を大きくしても体積は極めて減りにくくなるためである。したがって、圧力が大きいほど理想気体からのずれは大きくなる。反対に圧力を小さくすると理想気体からのずれが小さくなる。

④(誤) 一般に、温度が高いほど、分子間力の影響が小さくなるため、理想気体に近くなる。したがって、温度を $T[\text{K}]$ よりも高くした場合、いずれの気体のグラフも理想気体のグラフからのずれは小さくなる。

第5問 蒸気圧曲線

問1 1 正解⑥

酸素とエタノールの物質質量は等しいので、分圧も等しい。全圧は $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ に保たれているので、エタノールすべてが気体の状態であるとする、酸素とエタノールの分圧はいずれも、

$$1.0 \times 10^5 \text{Pa} \times \frac{0.1 \text{mol}}{(0.1+0.1) \text{mol}} = 0.5 \times 10^5 \text{Pa}$$

である。

65°C におけるエタノールの飽和蒸気圧は $0.6 \times 10^5 \text{Pa}$ であり、 $0.5 \times 10^5 \text{Pa}$ はそれよりも小さいので、このときエタノールはすべて気体で、その分圧は $0.5 \times 10^5 \text{Pa}$ を示していると考えられる。よって、酸素の分圧は $0.5 \times 10^5 \text{Pa}$ である。しかし、 42°C におけるエタノールの飽和蒸気