

# 11 溶液の性質

## 1 溶解と水和

### ①物質の溶解

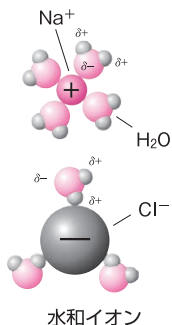
**極性溶媒**(水など)…イオン結晶や極性の大きい分子を溶解。

**無極性溶媒**(ベンゼン, ヘキサンなど)…無極性分子を溶解。

### ②水和 溶質粒子が水分子と結合する現象。

イオン結晶…イオンと水分子が静電的な引力によって水和。

極性分子…アルコールなどは, 水分子と水素結合によって水和。



## 2 溶解度と溶液の濃度

### ①飽和溶液と溶解平衡

(a) **飽和溶液** 一定量の溶媒に溶質が限界まで溶けた溶液。

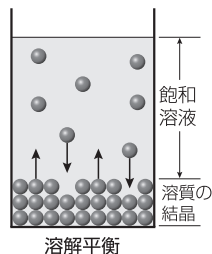
(b) **溶解平衡** 飽和溶液中に溶質の結晶が存在するとき, 単位時間あたりに溶解する粒子の数と析出する粒子の数が等しくなり, 見かけ上, 溶解が停止している状態。

### ②固体の溶解度 溶媒 100 g に最大限まで溶けた溶質の質量 [g] の数値。一般に, 固体の溶解度は温度が高くなるほど大きくなる。

**注** 結晶水を含む物質では, 無水物の質量 [g] の数値で表す。

### ③気体の溶解度 気体の圧力が $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき, 溶媒 1 L に溶ける気体の物質量 [mol] または気体の体積 [mL] で表される。一般に, 温度が高くなるほど小さくなる。

**ヘンリーの法則** 一定温度で, 一定量の溶媒に溶けうる気体の物質量(または質量)はその気体の圧力に比例。混合気体では, 各気体の分圧に比例。



## 3 希薄溶液の性質

### ①蒸気圧降下 溶液の蒸気圧は, 純粋な溶媒の蒸気圧よりも低くなる(蒸気圧降下)。蒸気圧降下度は, 溶液の濃度に比例する。

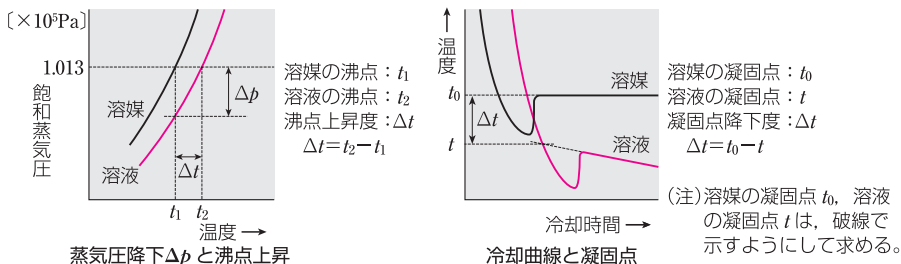
### ②沸点上昇と凝固点降下 溶液では, 溶媒よりも沸騰する温度は上昇し(沸点上昇), 凝固する温度は降下する(凝固点降下)。沸点上昇度または凝固点降下度は溶液の質量モル濃度に比例する。この関係を用いると, 溶質の分子量が求められる。

$$\Delta t = Km = K \times \frac{w/M}{W} \quad M = \frac{Kw}{\Delta t W}$$

[ $\Delta t$ : 沸点上昇度(凝固点降下度) [K],  $K$ : モル沸点上昇(モル凝固点降下) [K·kg/mol],  $m$ : 質量モル濃度 [mol/kg],  $W$ : 溶媒の質量 [kg],  $w$ : 溶質の質量 [g],  $M$ : 溶質の分子量]

**注**  $K$  は溶媒 1 kg に溶質(非電解質) 1 mol が溶けたときの沸点上昇度(凝固点降下度)であり, **モル沸点上昇(モル凝固点降下)** とよばれ, 溶媒に固有の値である。

**質量モル濃度 [mol/kg]** 溶媒 1 kg に含まれる溶質の物質量で表す。



③ **浸透圧** 半透膜を通して、溶媒が溶液中に浸入しようとする現象(浸透)をおさえるために溶液側に加える圧力。浸透圧  $\Pi$  [Pa] は次のようになる(ファンツホッフの法則)。

$$\Pi = cRT = \frac{n}{V}RT$$

$$\Pi V = nRT$$

$c$ : 溶液のモル濃度 [mol/L],  $V$ : 溶液の体積 [L],  
 $n$ : 溶質の物質質量 [mol],  $T$ : 絶対温度 [K],  
 $R$ : 気体定数  $= 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

④ **電解質溶液** 溶質が電解質の場合、電離してイオンを生じ、粒子数が増加するため、同一濃度の非電解質溶液よりも沸点上昇度、凝固点降下度、浸透圧が大きくなる。

## 4 コロイドとコロイド溶液

① **コロイド**  $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{m}$  ( $1 \sim 100 \text{nm}$ ) の大きさの**コロイド粒子**が液体中に分散したものを**コロイド溶液(ゾル)**、ゾルが流動性を失って固体状になったものを**ゲル**という。

**分散媒**…コロイド粒子を分散させている物質      **分散質**…分散しているコロイド粒子

構成粒子による分類と定義		例
分子コロイド	高分子1個がコロイド粒子として分散したもの。	デンプン、タンパク質
分散コロイド	固体などの小さい粒子がコロイド粒子として分散したもの。	硫黄、水酸化鉄(III)
ミセルコロイド	界面活性剤がミセルを形成して分散したもの。	セッケン、合成洗剤

(a) **疎水コロイド** 少量の電解質で沈殿するコロイド溶液。

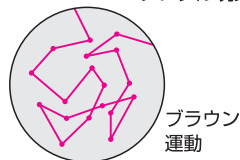
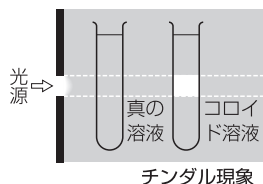
(b) **親水コロイド** 多量の電解質で沈殿するコロイド溶液。

(c) **保護コロイド** 疎水コロイドを安定化させる(保護作用)のために加える親水コロイド。〈例〉墨汁…炭素(疎水コロイド)にニカワ(親水コロイド)を加えたもの

**注** 0.1nm 程度の大きさの粒子を含む溶液を**真の溶液**という。

### ② コロイド溶液の性質

チンダル現象	コロイド粒子が光を散乱させるため、光の通路が明るく見える現象
ブラウン運動	コロイド粒子が分散媒分子に衝突されておこる不規則な運動
透析	半透膜を用いてコロイド溶液を精製する操作
凝析	疎水コロイドが少量の電解質で沈殿する現象
塩析	親水コロイドが多量の電解質で沈殿する現象
電気泳動	直流電圧をかけると陰極または陽極にコロイド粒子が移動する現象



▶ **プロセス** ▶ 次の文中の( )に適切な語句を入れよ。

- 1 水は極性の( ア )い溶媒であり、塩化ナトリウムのような( イ )結晶や、アンモニアのような( ウ )性分子をよく溶かす。一方、ベンゼンやヘキサンは( エ )性溶媒であり、ヨウ素やナフタレンのような無極性分子をよく溶かす。
- 2 溶解度が小さい気体では、一定量の溶媒に溶ける気体の物質量は( オ )に比例する。これを( カ )の法則という。温度が高くなるほど、気体の溶解度は( キ )なる。
- 3 不揮発性の非電解質を含む水溶液の蒸気圧は、水の蒸気圧よりも( ク )なるため、沸点は( ケ )なる。このとき、沸点上昇度は溶液の( コ )濃度に比例する。
- 4 コロイド溶液は真の溶液と異なり、横から強い光をあてると光の通路が明るく見える( サ )現象や、コロイド粒子が不規則な運動をする( シ )運動などを示す。また、コロイド粒子が( ス )膜を通過できないことを利用してコロイド溶液を精製する操作を( セ )という。

▶ **プロセスの解答** ▶

(ア) 大き (イ) イオン (ウ) 極 (エ) 無極 (オ) 圧力 (カ) ヘンリー (キ) 小さく  
 (ク) 小さく (ケ) 高く (コ) 質量モル (サ) チンダル (シ) ブラウン (ス) 半透 (セ) 透析

**基本例題23 固体の溶解度と濃度** →問題 50

水 100 g に対する硝酸カリウム  $\text{KNO}_3$  の溶解度は、 $25^\circ\text{C}$  で 36、 $60^\circ\text{C}$  で 110 である。硝酸カリウム水溶液について、次の各問いに答えよ。

- (1)  $25^\circ\text{C}$  における硝酸カリウムの飽和水溶液の濃度は何%か。
- (2) (1)の水溶液のモル濃度を求めよ。ただし、飽和水溶液の密度を  $1.15 \text{ g/cm}^3$  とする。
- (3)  $60^\circ\text{C}$  の硝酸カリウム飽和水溶液 100 g を  $25^\circ\text{C}$  に冷却すると、結晶が何 g 析出するか。

■ **考え方**

- (1) 飽和溶液では、溶質が溶解度まで溶けている。
- (2) 次式から、質量と密度を用いて体積を求めることができる。  

$$\text{体積}[\text{cm}^3] = \frac{\text{質量}[\text{g}]}{\text{密度}[\text{g/cm}^3]}$$
- (3) 水 100 g を含む飽和水溶液を冷却すれば、溶解度の差に相当する質量の結晶が析出する。

■ **解答**

- (1)  $25^\circ\text{C}$  では、水 100 g に 36 g の  $\text{KNO}_3$  が溶けて飽和するので、質量パーセント濃度は、次のようになる。  

$$\frac{36 \text{ g}}{100 \text{ g} + 36 \text{ g}} \times 100 = 26.4 \quad \mathbf{26\%}$$
- (2) (1)の水溶液の体積は  $\frac{136 \text{ g}}{1.15 \text{ g/cm}^3} = 118.2 \text{ cm}^3 = 118.2 \times 10^{-3} \text{ L}$ 、 $\text{KNO}_3$  ( $=101 \text{ g/mol}$ ) の物質量は  $36/101 \text{ mol}$  なので、そのモル濃度は、  

$$\frac{36/101 \text{ mol}}{118.2 \times 10^{-3} \text{ L}} = 3.01 \text{ mol/L} = \mathbf{3.0 \text{ mol/L}}$$
- (3) 水 100 g を含む  $60^\circ\text{C}$  の飽和水溶液は  $100 \text{ g} + 110 \text{ g} = 210 \text{ g}$  なので、この水溶液を  $25^\circ\text{C}$  に冷却すると、溶解度の差に相当する質量  $110 \text{ g} - 36 \text{ g} = 74 \text{ g}$  の結晶が析出する。したがって、飽和水溶液 100 g では、 $74 \text{ g} \times 100/210 = \mathbf{35 \text{ g}}$  となる。

## 基本例題24 気体の溶解度

→問題 238・239

水素は、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で、1 L の水に 22 mL 溶ける。次の各問いに答えよ。

- $0^{\circ}\text{C}$ 、 $5.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で、1 L の水に溶ける水素は何 mol か。
- $0^{\circ}\text{C}$ 、 $5.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で、1 L の水に溶ける水素の体積は、その圧力下で何 mL か。
- 水素と酸素が 1 : 3 の物質量の比で混合された気体を 1 L の水に接触させて、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^6 \text{ Pa}$  に保ったとき、水素は何 mol 溶けるか。

## ■ 考え方

ヘンリーの法則を用いる。

- $0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  における溶解度を物質量に換算する。

溶解度は圧力に比例する。

- 気体の状態方程式を用いる。

別解 溶解する気体の体積は、そのときの圧力下では、圧力が変わっても一定である。

- 混合気体の場合、気体の溶解度は各気体の分圧に比例する。

## ■ 解答

- $0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で溶ける水素の物質量は、

$$\frac{2.2 \times 10^{-2} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 9.82 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

気体の溶解度は圧力に比例するので、 $5.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  では、

$$9.82 \times 10^{-4} \text{ mol} \times \frac{5.0 \times 10^5}{1.0 \times 10^5} = 4.91 \times 10^{-3} \text{ mol} = 4.9 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- 気体の状態方程式  $PV = nRT$  から  $V$  を求める。

$$V = \frac{4.91 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \times 273 \text{ K}}{5.0 \times 10^5 \text{ Pa}} \\ = 2.2 \times 10^{-2} \text{ L} = 22 \text{ mL}$$

別解 圧力が 5 倍になると、溶ける気体の物質量も 5 倍になる。しかし、この圧力下で溶ける気体の体積は、ボイルの法則から 1/5 になるので、結局、同じ体積 22 mL になる。

- 水素の分圧は  $1.0 \times 10^6 \text{ Pa} \times 1/4 = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  なので、溶ける水素の物質量は、

$$9.82 \times 10^{-4} \text{ mol} \times (2.5 \times 10^5 / 1.0 \times 10^5) = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

## 基本例題25 希薄溶液の性質

→問題 241~244

次の各問いに答えよ。ただし、水のモル凝固点降下を  $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$  とする。

- 2.4 g の尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  を水 100 g に溶かした水溶液の凝固点は何  $^{\circ}\text{C}$  か。
- 1.8 g のグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  を水に溶かして 100 mL にした水溶液の浸透圧は、 $27^{\circ}\text{C}$  で何 Pa か。

## ■ 考え方

- $\Delta t = Km$  から凝固点降下度を求める。

- グルコースの物質量を  $n$  [mol]、溶液の体積を  $V$  [L]、絶対温度を  $T$  [K] とすると、ファンツホッフの法則  $\Pi V = nRT$  が成り立つ。

## ■ 解答

- 尿素(分子量60)は  $(2.4/60)$  mol、溶媒の水は 100 g = 0.100 kg なので、凝固点降下度は、

$$\Delta t = 1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol} \times \frac{(2.4/60) \text{ mol}}{0.100 \text{ kg}} = 0.74 \text{ K}$$

したがって、凝固点は  $0^{\circ}\text{C} - 0.74^{\circ}\text{C} = -0.74^{\circ}\text{C}$  となる。

- グルコース(分子量180)は  $(1.8/180)$  mol、水溶液の体積は 0.100 L なので、 $\Pi = (n/V)RT$  から、

$$\Pi = \frac{(1.8/180) \text{ mol}}{0.100 \text{ L}} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K} = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$



## | 基 | 本 | 問 | 題 |

**知識**

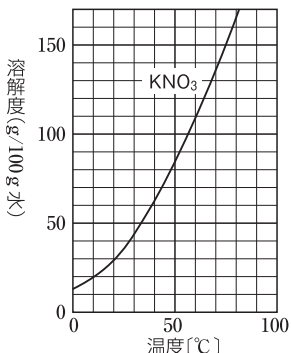
**236. 溶解性** ● 次の記述(1)~(3)に該当する物質を、下の(ア)~(オ)からすべて選べ。

- (1) 水にはよく溶けるが、ヘキサンには溶けにくい。
  - (2) ヘキサンにはよく溶けるが、水には溶けにくい。
  - (3) 水にもヘキサンにもよく溶ける。
- (ア) 塩化ナトリウム NaCl    (イ) エタノール  $C_2H_5OH$     (ウ) ヨウ素  $I_2$   
 (エ) ナフタレン  $C_{10}H_8$     (オ) スクロース  $C_{12}H_{22}O_{11}$

**思考** **グラフ**

**237. 溶解度曲線と溶解度** ● 図は硝酸カリウム  $KNO_3$  の溶解度曲線である。次の各問いに答えよ。

- (1) 20℃の硝酸カリウムの飽和溶液の濃度は何%か。
- (2) 20℃の硝酸カリウムの飽和溶液 200g から水を完全に蒸発させると、何gの結晶が得られるか。
- (3) 60℃の硝酸カリウムの飽和溶液 100g を20℃に冷却すると、何gの結晶が得られるか。
- (4) 60℃の硝酸カリウムの飽和溶液 200g から水 50g を蒸発させたのち、20℃まで冷却すると、何gの結晶が得られるか。



**知識**

**238. 気体の溶解度** ● 次の文中の( )に適する語句または数値を記入せよ。

水に溶けにくい気体は一般に(ア)の法則にしたがって水に溶ける。0℃で、圧力が  $1.0 \times 10^5 Pa$  の窒素は水 1 mL に 0.024 mL 溶ける。したがって、窒素は、0℃、 $1.0 \times 10^5 Pa$  において 5.0 L の水に(イ) L 溶け、このとき溶けた窒素の物質量は、(ウ) mol となる。0℃で窒素の圧力を  $3.0 \times 10^5 Pa$  にすると、5.0 L の水に(エ) g 溶け、その体積は 0℃、 $3.0 \times 10^5 Pa$  のもとで(オ) L を占める。

**思考**

**239. 気体の溶解度** ●  $1.0 \times 10^5 Pa$  において、酸素、窒素は 0℃の水 1 L にそれぞれ 49 mL、24 mL 溶ける。空気における酸素と窒素の体積比を 1:4 として、次の各問いに答えよ。

- (1) 0℃で、 $1.0 \times 10^5 Pa$  の酸素に接している水 1 L に溶ける酸素の質量は何gか。
- (2) 0℃、 $1.0 \times 10^5 Pa$  のもとの、1 L の水に空気を接触させておいたとき、溶けこむ窒素の質量は何gか。
- (3) 0℃、 $1.0 \times 10^5 Pa$  のもとの、1 L の水に空気を接触させておいたとき、溶けている酸素の体積を 0℃、 $1.0 \times 10^5 Pa$  に換算して表すと、何 mL になるか。
- (4) 水に溶存している気体を追い出すのに、最も効果的な方法を次のうちから選べ。  
 (ア) かくはんする    (イ) 冷却する    (ウ) 冷却して圧力を上げる  
 (エ) 加熱して圧力を下げる    (オ) 加熱して圧力を上げる

知識

240. 沸点上昇 ● 次の各問いに答えよ。ただし、水のモル沸点上昇を  $0.52\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$ 、二硫化炭素のモル沸点上昇を  $2.3\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  とする。

- (1) 水  $500\text{g}$  に  $30\text{g}$  のグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  を溶かした水溶液の沸点は何 $^{\circ}\text{C}$ になるか。
- (2) 硫黄の結晶  $0.32\text{g}$  を二硫化炭素  $25\text{g}$  に溶かした溶液の沸点は、純粋な二硫化炭素よりも  $0.115^{\circ}\text{C}$  高かった。硫黄の分子量はいくらか。

思考

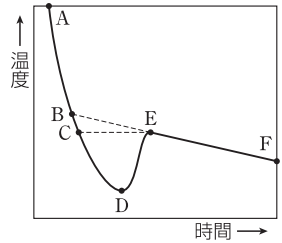
241. 凝固点降下 ● 電解質は完全に電離しているものとして、次の各問いに答えよ。

- (1)  $2.56\text{g}$  のナフタレン  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  をベンゼン  $100\text{g}$  に溶かした溶液の凝固点は何 $^{\circ}\text{C}$ か。ただし、ベンゼンの凝固点を  $5.5^{\circ}\text{C}$ 、モル凝固点降下を  $5.0\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  とする。
- (2)  $3.0\text{g}$  の尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  を水  $500\text{g}$  に溶かした水溶液の凝固点は  $-0.18^{\circ}\text{C}$  であった。ある非電解質  $2.7\text{g}$  を水  $100\text{g}$  に溶かした水溶液の凝固点が  $-0.27^{\circ}\text{C}$  であったとき、この非電解質の分子量はいくらになるか。
- (3) ある非電解質  $36\text{g}$  を水  $1.0\text{kg}$  に溶かした溶液の凝固点を測定すると、質量モル濃度  $0.10\text{mol}/\text{kg}$  の塩化ナトリウム水溶液の凝固点と一致した。この非電解質の分子量を求めよ。

思考 論述 グラフ

242. 冷却曲線 ● 図はスクロース  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  の希薄水溶液を冷却していく場合の、冷却時間と温度の関係を示した冷却曲線である。次の各問いに答えよ。

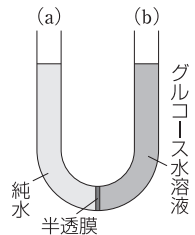
- (1) 凝固点は、図中の A ~ F のどの点の温度か。
- (2) D から E で急激に温度が上昇するのはなぜか。
- (3) 図中の直線 EF が右下がりになる理由を記せ。
- (4) 水  $200\text{g}$  にスクロース  $4.00\text{g}$  を溶かした水溶液の凝固点は何 $^{\circ}\text{C}$ か。ただし、水のモル凝固点降下を  $1.85\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  とする。



知識

243. 浸透圧 ● 図のように、U字管の中央を半透膜で仕切り、(a)には純粋な水(純水)を、(b)にはグルコース水溶液を、同時に両方の液面が同じ高さになるように入れ、 $27^{\circ}\text{C}$  に保って放置した。

- (1) (a), (b) いずれの液面が上昇するか。
- (2) このグルコース水溶液は、 $1.2\text{g}$  のグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  を水に溶かして  $200\text{mL}$  にしたものである。この水溶液の液面を上昇させないために加える圧力(浸透圧)は何 Pa か。



知識

244. 浸透圧と分子量の測定 ● あるタンパク質  $0.059\text{g}$  を溶かした水溶液  $10\text{mL}$  がある。この水溶液の浸透圧は、 $27^{\circ}\text{C}$  で  $2.1 \times 10^2\text{Pa}$  であった。このタンパク質の分子量を求めよ。



知識

245. 電解質水溶液の性質 ● 次の(ア)～(エ)の物質をそれぞれ溶かした0.10 mol/L水溶液について、下の各問いに答えよ。ただし、電解質は完全に電離しているものとする。

(ア) 尿素 (イ) 塩化ナトリウム (ウ) 塩化カルシウム (エ) 硫酸アルミニウム

- (1) 水溶液の蒸気圧が最も低いものはどれか。記号で示せ。
- (2) 水溶液の浸透圧が2番目に高いものはどれか。記号で示せ。

思考

246. 希薄溶液の性質 ● 次の記述のうちから、誤りを含むものを1つ選べ。

- (ア) 水1 kgにグルコース0.1 molを溶かした溶液の沸点は、水1 kgに水酸化ナトリウム0.05 molを溶かした溶液の沸点とほぼ等しい。
- (イ) 水1 kgにグルコース0.1 molを溶かした溶液の凝固点は、水1 kgにグルコース0.2 molを溶かした溶液の凝固点よりも高い。
- (ウ) 赤血球を純水に入れると、細胞膜が半透膜として働き、水分を失って縮む。
- (エ) 漬物をつくるとき、野菜に食塩をふりかけておくと、野菜から水分が出る。

知識

247. コロイド溶液の性質 ● 次の記述に該当する現象や操作名を、下の①～⑤から選べ。

- (1) デンプン水溶液に強い光をあてると、光の通路が輝いて見える。
  - (2) 水酸化鉄(III)のコロイド溶液に直流電圧をかけると、コロイド粒子が陰極側に移動する。
  - (3) 限外顕微鏡で観察すると、コロイド粒子は不規則な運動をしている。
  - (4) 豆乳やゼラチン溶液に、多量の電解質を加えると、沈殿が生じる。
  - (5) 硫黄のコロイド溶液に、少量の電解質を加えると、沈殿が生じる。
- ① 塩析    ② 凝析    ③ チンダル現象    ④ ブラウン運動    ⑤ 電気泳動

知識

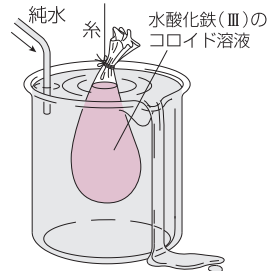
248. コロイド溶液 ● 次の文を読み、下の各問いに答えよ。

塩化鉄(III)水溶液を沸騰水中に入れると、水酸化鉄(III)のコロイド溶液を生じる。この溶液をセロハン袋に入れ、蒸留水中に浸しておくと同よりも純度の高い溶液が得られる。この操作を(ア)という。このとき、セロハン袋の外の水溶液は(イ)性を示す。操作後のコロイド溶液の一部をとり、少量の電解質水溶液を加えて放置すると沈殿が生じる。この現象を(ウ)といい、水酸化鉄(III)のコロイドは(エ)コロイドといえる。

水酸化鉄(III)のコロイド溶液に直流電圧をかけると、コロイド粒子が陰極側に移動するので、このコロイドは(オ)に帯電していることがわかる。

- (1) 文中の( )に適語を入れよ。
- (2) 下線部について、同じモル濃度の次の電解質水溶液のうち、最も少量で沈殿を生じさせるものを選べ。

- ① NaCl                      ②  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- ③  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$             ④  $\text{CaCl}_2$



## 発展例題17 結晶の析出

→問題 249

硫酸銅(Ⅱ)  $\text{CuSO}_4$  の  $33^\circ\text{C}$  における飽和水溶液  $100\text{g}$  を  $2^\circ\text{C}$  まで冷却すると、何  $\text{g}$  の結晶が析出するか。ただし、硫酸銅(Ⅱ)の水に対する溶解度は、 $33^\circ\text{C}$  で  $25$ 、 $2^\circ\text{C}$  で  $15$  であり、析出する結晶は  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  である。

## 考え方

飽和水溶液を冷却すると結晶が析出する。この結晶中には結晶水(水和水)が含まれるが、**結晶水は溶媒の一部が取りこまれたものである**。このため、溶媒の質量が減少する。

結晶の析出した上澄み液は、その温度において飽和溶液になっている。

## 解答

$33^\circ\text{C}$  の飽和水溶液  $100\text{g}$  中に含まれる  $\text{CuSO}_4$  の質量は、

$$100\text{g} \times \frac{25}{100+25} = 20\text{g}$$

一方、析出する結晶の質量を  $x[\text{g}]$  とすると、この結晶に含まれる  $\text{CuSO}_4$  の質量は、

$$x \times \frac{\text{CuSO}_4 \text{ の式量}}{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ の式量}} = x[\text{g}] \times \frac{160}{250} = 0.640x[\text{g}]$$

$2^\circ\text{C}$  における上澄み液が飽和水溶液となっているので、

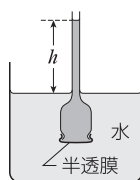
$$\frac{\text{溶質}[\text{g}]}{\text{飽和水溶液}[\text{g}]} = \frac{20\text{g} - 0.640x[\text{g}]}{100\text{g} - x[\text{g}]} = \frac{15\text{g}}{100\text{g} + 15\text{g}} \quad x = 14\text{g}$$

## 発展例題18 浸透圧

→問題 254・255

$3.6\text{mg}$  のグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  を含む水溶液  $100\text{mL}$  の浸透圧を、図のような装置を用い、 $30^\circ\text{C}$  で測定した。水溶液および水銀の密度をそれぞれ  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $13.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.0 \times 10^5\text{Pa} = 760\text{mmHg}$  として、次の各問に答えよ。ただし、水溶液の濃度変化はないものとする。

- (1) 水溶液の浸透圧は何  $\text{Pa}$  か。
- (2) 液柱の高さ  $h$  は何  $\text{cm}$  か。



## 考え方

- (1) ファントホッフの法則  $\Pi V = nRT$  を利用する。
- (2) 単位面積あたりの液柱の質量と水銀柱の質量が等しい。このとき、単位面積あたりの質量は次の関係式から求められる。  
質量  $[\text{g}/\text{cm}^2] =$   
密度  $[\text{g}/\text{cm}^3] \times$  高さ  $[\text{cm}]$

## 解答

- (1)  $\Pi V = nRT$  に各値を代入する。 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 180$  から、

$$\Pi[\text{Pa}] \times 0.100\text{L} = \frac{3.6 \times 10^{-3}}{180} \text{mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 303\text{K}$$

$$\Pi = 5.02 \times 10^2 \text{Pa} = \mathbf{5.0 \times 10^2 \text{Pa}}$$

- (2)  $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$  は  $760\text{mmHg}$  に相当し、水銀柱で  $76.0\text{cm}$  である。 $76.0\text{cm}$  の水銀柱の単位面積あたりの質量は、 $13.5\text{g}/\text{cm}^3 \times 76.0\text{cm} = 1026\text{g}/\text{cm}^2$  となる。  
一方、高さ  $h[\text{cm}]$  の液柱の単位面積あたりの質量は、 $1.0\text{g}/\text{cm}^3 \times h[\text{cm}]$  であり、その圧力が  $5.02 \times 10^2 \text{Pa}$  なので、次の比例式が成り立つ。

$$1.0\text{g}/\text{cm}^3 \times h[\text{cm}] : 5.02 \times 10^2 \text{Pa} = 1026\text{g}/\text{cm}^2 : 1.0 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$h = \mathbf{5.2\text{cm}}$$





## 発展問題

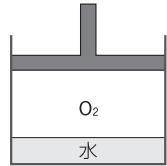
**思考**

**249. 硫酸銅(Ⅱ)の溶解度** ■ 20℃および60℃における硫酸銅(Ⅱ)無水塩  $\text{CuSO}_4$  の溶解度を、それぞれ20と40として、次の各問いに答えよ。

- (1) 60℃で水 100g に硫酸銅(Ⅱ)五水和物  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を 30g 溶解させた。この溶液の質量パーセント濃度は何%か。
- (2) 60℃で  $\text{CuSO}_4$  飽和水溶液 100g をつくるには、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  は何g 必要か。
- (3) 60℃の  $\text{CuSO}_4$  飽和水溶液 100g を20℃まで冷却すると、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  の結晶が何g 析出するか。 (21 大阪府立大 改)

**思考**

**250. 気体の溶解度** ■ 図のような容器に水 1.00L と酸素  $\text{O}_2$  を入れ、容器内を 0℃、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  に保ってしばらく放置すると、水に溶けていない酸素の体積は 3.00L になった。次に、容器内の温度を 0℃、圧力を  $3.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  に保ってしばらく放置した。ただし、0℃、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  で、水 1.00L に酸素は 49.0mL 溶けるものとする。



- (1) 下線部の状態で水 1.00L に溶けている酸素の体積は、0℃、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  で何 mL か。また、0℃、 $3.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  では何 mL の体積となるか。
- (2) 下線部の状態の容器内の水に溶けていない酸素の体積は、0℃、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  で何 L か。また、0℃、 $3.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  では何 L の体積となるか。 (20 東京薬科大)

**思考**

**251. 気体の溶解度** ■ 0℃、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  (標準状態とする)において、水 1L に窒素は 24mL 溶け、酸素は 48mL 溶ける。次の実験について、下の各問いに答えよ。

実験A：ある一定比の窒素と酸素からなる混合気体 X を、標準状態で水 1L と接触させた。このとき溶けた窒素を標準状態における体積に換算すると、18mL であった。

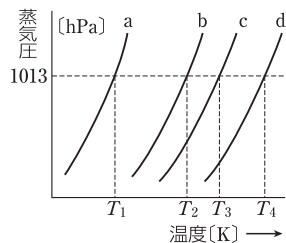
実験B：0℃、 $3.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  で混合気体 X を水 1L と接触させた。

- (1) 実験Aで溶けている窒素は何 mol か。また、窒素の分圧は何 Pa か。
- (2) 実験Aで溶けている酸素の体積を標準状態に換算して表すと、何 mL になるか。
- (3) 実験Bでは、水 1L に窒素が何 mg 溶けているか。 (兵庫医療大 改)

**思考** **グラフ**

**252. 水溶液の蒸気圧** ■ 次の文中の( )に適切な語句、数値を入れよ。

図は、1.00kg の水に 14.40g のグルコース(分子量180)、6.00g の尿素(分子量 60.0)、20.52g のスクロース(分子量 342)を溶かした水溶液と純水の蒸気圧曲線を示す。1013hPa で、温度  $T_2$  は(ア)の沸点である。 $T_1$  と  $T_4$  の差が 0.052K のとき、水のモル沸点上昇は(イ)  $\text{K} \cdot \text{kg}/\text{mol}$  で、 $T_3$  は  $T_1$  よりも(ウ) K 高い。電離度 0.800 の 1 価のイオンからなる電解質の水溶液の沸点上昇度は、同じ質量モル濃度の尿素水溶液の(エ)倍である。 (近畿大 改)

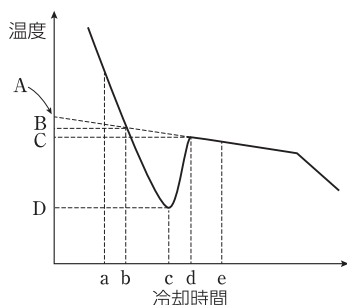


## 思考

253. 凝固点降下 ■ ビーカーに 100g の水を入れ、非電解質 X を 6.85g 溶かしたのち、かき混ぜながらゆっくり冷却した。この水溶液の温度変化を示す冷却曲線は図のようになった。次の各問いに答えよ。

- (1) 液体を冷却していくと凝固点になってもすぐには凝固しない。この現象を何というか。
- (2) この水溶液の凝固点は図中の温度 A ~ D のうち、どの温度か。
- (3) 図中の冷却時間 a ~ e のうち、水溶液が最も高い濃度を示すのはどの時点か。
- (4) この水溶液の凝固点を測定したところ、 $-0.370^{\circ}\text{C}$  であった。非電解質 X の分子量を整数値で求めよ。ただし、水のモル凝固点降下を  $1.85\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  とする。
- (5) 水 100g に塩化ナトリウム NaCl を 1.17g 溶かした水溶液の凝固点は  $-0.666^{\circ}\text{C}$  であった。水溶液中の塩化ナトリウムの電離度を有効数字 2 桁まで求めよ。
- (6) 酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  をベンゼン  $\text{C}_6\text{H}_6$  に溶かすと、酢酸の一部は、2 分子間で水素結合を形成し二量体となる。このとき、二量体を形成した酢酸の割合を会合度という。いま、100g のベンゼンに酢酸を 1.2g 溶かした溶液の凝固点は  $4.93^{\circ}\text{C}$  であった。ベンゼン中の酢酸の会合度を有効数字 2 桁まで求めよ。ただし、ベンゼンの凝固点は  $5.53^{\circ}\text{C}$ 、モル凝固点降下は  $5.12\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  とする。

(20 北海道大 改)



## 思考

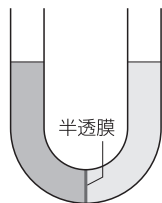
254. 浸透圧 ■  $37^{\circ}\text{C}$  におけるヒトの血液の浸透圧を  $7.4 \times 10^5 \text{Pa}$  とし、各問いに答えよ。

- (1)  $37^{\circ}\text{C}$  で、ヒトの血液と同じ浸透圧を示すグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  水溶液を 1.0L つくるには、グルコースは何 g 必要か。
- (2) 塩化ナトリウム 9.0g を水に溶かして 1.0L にした溶液は、 $37^{\circ}\text{C}$  でヒトの血液と同じ浸透圧を示す。このとき、塩化ナトリウムは何% 電離していることになるか。

(08 兵庫医科大 改)

## 思考

255. 浸透圧 ■ 図のような断面積  $1.0\text{cm}^2$  の U 字管の中央に水分子だけを通す半透膜をおき、左側に 1.34g のデンプンを含む水溶液 10.0mL、右側に液面の高さと同じになるように純水を入れた。温度  $300\text{K}$  で十分な時間放置したところ、液面の高さの差が 6.8cm になった。大気圧は  $1.00 \times 10^5 \text{Pa}$ 、デンプン水溶液の密度は常に  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  とする。



- (1) 液面が上昇するのは、U 字管の左右どちら側か。
- (2)十分に時間が経過したのちのデンプン水溶液の浸透圧は何 Pa か。ただし、 $1.00 \times 10^5 \text{Pa}$  は 76.0cm の水銀柱による圧力と等しく、水銀の密度は  $13.5\text{g}/\text{cm}^3$  である。
- (3)十分に時間が経過したのちの、デンプン水溶液の体積は何 mL か。
- (4)このデンプンのモル質量は、何  $\text{g}/\text{mol}$  になるか。
- (5)溶液の温度を高くすると、左右どちらの液面が上昇するか。

(佐賀大 改)