

1. 物質の三態

①状態変化とエネルギー

●温度による状態の変化

固体 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ 構成粒子の配列がくずれる(液体) $\xrightarrow{\text{加熱}}$ 構成粒子が液体から飛び出す(気体)

①融解熱…固体1molが融解するのに吸収される熱エネルギーの量 $\rightarrow$ 水(水, 0°C): 6.01 kJ/mol

②凝固熱…液体1molが凝固するときに放出される熱エネルギーの量(融解熱と同じ値)

③蒸発熱…液体1molが蒸発するのに吸収される熱エネルギーの量 $\rightarrow$ 水(水蒸気, 100°C): 40.7 kJ/mol

④凝縮熱…気体1molが凝縮するときに放出される熱エネルギーの量(蒸発熱と同じ値)

●常温で気体 $\rightarrow$ 沸点が常温より低い。

●常温で液体 $\rightarrow$ 沸点が常温より高く
融点が常温より低い。

●常温で固体 $\rightarrow$ 融点が常温より高い。

②粒子の熱運動 物質の構成粒子(原子・分子・イオン)が絶えず行う不規則な運動(振動・回転・移動)。温度が高いほど激しく熱運動する。

拡散: 熱運動により物質が自然に広がっていく現象。

気体の分子の熱運動 温度によって分子の速さの分布が変わり、温度が高くなると、速さの大きな分子の割合が増加する。

③セルシウス温度と絶対温度

●セルシウス温度: 水の凝固点と沸点との温度差を100等分して得られる温度。略してセ氏温度ともいう。単位[°C]

●絶対零度: セルシウス温度で-273°Cのこと。すべての粒子の熱運動が停止すると予測される温度なので、これより低い温度はあり得ない。

●絶対温度: -273°C(絶対温度0K)を原点とした温度。単位[K](ケルビン)

●絶対温度T[K]とセルシウス温度t[°C]の関係: $T[K] = t[°C] + 273$

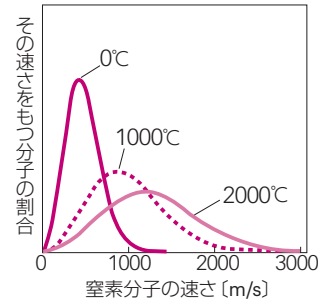
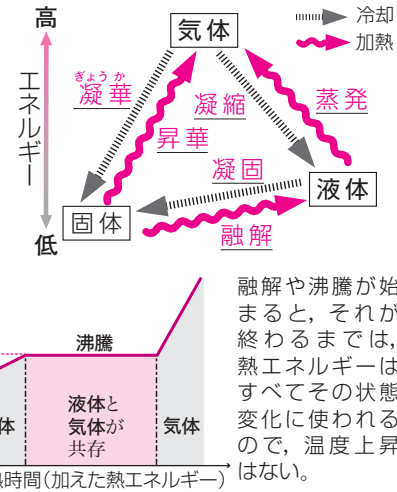
④状態変化と分子間力 物質の構成粒子(原子・分子・イオン)が絶えず行う不規則な運動(振動・回転・移動)を熱運動といい、温度が高いほど激しく運動する。物質の集合状態は粒子間の引力と粒子の熱運動の大小関係で決まる。

①分子間力と水素結合・ファンデルワールス力の関係

分子間力: 分子どうしの間にはたらく引力。

●分子構造の似ている物質では、分子量が大きい $\rightarrow$ 分子間力が大きい $\rightarrow$ 融点や沸点が高い
ファンデルワールス力: 水素結合以外の分子間にはたらく引力で、極性に関係なくすべての分子間にはたらく引力と水素結合をつくらない極性分子間にはたらく静電的な引力のこと。

水素結合: H-F, H-O, H-Nの構造をもつ分子は、その電気陰性度の差が大きく、大きな



極性をもつ。すなわち電気陰性度の大きいF, O, N

分子間力

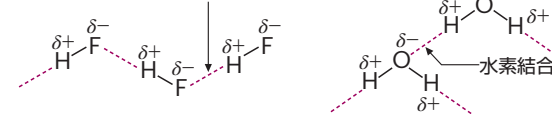
ファンデルワールス力
水素結合

極性に関係なくすべての分子間にはたらく引力(分散力)
極性分子間にはたらく静電的な引力(イオン間にはたらく静電的な引力より弱い)

の原子はHとの共有電子対を引きつけ δ^- となり、H原子は共有電子対を引っ張られ δ^+ となる。このため、分子間に静電的な引力が生じる。これを水素結合という。

HFやH₂Oが他の同族の水素化合物に比べて分子量の割に非常に高い沸点を示すのは水素結合をしているからである。

静電的な引力「水素結合」



価値ある補足 水素結合する元素の覚え方

水素結合は本当にある

F, O, N(電気陰性度が大きい元素)

②分子結晶の融点・沸点

●分子間力(分子量)と融点・沸点 一般に分子構造が似ている物質では、

「分子量が大きい $\rightarrow$ 分子間力が大きい $\rightarrow$ 融点や沸点が高い」の関係がある。

[例]

分子	H ₂	O ₂	Cl ₂	Br ₂
分子量	2	32	71	160
分子間力	小			大
沸点(°C)	-253	-183	-34	59

●極性分子の融点・沸点 一般に分子量のほぼ等しい物質では、極性のある分子の方が分子間力が大きく、融点・沸点も高い。また、水素結合があると分子間力はさらに増し、沸点は一段と高くなる。

[例1] F₂(分子量38)の沸点-188°C < HCl(分子量36.5)の沸点-85°C

$\leftarrow$ F₂は無極性分子であり、HClは極性分子であるため

[例2] ●15族の水素化合物の分子量はNH₃ < PH₃ < AsH₃ < SbH₃であるが、

沸点はPH₃ < AsH₃ < NH₃ < SbH₃である。 $\leftarrow$ NH₃は水素結合があるため

●16族の水素化合物の分子量はH₂O < H₂S < H₂Se < H₂Teであるが、
沸点はH₂S < H₂Se < H₂Te < H₂Oである。 $\leftarrow$ H₂Oは水素結合があるため

●17族の水素化合物の分子量はHF < HCl < HBr < HIであるが、
沸点はHCl < HBr < HI < HFである。 $\leftarrow$ HFは水素結合があるため

※[例2]の知識は試験によく出る!

③化学結合と固体の融点

物質を構成する粒子の間にはたらく力の大きさを比較すると、

共有結合 $\geq$ イオン結合 $\geq$ 金属結合 $\gg$ 水素結合 $>$ ファンデルワールス力

化学結合

分子間力

となる。粒子間にはたらく分子間力や化学結合の結合力が大きいほど固体の融点は高くなる。

一般に、粒子間の結合力が大きい $\rightarrow$ 沸点や融点が高い

価値ある補足 結晶を構成する結合力の大きさ比較

一般に 共有結合 $\geq$ イオン結合 $\geq$ 金属結合 $\gg$ 水素結合 $>$ ファンデルワールス力

化学結合

分子間力

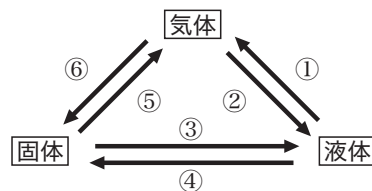
覚え方: 驚異の金水ファンデル

共有結合 イオン結合 金属結合 水素結合 ファンデルワールス力 ※融点の高さもこの順になる。



Step1 確認問題

- 1 右図に示す①～⑥の状態の変化を何というか。



- 2 次の各問に答えよ。

- (1) 下の①～④のセルシウス温度を絶対温度に直せ。
 (2) 下の⑤～⑦の絶対温度をセルシウス温度に直せ。
 (3) ①の温度を特に何というか。

① -273°C ② -100°C ③ 0°C ④ 27°C
 ⑤ 350K ⑥ 100K ⑦ 400K

- 3 次の各問に答えよ。

- (1) 沸点以下で、液体表面から蒸気を発生する現象を何というか。
 (2) 液体の蒸気圧と大気圧(外圧)とが等しくなったときに起こり、液体内部からも蒸気を発生する現象を何というか。
 (3) 密閉容器中で液体を放置すると、やがて蒸発する粒子と凝縮する粒子の数が等しくなり、見かけ上、蒸発も凝縮も行われていないようになる。この状態を何というか。また、このとき容器内の圧力は一定となるが、この圧力を何というか。

- 4 次の各文の下線部が正しければ○、誤りであれば訂正せよ。

- (1) 蒸気圧は温度が高いほど高い。
 (2) 分子間力の小さい物質ほど、蒸気圧は低くなる。
 (3) 一定温度で密閉容器中に液体を放置した場合、蒸気圧は容器の大きさで変化する。
 (4) 水は無極性分子である。
 (5) 固体の水の密度は、液体の水の密度より大きい。
 (6) 氷の結晶は、水分子が正四面体の頂点に位置し、すき間の多い構造をとっている。
 (7) 16族元素の水素化合物の中で、 H_2O は他の水素化合物に比べ、融点・沸点が異常に低い。
 (8) 物質の構成粒子は絶えず振動や回転、移動などの拡散をしている。
 (9) 物質は熱運動によって自然に広がっていく膨張を起こす。

- 5 単位換算をして、(1)～(5)に適する数値や単位を答えよ。

$1.01 \times 10^5 \text{Pa} = (1) \text{mmHg} = 1 \text{気圧} = 1(2)$
 $0.75 \text{気圧} = (3) \text{mmHg}$ $6.06 \times 10^4 \text{Pa} = (4)(2) = (5) \text{mmHg}$

答 ①蒸発 ②凝縮
 ③融解 ④凝固
 ⑤昇華 ⑥凝華

答 (1) ①0K ②173K
 ③273K ④300K
 (2) ⑤77°C ⑥-173°C
 ⑦127°C
 (3) 絶対零度

◀ (1) 蒸気を発生
 (3) 見かけ上、停止→平衡

答 (1) 蒸発
 (2) 沸騰
 (3) 気液平衡、
 (飽和)蒸気圧

◀ (5)は(6)による

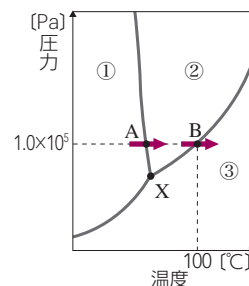
答 (1) ○
 (2) 高く
 (3) 変化する
 (4) 極性分子
 (5) 小さい
 (6) ○
 (7) 高い

(8) 熱運動
 (9) 拡散

答 (1) 760 (2) atm
 (3) 570 (4) 0.6
 (5) 456

- 6 右の図は水の状態図である。これを見て次の各問に答えよ。

- (1) 領域①～③はそれぞれどのような状態か。
 (2) 3曲線が交わる点Xは何と呼ばれるか。
 (3) $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ における矢印上の点A、Bでの温度をそれぞれ何というか。
 (4) 点A、Bで矢印のような温度変化が起きたときの現象をそれぞれ何というか。



答 (1) ①固体 ②液体
 ③気体
 (2) 三相点
 (3) A融点(凝固点)
 B沸点
 (4) A融解
 B沸騰

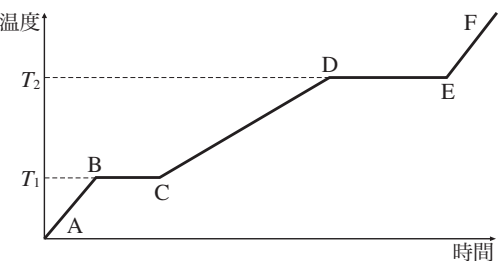
Step2 標準問題

例題 ① エネルギーと状態変化

次の文を読み、下の各問に答えよ。

下図は大気圧 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ のもとで固体を加熱していったときの温度と時間の関係を示している。分子からなる物質の固体では分子間に(ア)がはたらいっている。分子は定められた位置で振動・回転などの(イ)を行っている。固体の温度が上昇すると、分子は互いの位置を入れ換えることが可能になる。この現象が(ウ)で、このときの温度を(エ)といい、下図では(オ)で示されている。さらに温度が上昇すると分子は(カ)を振り切って液面から飛び出していく。この現象が(キ)である。1 mol の液体が同温度の気体になるときに吸収する熱量を(ク)という。空間を飛び出した気体分子の中には液面に衝突して液体に戻るものもある。この現象を(ケ)という。温度を上げるにつれて(キ)は盛んになり、やがて蒸気圧が(コ)と同じになったとき、液体内部からも気体が生じる。この現象を(サ)という。

- (1) 上の文の()に適する語句、記号を入れよ。ただし同じ語句が入る場合もある。
 (2) T_2 での蒸気圧は何Paか。
 (3) C→Bの現象を何というか。
 (4) E→Dの現象を何というか。
 (5) A～Fの中で分子運動が最も激しいのはどれか。
 (6) 固体と液体が共存するのはどの範囲か。A-Bのような表記で答えよ。
 (7) D-E間で、加熱しているにもかかわらず温度が一定になる理由を記せ。



解説 固体物質を加熱していくと、上図のような温度変化を示す。A-B間では固体の温度が徐々に上昇していくが、温度 T_1 (融点) に達すると温度は上昇しなくなる。これは、加えられた熱エネルギーがすべて固体を融解するためだけに使われるからで、固体がすべてなくなるまでは温度上昇は起こらない(B-C間)。Cになると固体がすべて液体となり再び温度上昇が起こる(C-D間)。温度が T_2 (沸点) に達すると、再び加えられた熱エネルギーは温度上昇に使われず、すべての液

液体に戻る分子の数が等しくなった状態を(ケ)といい、このときの蒸気の圧力を、その温度におけるその液体の(コ)という。また、開放した容器中で、液体の温度を上げていくとき、(コ)が(サ)に等しくなると、液体の内部からも分子が飛び出すようになる。この現象が(シ)であり、このときの温度を(ス)という。したがって、(サ)が高くなると(ス)は{セ：高く、低く}なる。

ドライアイスやナフタレンのように、固体から直接気体になるものがある。このような現象を(ソ)という。

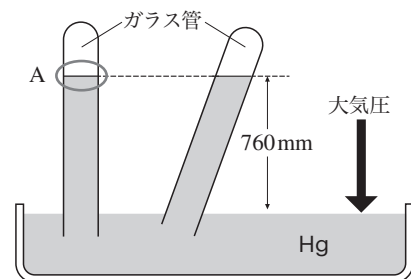
8 [分子間力と沸点] 次の各問いに答えよ。

(1) 次の16族の水素化合物(ア)～(エ)を沸点の高い順に記号で並べよ。ただし原子量の大小は、 $O < S < Se < Te$ である。

(ア) H_2O (イ) H_2S (ウ) H_2Se (エ) H_2Te

(2) 一般式 C_nH_{2n+2} で表される物質では、 n の値が大きいくほど沸点が高い。その理由を簡潔に記せ。

9 [水銀柱による圧力の測定] 図はトリチェリーが大気圧の測定を行った水銀柱の実験を表したものである。彼は、片方が閉じたガラス管に水銀Hgを入れ、水銀溜めに倒立させると、水銀柱は水銀溜めの水銀表面から760mmの高さで留まることを見出した。この実験に関する以下の各問いに答えよ。ただし、ガラス管上部の空間は真空になっているものとする。

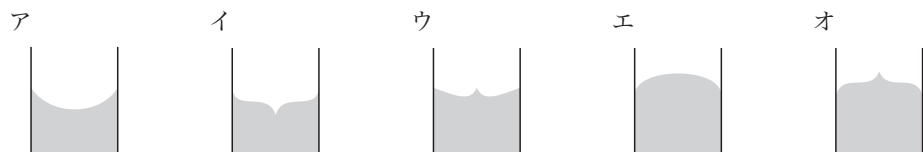


(1) この実験において、大気圧とつり合っているのは次のどれか。

- ア ガラス管内の760mmより上部の空間の圧力
- イ ガラス管内に760mmまで入っている水銀の質量
- ウ ガラス管内に760mmまで入っている水銀の体積
- エ ガラス管内に760mmまで入っている水銀が重力によって及ぼす圧力
- オ ガラス管内に入っている水銀の密度

(2) この実験を水銀の代わりに水で行った場合、水柱は何mmまで上昇するか。有効数字2桁で答えよ。ただし、水銀の密度は 13.6g/cm^3 、水の密度は 1.0g/cm^3 、実験での水の蒸発は無視できるとする。

(3) 図中のAの図として正しいものを選べ。



Step3 重要問題

例題 1 物質の沸点・融点



次の(1)～(4)について、組み合わせた(ア)、(イ)2つの物質のうち、沸点(ただし、(1)は融点)が高い方を選び、その理由として最も適するものを下の(a)～(d)の中から選べ。

- (1) (ア) I_2 , (イ) $NaCl$ (2) (ア) F_2 , (イ) Cl_2
 (3) (ア) CH_3CH_2OH , (イ) $CH_3CH_2CH_2OH$ (4) (ア) H_2O , (イ) H_2S

[沸点(融点)が高い理由]

- (a) イオン結合がはたらく。
- (b) 分子量が大きいためファンデルワールス力が大きい。
- (c) ともに水素結合が存在するが、分子量が大きいためファンデルワールス力が大きい。
- (d) 水素結合の影響が大きい。

解説 (1) $NaCl$ はイオン結晶で分子結晶の I_2 に比べて融点はかなり高い。

「驚異の金水ファンデル」→ p.372

(2) $F_2(38)$ と $Cl_2(71)$ はどちらもハロゲンの単体で二原子分子。水素結合はなく、分子間にはたらくファンデルワールス力は分子量が大きい Cl_2 の方が大きく、沸点も高くなる。

(3) (ア) $CH_3CH_2OH(46)$ はエタノール、(イ) $CH_3CH_2CH_2OH(60)$ は1-プロパノールで、どちらもアルコールの一種である。どちらも $-OH$ の部分で水素結合をするが、1-プロパノールの方が分子量が大きいためファンデルワールス力は大きくなるため沸点も高くなる。

(4) どちらも16族の水素化合物で、分子量は $H_2S(34)$ の方が大きい、 $H_2O(18)$ は水素結合により分子間力が非常に大きく沸点も高い。

解答 (1) (イ)(a) (2) (イ)(b) (3) (イ)(c) (4) (ア)(d)



溶解度に関する問題は、出題パターンが決まっている。5つのテクニックをマスターすれば、どんな問題でも必ず解ける！ 次の出題パターンを解きながらこれらのテクニックを身に付けていこう!!

出題パターン 1 溶解度、析出、蒸発

- KClの水に対する溶解度は20℃で34、80℃で51である。
- 20℃におけるKClの飽和溶液の質量パーセント濃度はいくらか。
 - 80℃におけるKClの飽和溶液100gにKClは何g溶けているか。
 - 80℃におけるKClの飽和溶液100gを20℃まで冷却すると何gの結晶が析出するか。
 - 水150gに80℃でKClを飽和させ、20℃まで冷却すると何gの結晶が析出するか。
 - 20℃におけるKClの飽和溶液100gから温度を変えずに水30gを蒸発させたとき、何gの結晶が析出するか。

解答解説

- (1) 溶解度の定義より、20℃においては溶媒の水100gに対して溶質のKClが34g溶けているので、
質量パーセント濃度は $\frac{34}{100+34} \times 100 \div 25\%$

- (2) 溶解度の問題である。

【解法1】 $\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}} = \frac{51}{100+51} = \frac{a}{100}$ より

$a \div 34\text{g}$

【解法2】 $\frac{\text{溶質}}{\text{溶媒}} = \frac{51}{100} = \frac{a}{100-a}$ より

$a \div 34\text{g}$

- (3), (4)は析出問題である。

- (3) 溶解度の定義より、80℃の飽和溶液(100+51)gを、20℃まで下げると(51-34)gの結晶が析出する。よって飽和溶液100gでは

$\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}} = \frac{51-34}{100+51} = \frac{b}{100}$ より $b \div 11\text{g}$

- (4) 水100gに対する80℃での飽和溶液を20℃まで下げると(51-34)gの結晶が析出する。よって、水150gに対しては

$\frac{\text{析出量}}{\text{溶媒}} = \frac{51-34}{100} = \frac{c}{150}$ より $c \div 26\text{g}$

- (5) 蒸発問題である。

20℃で水30gに飽和していた溶質が析出する。

$\frac{\text{溶質}}{\text{溶媒}} = \frac{34}{100} = \frac{d}{30}$ より $d \div 10\text{g}$

▶テクニック1▶溶解度の問題◀

$\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}}$ でいくか、 $\frac{\text{溶質}}{\text{溶媒}}$ でいくか。

◀この場合、【解法1】も【解法2】も計算にさほどの違いはないが、問題によってはどちらが解答可能で、どちらが簡単に計算できるか判断しなければならない。

▶テクニック2▶析出問題◀

$\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}}$ でいくか、 $\frac{\text{析出量}}{\text{溶媒}}$ でいくか。

◀(3)や(4)も問題によって $\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}}$ と $\frac{\text{析出量}}{\text{溶媒}}$ のどちらが解答可能で、どちらが簡単に計算できるか判断しなければならない。

▶テクニック3▶蒸発問題◀

蒸発した水に飽和していた溶質分が析出する。

出題パターン 2 水和水をもつ化合物の溶解

硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ は、40℃で水100gに55.6g溶ける。硫酸銅(Ⅱ)の40℃における溶解度を求めよ。 $\text{CuSO}_4 = 160$, $5\text{H}_2\text{O} = 90$

解答解説

$$\frac{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{160 + 90} = \frac{a}{250} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{溶質 CuSO}_4 \text{ は } a \times \frac{160}{250} [\text{g}] \\ \text{溶媒の一部 (5H}_2\text{O) は } a \times \frac{90}{250} [\text{g}] \end{array} \right.$$

【解法1】

$$\frac{\text{溶質}}{\text{溶媒}} = \frac{x}{100} = \frac{55.6 \times \frac{160}{250}}{100 + 55.6 \times \frac{90}{250}}$$

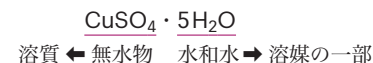
より $x = 29.64 \cdots \div 29.6\text{g}$

【解法2】

$$\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}} = \frac{x}{100+x} = \frac{55.6 \times \frac{160}{250}}{100+55.6} \quad \text{より } x \div 29.6\text{g}$$

▶テクニック4▶水和水をもつ化合物の溶解問題◀

無水物が溶質、水和水は溶媒の一部となる。



出題パターン 3 水和水をもつ化合物の析出①

硫酸銅(Ⅱ) CuSO_4 の水に対する溶解度は60℃で40、30℃で25である。60℃の飽和溶液180gを30℃に冷却するとき、析出する硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ は何gか。

$\text{CuSO}_4 = 160$, $5\text{H}_2\text{O} = 90$

解答解説

60℃の飽和溶液180g中に、溶質 CuSO_4 は $180 \times \frac{40}{100+40} \div 51.4\text{g}$ である。30℃で析出した結晶

を $a[\text{g}]$ とすると、この中に CuSO_4 は $a \times \frac{160}{250} [\text{g}]$ を含むので、

$$\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}} = \frac{25}{100+25} = \frac{51.4 - a \times \frac{160}{250}}{180 - a} \quad \text{より } a = 35\text{g}$$

次のような誤答に注意する。

【誤答1】 $\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}} = \frac{40-25}{140} = \frac{a}{180}$

【誤答2】 $\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}} = \frac{40 \times \frac{250}{160} - 25 \times \frac{250}{160}}{140} = \frac{a}{180}$

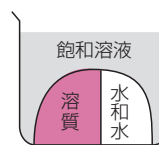
【誤答3】 $\frac{\text{析出量}}{\text{溶液}} = \frac{40-25}{140} = \frac{a \times \frac{160}{250}}{180}$

【誤答4】 $\frac{\text{析出量}}{\text{溶媒}} = \frac{40-25}{100} = \frac{a \times \frac{160}{250}}{180 - a \times \frac{90}{250}}$

▶テクニック5▶水和水をもつ化合物の析出問題◀

低い方の温度での飽和溶液について

$\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}}$ を考える。



◀なぜ誤答か？

結晶が析出するに従って、徐々に溶媒の水を水和水として取り込んでいる。すなわち、60℃から30℃になるに従って溶液や溶媒の質量が刻々と変化している。よって、左記の【誤答1～4】の方法はすべて等式が成り立たないので誤りである。

Step4 実戦問題①

52 温度111 K、圧力 1.0×10^5 Paで、液体のメタン CH_4 (分子量16)の密度は 0.42 g/cm^3 である。同圧でこの液体16 gを300 Kまで加熱してすべて気体にしたとき、体積は何倍になるか。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

(24 共通テスト)

- ① 6.5×10^2 ② 1.3×10^3 ③ 1.0×10^4 ④ 9.6×10^5

53 過酸化水素の分解によって発生した酸素を、水上置換でメスシリンダー内に捕集する。メスシリンダー内の気体の体積が 27°C 、 1.013×10^5 Paで150 mLであるとき、酸素の物質量は何 mol 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、 27°C における水の飽和蒸気圧は 3.6×10^3 Pa、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

(16 本試)

- ① 4.0×10^{-3} ② 5.9×10^{-3} ③ 6.1×10^{-3} ④ 6.3×10^{-3} ⑤ 6.7×10^{-3} ⑥ 8.3×10^{-3}

54 理想気体と実在気体に関する次の記述(I～III)について、下線を付した記述の正誤の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

(25 共通テスト)

- I 理想気体とみなせる、互いに反応しない気体AとBがある。温度と圧力が同一のAとBを体積比1:2で混合すると、AとBの分圧の比は1:2となる。
- II 温度一定で同じ物質量の実在気体と理想気体を比較する。十分に圧力を高くすると実在気体の体積が理想気体の体積より大きくなる現象が見られる。これは、分子自身の体積が無視できなくなるためである。
- III 圧力一定で同じ物質量の実在気体と理想気体を比較する。十分に温度が高くなると実在気体の体積は理想気体の体積に近づく。これは、分子間力の影響が小さくなるためである。

	I	II	III
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

55 19°C のもとで、500 mLの水に二酸化炭素 CO_2 が溶けた炭酸水と、少量の気体の CO_2 が入った容器があり、蓋が閉められた状態で放置されている。この容器の蓋を少し緩めると、容器内の圧力が下がり、炭酸水から 0.060 mol の CO_2 が発生した。このとき、炭酸水は容器から出なかった。その後、蓋を閉めたとき、容器内の CO_2 の圧力は 1.0×10^5 Paであり、容器内部の温度は 19°C のままであった。蓋を緩める前の容器内の CO_2 の圧力は何 Paであったか。最も適当な数値を、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、 19°C 、 1.0×10^5 Paにおいて、水1 Lに溶ける CO_2 の物質量は $4.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ で、水に溶ける CO_2 の物質量と圧力の関係はヘンリーの法則に従うものとする。

(25 共通テスト)

- ① 1.5×10^5 ② 2.0×10^5 ③ 2.5×10^5 ④ 3.0×10^5 ⑤ 4.0×10^5 ⑥ 5.0×10^5

56 モル質量 $M[\text{g/mol}]$ の非電解質の化合物 $x[\text{g}]$ を溶媒10 mLに溶かした希薄溶液の凝固点は、純溶媒の凝固点より $\Delta t[\text{K}]$ 低下した。この溶媒のモル凝固点降下が $K_f[\text{K} \cdot \text{kg/mol}]$ のとき、溶媒の密度 $d[\text{g/cm}^3]$ を表す式として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

(17 本試)

- ① $\frac{M\Delta t}{100xK_f}$ ② $\frac{100xK_f}{M\Delta t}$ ③ $\frac{100K_fM}{x\Delta t}$ ④ $\frac{x\Delta t}{100K_fM}$ ⑤ $\frac{10000xK_f}{M\Delta t}$ ⑥ $\frac{M\Delta t}{10000xK_f}$

57 海水から淡水を得るには逆浸透を用いる方法がある。図に示すように、長い筒の中に水のみを通す半透膜が固定されている。長い筒の両側にはピストンが付いており、半透膜とピストンで挟まれた空間の一方は 0.50 mol/L のNaCl水溶液10 L、もう一方は水で満たされている。水側のピストンにかかる圧力を 1.0×10^5 Paに保ったまま、NaCl水溶液側のピストンを 3.1×10^6 Paで押し続ける。このとき、平衡状態に達するまで、NaCl水溶液の溶媒である水が半透膜を通して水側に移動する。このNaCl水溶液にファントホッフの法則が適用できるものとして、NaCl水溶液から水側に移動する水の体積は何 Lか。最も適当な数値を、後の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし、温度は 27°C で一定であり、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。

(25 共通テスト)

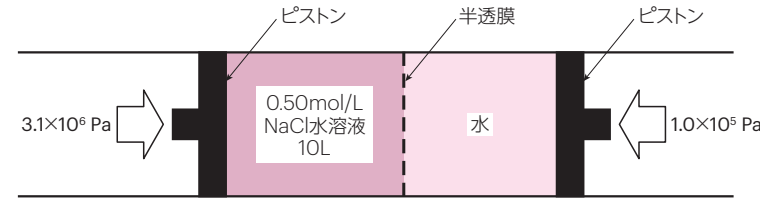


図 NaCl水溶液から水を得る装置の模式図

- ① 1.7 ② 4.2 ③ 5.8 ④ 7.9 ⑤ 8.3

58 コロイドに関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

(25 共通テスト)

- ① 親水コロイド溶液に多量の電解質を加えたときに沈殿が生じる現象を塩析という。
- ② 分散媒が液体で分散質も液体のコロイドを懸濁液(サスペンション)という。
- ③ コロイド粒子が電荷を帯びていれば、コロイド溶液に直流電圧をかけると、コロイド粒子は自身が帯電している電荷とは反対符号の電極側に移動する。
- ④ 水に分散したコロイド粒子が不規則に運動するのは、分散媒である水分子がコロイド粒子に不規則に衝突するためである。
- ⑤ コロイド溶液に強い光線を当てると光の通路が明るく見えるのは、コロイド粒子が光を散乱するためである。

59 図1の立方体はダイヤモンドの単位格子を示しており、炭素原子は立方体の各頂点8か所、各面心6か所、および内部4か所にある。単位格子の1辺の長さを $a[\text{cm}]$ 、炭素のモル質量を $M[\text{g/mol}]$ 、アボガドロ定数を $N_A[\text{/mol}]$ としたとき、ダイヤモンドの密度 $d[\text{g/cm}^3]$ を表す式として正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。

(19 本試)

- ① $\frac{6MN_A}{a^3}$ ② $\frac{6M}{a^3N_A}$ ③ $\frac{8MN_A}{a^3}$ ④ $\frac{8M}{a^3N_A}$
- ⑤ $\frac{18MN_A}{a^3}$ ⑥ $\frac{18M}{a^3N_A}$

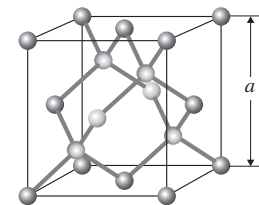


図1

60 水の状態図を右図に示す。以下の問1～4に答えなさい。

問1 図1の点Aおよび点Bの名称と曲線ABの名称を書きなさい。

問2 圧力を図1の P_1 [$\times 10^5$ Pa]に保ったまま、温度を T_1 [$^{\circ}$ C]から T_4 [$^{\circ}$ C]まで変化させた。 $T_1 \sim T_2$ [$^{\circ}$ C], $T_2 \sim T_3$ [$^{\circ}$ C], $T_3 \sim T_4$ [$^{\circ}$ C]での状態をそれぞれ書きなさい。

問3 二酸化炭素の状態図(曲線と状態)を図2に描きなさい。図のAおよびBはそれぞれ水の状態図のAおよびBの同じものを示す。

問4 水の生成および状態変化について以下の実験を行った。以下の問(1)～(4)に答えなさい。ここで気体は理想気体とする。必要な数値は水の状態図の数値を用いなさい。数値は有効数字2桁で答えなさい。

体積が一定の密閉容器に水素0.50 molと酸素0.50 molの混合気体を封入して容器内の温度を127 $^{\circ}$ C、容器内の圧力を 1.0×10^5 Paとした。水素を完全燃焼させたのちに温度を127 $^{\circ}$ Cとした(X)。この状態から温度を47 $^{\circ}$ Cまで冷却すると容器内には液体の水が生じていた(Y)。ここで、水への水素や酸素の溶解は無視できるものとする。

- (1) 密閉容器の体積[L]を気体定数 R [Pa $\cdot$ L/(mol $\cdot$ K)]を用いて表しなさい。
- (2) 完全燃焼後(X)について、全圧[Pa]および水蒸気分圧[Pa]を答えなさい。
- (3) 冷却後(Y)の気体の全圧[Pa]を答えなさい。
- (4) Yの時点で生じた水(液体)の物質質量[mol]を答えなさい。

61 次の文の□に入る数値を有効数字3桁で記しなさい。また、()には化学反応式を、{ (5) }には化学式を、[]には文字式をそれぞれ記しなさい。気体はすべて理想気体とし、容器の接続部の内容積および、液体の体積と蒸気圧は無視できるものとする。また、気体は液体に溶解しないものとする。

図1に示すように、容器Aと容器Bがコックで接続され、0 $^{\circ}$ Cで保たれている。コックが閉じられた状態で、内容積5.00 Lの容器Aに n_1 [mol]のメタン CH_4 と n_2 [mol]のアセチレン C_2H_2 を充填すると、圧力 0.560×10^5 Paを示した。また、内容積2.00 Lの容器Bに n_3 [mol]の酸素 O_2 を充填すると、圧力 3.50×10^5 Paを示した。

ここで、容器Aと容器Bをつなぐコックを開くと、気体は反応することなく均一な混合気体となり、その全圧は□(1) Paとなった。このときの O_2 の分圧は□(2) Paである。

つぎに、容器内の混合気体を完全燃焼させた。この変化を化学反応式で表すと、メタンについては①式、アセチレンについては②式で表される。

- (3) …①
- (4) …②

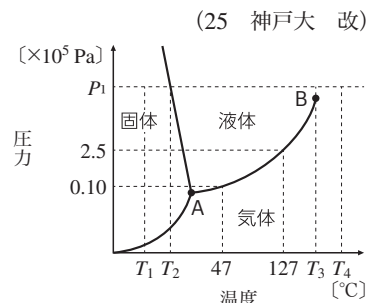


図1

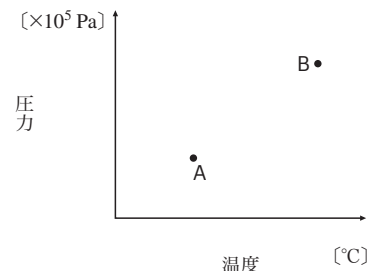


図2

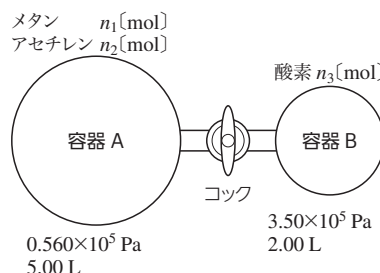


図1

①式および②式にしたがって完全燃焼した後、再び0 $^{\circ}$ Cに保つと容器内の圧力は、 0.750×10^5 Paとなっていた。この温度と圧力の条件において容器内に存在する気体成分は、{ (5) }と未反応の O_2 である。ここから、燃焼前のメタンに対するアセチレンの物質質量の比(n_2/n_1)を求める。①式と②式から、必要に応じて n_1 , n_2 , n_3 を用いると、{ (5) }の物質質量は[(6)] [mol]と表される。同様に、未反応の O_2 の物質質量は、[(7)] [mol]と表される。このことから、 n_2/n_1 は□(8)と求められる。

62 硫酸銅(II) CuSO_4 は、水100 gに、60 $^{\circ}$ Cで40 g、10 $^{\circ}$ Cで15 g溶ける。60 $^{\circ}$ Cの硫酸銅(II)の飽和水溶液140 gを10 $^{\circ}$ Cまで冷却したとき、硫酸銅(II)五水和物は何g析出するか。有効数字2桁で答えよ。ただし、水の蒸発は無視できるものとする。 $\text{H}_2\text{O} = 18$, $\text{CuSO}_4 = 160$ (25 中央大 改)

63 次の文章を読んで問1～6に答えよ。 (15 神戸大 改)

右図は常圧において純粋な水と「ある水溶液」をゆっくりと冷却したときの温度と冷却時間の関係(冷却曲線)を模式的に表したものである。

問1 AからBまでの状態のことを何と呼ぶか。

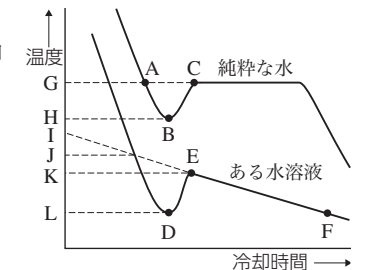
問2 BからCへの過程で純粋な水の状態がどのように変化するか説明せよ。

問3 BからCへの過程で温度が上昇する理由を説明せよ。

問4 「ある水溶液」の凝固点を示すのは、図のG, H, I, J, K, Lのうちどれか、記号で答えよ。

問5 EからFにかけて冷却曲線が傾いている理由を説明せよ。

問6 「ある水溶液」が質量パーセント濃度7.5%の塩化ナトリウム水溶液であった場合の凝固点は何 $^{\circ}$ Cになるか、有効数字2桁で求めよ。ただし、その温度において、塩化ナトリウムは水に溶けて完全に電離しているものとする。また、水のモル凝固点降下は $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ である。 $\text{NaCl} = 58$



64 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。 (17 北海道大 改)

塩化金酸 HAuCl_4 水溶液200 mLを加熱し、還元剤としてクエン酸三ナトリウムを加えたところ、Auコロイド粒子が溶液中で形成され、溶液の色が変化した。



Auコロイド粒子表面には電離したクエン酸イオンが結合しており、粒子の凝集を防いでいる。この溶液へ強い光をあてると、光の進路が明るく輝いて見えた。このような現象を□(あ)という。

このAuコロイド粒子に少量の電解質を加えたところ沈殿を生じた。このような少量の電解質によって□Aコロイドが沈殿する現象を□(い)という。Auコロイド溶液へ直流電圧をかけると、Auコロイド粒子は□B極側へ移動した。□B極側のコロイド溶液を取り出し、セロハンに包んで透析したのち、セロハン内の溶液のみを容器に移した。この希薄溶液を顕微鏡で観察すると、Auコロイド粒子は光り輝く点として観測され、不規則に動いている様子が見られた。このような運動を□(う)という。

問1 □(あ)～□(う)にあてはまる語句を答えよ。

問2 下線部について、温度を上げると□(う)は激しくなる。この理由を20字以内で記せ。

問3 □A, □Bに適する語句を記入せよ。

問4 以下の(ア)～(カ)に示すイオンの中で、最も少ない添加量でこのAuコロイド粒子の沈殿を生じさせるのはどれか。なお、加える水溶液中の(ア)～(カ)のイオンのモル濃度はすべて同じとする。

- (ア) K^+ (イ) Ca^{2+} (ウ) Al^{3+} (エ) NO_3^- (オ) SO_4^{2-} (カ) PO_4^{3-}

確認問題

P.10

1 答 ①蒸発 ②凝縮 ③融解 ④凝固 ⑤昇華 ⑥凝華

解説 物質の三態での状態変化の名称は基本事項として覚えておく。また、固体⇄液体間のエネルギー差に比べて、液体⇄気体間のエネルギー差は非常に大きいことも覚えておくこと。以前は⑤⑥をともに昇華と呼んでいたが、現在は両者を区別するため⑥の気体→固体を凝華と呼んでいる。

2 答 (1) ①0K ②173K ③273K ④300K
(2) ⑤77℃ ⑥-173℃ ⑦127℃ (3) 絶対零度

解説 絶対温度 T [K] とセルシウス温度 t [℃] の関係 T [K] = t [℃] + 273 を用いる。分子の熱運動はある温度で停止することが予想され、これより低い温度は存在しない。その温度が -273℃ であり、絶対温度では 0K であるので、この温度を絶対零度という。

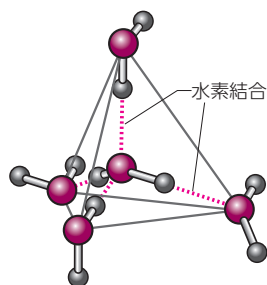
3 答 (1) 蒸発 (2) 沸騰 (3) 気液平衡、(飽和)蒸気圧

解説 蒸発と沸騰の違いは、蒸発が液体表面から蒸気が発生するのに対して、沸騰は液体内部からも蒸気が発生することである。沸騰は蒸気圧と大気圧(外圧)とが等しくなったときに起こり、このときの温度を沸点という。また、蒸発は沸点以下で起こる現象である。

一定温度において、密閉容器中では、蒸発する粒子と凝縮する粒子の数がやがて等しくなる。この状態を気液平衡といい、このとき容器内の圧力は一定となる。この圧力を(飽和)蒸気圧という。

4 答 (1) ○ (2) 高く (3) 変化しない (4) 極性分子
(5) 小さい (6) ○ (7) 高い (8) 熱運動 (9) 拡散

解説 (1) 温度が高くなると気体分子も活発に動き、蒸気圧は高くなる。
(2) 「分子間力が小さい→分子間力が切れやすい→気体になりやすい→気体分子の数が多→蒸気圧が高い→早く大気圧に達する→沸点が低い」の関係を理解しておくこと。
(3) 飽和蒸気圧は温度によって決まり、容器の大きさには関係しない。
(4) 水はO原子側がδ-、H原子側がδ+となった極性分子である。
(5) (6) 氷は水分子間の水素結合により、すき間の多い構造となるため、液体の水よりも密度が小さくなる。よって氷は水に浮く。
→問題編 p.59 4章 ■4.1



氷の結晶構造

(7) 水分子は折れ線形の極性分子で、16族の水素化合物と比較しても、分子量は $\text{H}_2\text{O} < \text{H}_2\text{S} < \text{H}_2\text{Se} < \text{H}_2\text{Te}$ であるが、水素結合があるため、沸点は $\text{H}_2\text{S} < \text{H}_2\text{Se} < \text{H}_2\text{Te} \ll \text{H}_2\text{O}$ となる。
(8) (9) 身のまわりの物質は原子、分子、イオンなどの粒子からできている。物質を構成しているこれらの粒子は静止しているのではなく、常に運動している。このような粒子の運動を熱運動という。この熱運動により粒子が自然に散らばって広がる現象を拡散という。拡散は、気体どうし、液体どうしを混合するときや、固体や気体を液体に溶かすときにも起こる。

5 答 (1) 760 (2) atm (3) 570 (4) 0.6 (5) 456

解説 (3) $1.01 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ 気圧} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$ なので、 $760 \times 0.75 = 570 \text{ mmHg}$

(4) (5) $\frac{6.06 \times 10^4}{1.01 \times 10^5} = 0.6 \text{ 気圧} = 0.6 \text{ atm}$ $0.6 \times 760 = 456 \text{ mmHg}$

6 答 (1) 領域①：固体、領域②：液体、領域③：気体 (2) 三重点

(3) A：融点(凝固点)、B：沸点 (4) A：融解、B：沸騰

解説 物質がさまざまな温度と圧力のもとでどのような状態をとるかを表したグラフが状態図である。固体(領域①)と液体(領域②)の間の曲線が融解曲線、液体と気体(領域③)の間の曲線が蒸気圧曲線、固体と気体の間の曲線が昇華圧曲線を表している。3つの曲線が交わる点は固体・液体・気体が共存する特殊な平衡状態で三重点と呼ばれている。

$1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ において矢印のような変化が起きたとき、A点(融点、0℃)では氷が水に変化する融解が起こり、B点(沸点、100℃)では水が水蒸気に変化する沸騰が起こる。

標準問題

P.13

7 答 (ア)拡散 (イ)熱運動 (ウ)分子間力 (エ)融解 (オ)蒸発 {カ}吸収
(キ)蒸発熱 (ク)凝縮 (ケ)気液平衡 (コ)(飽和)蒸気圧 (サ)大気圧(外圧)
(シ)沸騰 (ス)沸点 {セ}高く (ソ)昇華

解説 物質の三態での状態変化における化学用語はしっかりと理解し、その内容を説明できるようにしておくこと。ドライアイスやナフタレンのような分子結晶では、分子どうしの結合力が弱く、分子が簡単に空間に飛び出す。このように固体が直接気体になる現象を昇華という。以前は気体が直接固体に変化することも同じく昇華と呼んでいたが、現在は両者を区別するため気体→固体を凝華と呼んでいる。

8 答 (1) (ア) > (エ) > (ウ) > (イ)

(2) n の値が大きいほど、分子量が大きくなり、分子間力(ファンデルワールス力)も大きくなるため。

解説 (1) どれも同族の元素の水素化合物なので、分子量の大きなものほどファンデルワールス力が大きくなり沸点も高くなるが、一番軽い H_2O だけが水素結合をしているので、他の分子に比べて沸点が異常に高くなる。このように水素結合の影響を受ける分子は H_2O 以外に、HF や NH_3 がある。
(2) この一般式で表される一連の物質は、単結合のみからなる鎖状炭化水素でアルカンと呼ばれている。分子はすべて無極性なので分子量が大きいほど、つまり n の値が大きいほど分子間力(ファンデルワールス力)が大きくなり沸点は高くなる。アルカンについては有機化合物で学ぶ。

→問題編 p.232 第5編2章 ■1.1

9 答 (1) エ (2) $1.0 \times 10^4 \text{ mm}$ (3) エ

解説 (1) トリチェリーの実験では、ガラス管内に760mmまで入っている水銀が重力によって及ぼす圧力と大気圧とがつり合っていることを意味している。ここで、注意することはガラス管内の水銀の質量とつり合っているのではないこと。もしも質量とつり合っているならば、ガラス管の内径の大きさが異なれば、水銀柱の高さが変わることになってしまう。圧力は単位面積にかかる力で表されるので注意しよう。

価値ある補足

Hgの密度を $13.6 \text{ g/cm}^3 = 1.36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ 、加速度 9.80 m/s^2 とすると、「力=質量×加速度」の関係より、

$$1.36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3 \times 0.76 \text{ m} \times 9.80 \text{ m/s}^2 \div 1.013 \times 10^5 \text{ kg/(s}^2 \cdot \text{m)} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ の単位 $[\text{N/m}^2]$ は、 1 m^2 にかかる力、つまり圧力 $[\text{Pa}]$ を表している。大気圧とつり合うのは、力ではなく圧力である。圧力は単位面積あたりの力なので、水銀柱の直径とは関係ない。

(2) 水の密度は 1.0 g/cm^3 であることから、水柱は水銀柱の13.6倍まで押し上げられるので、
 $760 \times 13.6 = 10336 \div 1.0 \times 10^4 \text{ mm}$

(3) 水銀は表面張力が非常に大きく、その表面は盛り上がった弧を描いた状態になる。

重要問題

P.17

10 答 (1) (ア)気液平衡 (イ)(飽和)蒸気圧 (ウ)蒸気圧曲線
(2) 90℃ (3) ④ (4) ③

解説 丸底フラスコを加熱して内部の水を沸騰させると、フラスコ内部は沸騰している水と 100℃の水蒸気で満たされる。ここでゴム栓をして、水道水をかけて水蒸気を冷やすと、凝縮が起こり内部の圧力が急激に下がる。その温度でフラスコ内部の圧力が飽和蒸気圧より下がると再び沸騰が起こり、圧力が上がる。

再び沸騰が起こった後は、内部の圧力が上昇しその温度での飽和蒸気圧に達する。したがって、フラスコ内部の水の温度を下げてもその温度での飽和蒸気圧が下がり沸騰は起こらない。

我々が生活している $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ では、水は 100℃で沸騰するが、フラスコ内のように低圧になれば、100℃よりも低い温度で沸騰が起こる。また圧力鍋のように大気圧よりも高い圧力下では 100℃より高い温度にならないと沸騰は起こらない。

高い山頂では大気圧が $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ より低い。沸騰は蒸気圧が大気圧と等しくなると起こるので図の蒸気圧曲線上の圧力と温度で水は沸騰する。(2)の山頂の大気圧は $7.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ なので、沸騰する温度は図より 90℃と読み取れる。

11 答 (1) 78℃ (2) 342mmHg (3) 水 (4) ジエチルエーテル
(5) (a) 気体 (b) 液体 (c) 凝縮
(6) 物質 B は液体→気体(蒸発)になり、物質 C は気体→液体(凝縮)になる。

解説 ジエチルエーテルは揮発性の高い液体であり、水やエタノールに比べて沸点が低いので、3つの蒸気圧曲線の中では最も左の A であることがわかる。同様に水とエタノールでは、エタノールの方が沸点は低いので蒸気圧曲線は B である。これらから水の蒸気圧曲線は C である。蒸気圧曲線の線上の点は各圧力における沸点を表している。

(1) エタノールの蒸気圧曲線 B において、沸騰が起こる大気圧 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ($10 \times 10^4 \text{ Pa}$) となる温度は 78℃と読み取れる。

(2) 水の蒸気圧曲線 C の 80℃の蒸気圧は $4.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ と読み取れ、外圧をこの圧力にすれば沸騰が起こる。 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ であるから、 $4.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ は、

$$760 \times \frac{4.5 \times 10^4}{1.0 \times 10^5} = 342 \text{ mmHg} \quad \text{となる。}$$

(3) 20℃での蒸気圧が最も低い水が最も蒸発しにくいといえる。

(4) 同温における蒸気圧が高いということは、蒸発しやすいことを表しており、蒸発しやすいということは蒸発熱が小さいことを表している。ゆえに、同温における蒸気圧が最も高いジエチルエーテルの蒸発熱が最小であるといえる。

(5) T_1 における蒸気の圧力が飽和蒸気圧より高く、理論的な状態を超えた状態である。これは、液体と気体が共存し、その蒸気が過飽和の不安定な状態となっている。いずれ時間が経てば、気体が凝縮して液体になり、蒸気の圧力は飽和蒸気圧まで下がる。

(6) T_2 において、物質 B の蒸気の圧力が点 Q であるということは、B の蒸気圧曲線より下にあり、不飽和な状態である。すなわち、B の蒸気圧曲線と交わる圧力に達するまで圧力は上昇しようとし、液体は蒸発する。また、 T_2 において、物質 C の蒸気の圧力が点 Q であるということは、C の蒸気圧曲線よりも上にあり、過飽和で非常に不安定な状態である。よって、C の蒸気圧曲線と交わる点まで圧力が下がろうとして、気体が凝縮して液体になる。

12 答 (1) 三重点 固体・液体・気体が共存する特殊な平衡状態となっている。

(2) AT：融解曲線、BT：蒸気圧曲線、CT：昇華圧曲線 (3) 臨界点 (4) 昇華
(5) 固体のドライアイスが融解し液体の二酸化炭素になり、さらに沸騰を起こし気体の二酸化炭素に変化する。
(6) 凝縮

解説 二酸化炭素の状態図は水の状態図と異なり、固体と液体を区切る曲線 AT の傾きが正(右上がり)になっている。多くの物質はこのような状態図となるのが普通であるが、水は凝固すると体積が増えてしまうので、水が特殊な物質であるといえる。

(1) (2) (3) 状態図において、3つの曲線が交わる温度と圧力を三重点という。この3つの曲線に囲まれた部分はそれぞれ固体・液体・気体の平衡状態を表している。

固体と液体の間の曲線 AT は融解曲線、液体と気体の間の曲線 BT は蒸気圧曲線、固体と気体の間の曲線 CT は昇華圧曲線を表している。この状態図から、ドライアイスが常温・常圧で昇華することがよくわかる。

B 点を超えると、気体と液体の区別がつかなくなり、いくら圧力を高めても凝縮が起こらなくなる。この点を臨界点といい、このような状態を超臨界状態と呼び、超臨界状態にある物質を超臨界流体という。

(4) 固体→気体の変化である。

(5) 固体→液体→気体の変化である。

(6) 気体→液体の変化である。

価値ある補足 カフェインレスコーヒーの製造

超臨界状態の二酸化炭素 CO_2 (超臨界流体) はカフェインをよく溶かすため、コーヒー豆からカフェインを効率よく抽出することができるのでカフェインレスコーヒーの製造に利用されている。

2章 気体の性質 ◀第1編 物質の状態

確認問題

P.22

13 答 (1) ① $PV = k$ ($P_1V_1 = P_2V_2$) ② $\frac{V}{T} = k$ ($\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$)
③ $\frac{PV}{T} = k$ ($\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$) ④ $PV = nRT$

(2) 圧力 P (Pa), 体積 V (L), 絶対温度 T (K) (3) $M = \frac{dRT}{P}$

(4) $M = 22.4d$ (5) $M_B = M_A d'$ (6) 29

解説 (1) ボイルの法則、シャルルの法則、ボイル・シャルルの法則の関係式で計算問題を解くときには次の式が用いられる。 $P_1V_1 = P_2V_2$, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

(2) 状態方程式の単位に注意。必ず次の単位を用いること!!

圧力 P (Pa), 体積 V (L), 絶対温度 T (K), 物質質量 n (mol) の単位は覚えておくこと。気体定数は $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ である。◀覚え方: 「パスカル, リットル, 温度は絶対。Rは野菜(8.31)参上(10³)」

ボイル・シャルルの法則 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ を用いるときは、絶対温度以外は、左辺と右辺の単位が同じなら何を用いてもよく、単位の指定はない。

(3) モル質量 M (g/mol) の物質 w (g) とすると、 $n = \frac{w}{M}$ (mol), 密度 $d = \frac{w}{V}$ (g/L) なので、

$$PV = nRT \longleftrightarrow PV = \frac{w}{M} RT \longleftrightarrow PM = \frac{w}{V} RT \longleftrightarrow PM = dRT \quad \text{よって、} M = \frac{dRT}{P}$$

覚えておくのは $PV = nRT$ のみ。あとは自分でつくる! 気体の状態方程式を自由に変形させて使いこなせるようにしておくこと。

(4) 気体 1 mol の質量がモル質量(分子量)である。標準状態では気体 1 mol は 22.4 L なので、 $22.4 \times d$ が気体 1 mol の質量すなわち分子量を表すことになる。