

定義

溶質 W [g]

分子量 M

(あるいはモル質量 M [g mol⁻¹])



質量モル濃度 m [mol kg⁻¹]

$$m = \frac{\frac{W}{M}}{X}$$

[mol kg⁻¹]

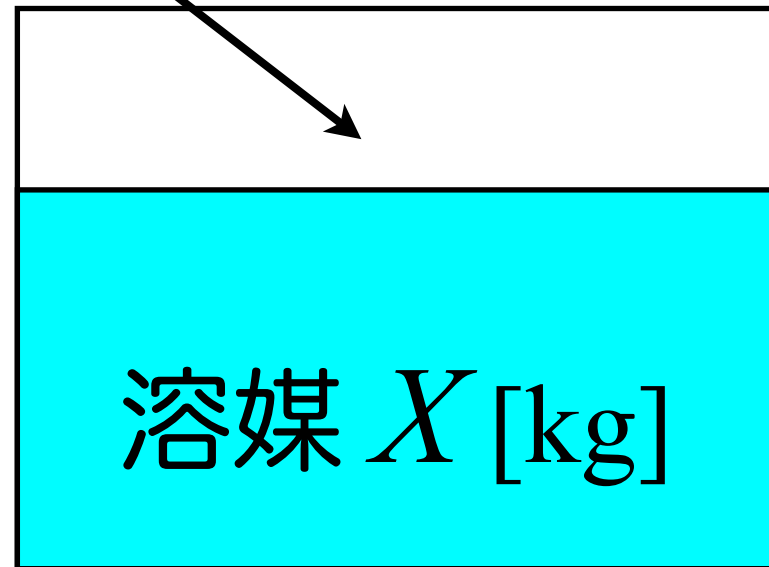
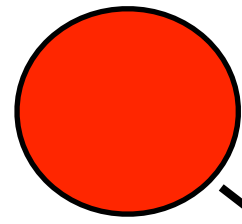
[g] [g mol⁻¹]
[kg]



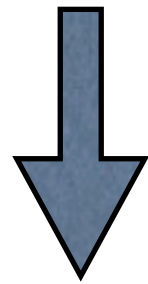
問題0 溶液を濃くする

溶質 W [g]

モル質量 M [g mol⁻¹])



溶媒 X [kg]



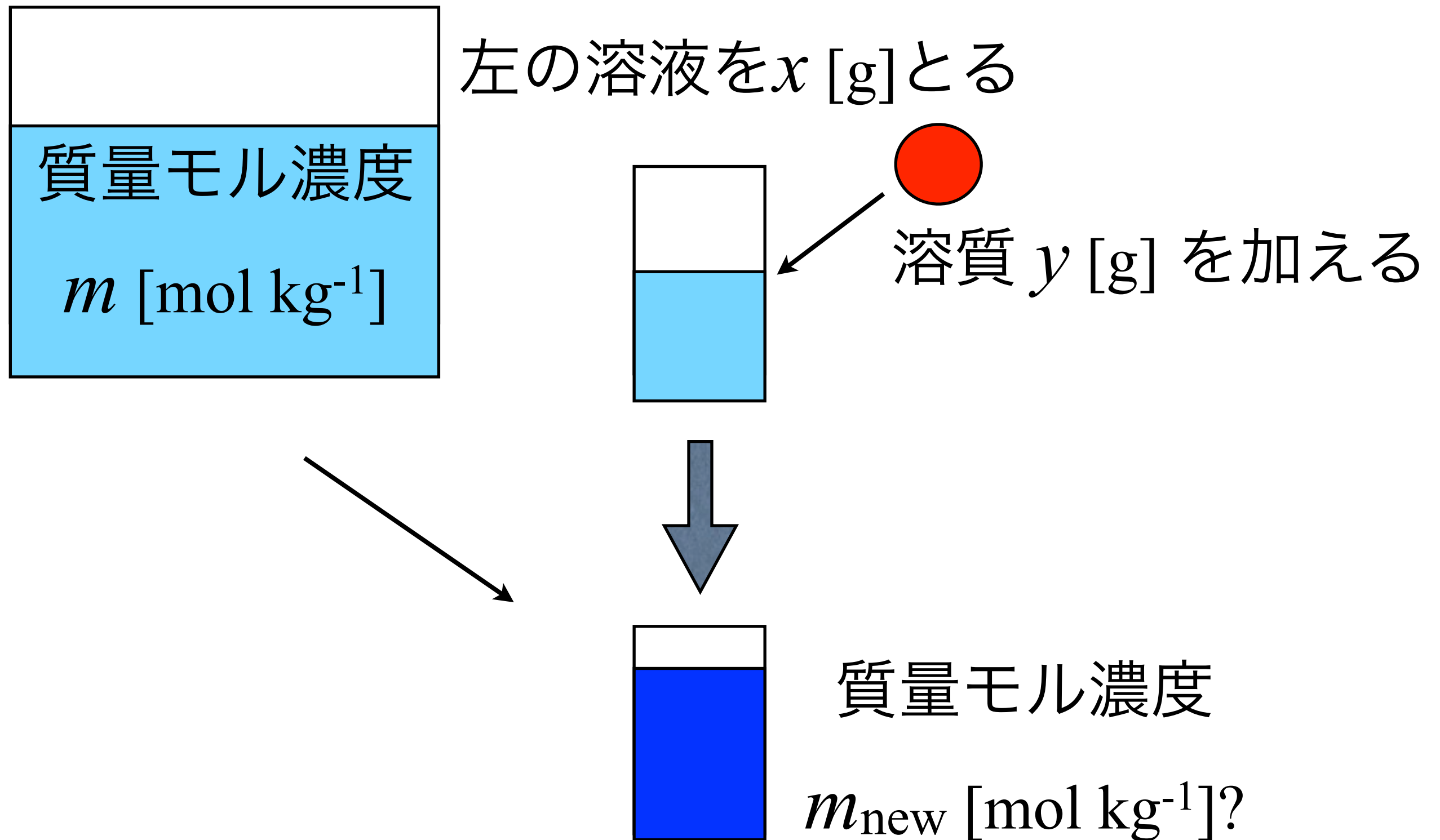
質量モル濃度 m [mol kg⁻¹] $m = \frac{W/M}{X}$



溶液

この溶液を質量モル濃度 m_1 ($>m$) にするために溶質 W_1 [g] を加えた。 W_1 は何グラム？

問題1 溶液を濃くする

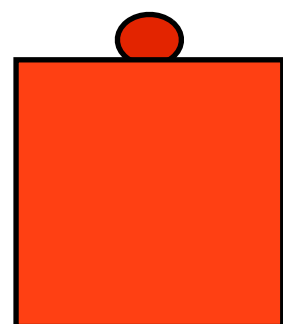


をつくるにはどうしたらいい? y/x で表すこと

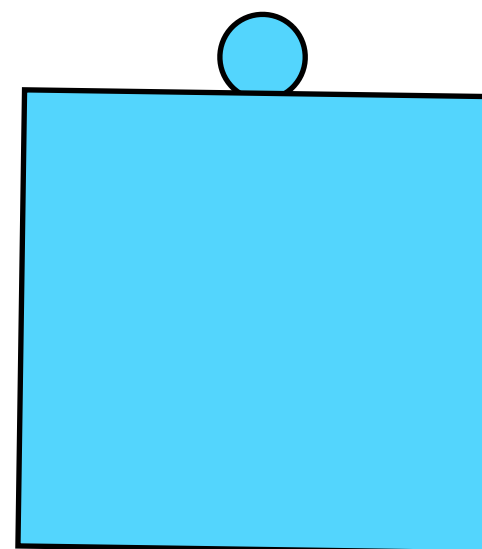
問1 ヒント



以下のようにまず分解せよ！

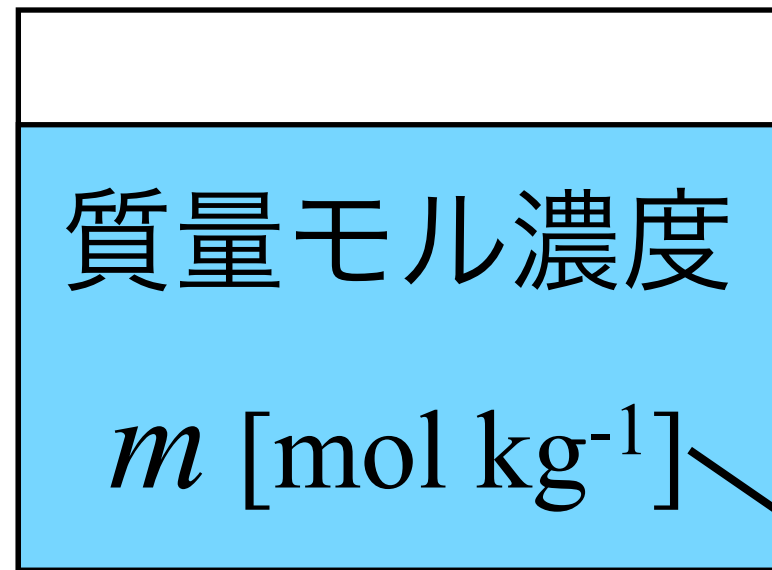


溶質 w_1 [g]

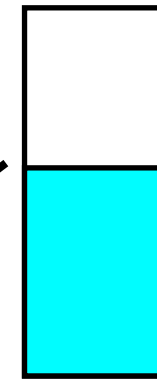


溶媒 w_2 [g]

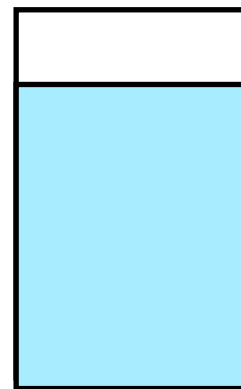
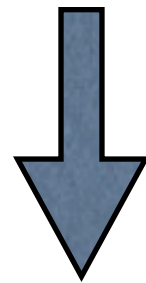
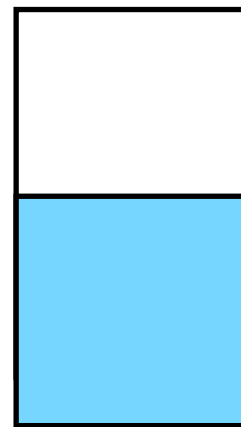
問題2 溶液を希釈する (実際に実験でよく使います)



左の溶液を x [g] とる



溶媒 y [g] を加える
(溶質ではなく)



質量モル濃度

m_{new} [mol kg⁻¹] ?

をつくるにはどうしたらいい? y/x で表すこと

問題 3

モル濃度 C [mol dm^{-3}] と質量モル濃度 m [mol kg^{-1}]
の変換

溶質のモル数 n [mol]

($n = w$ [g] / M [g mol^{-1}])

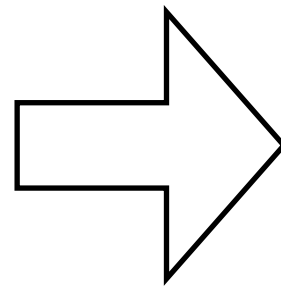
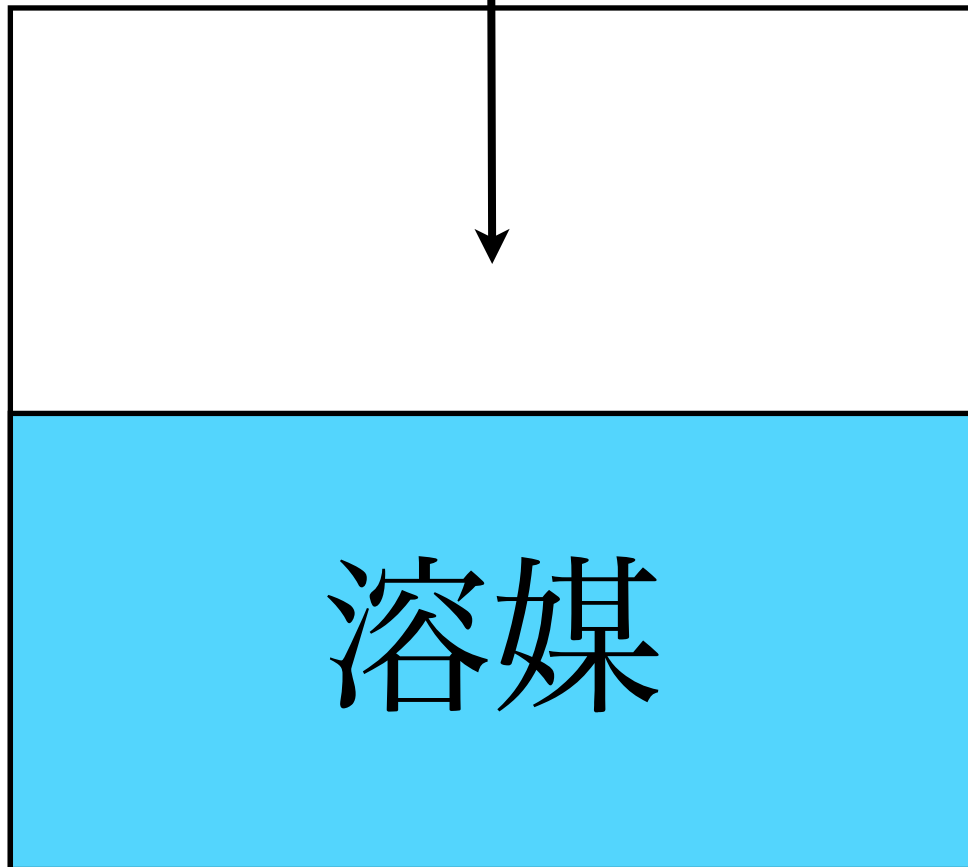
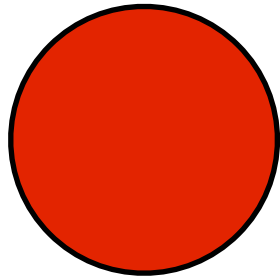
溶液 V [dm^{-3}]

溶液の密度 ρ [g cm^{-3}]

溶媒の質量 W [kg]

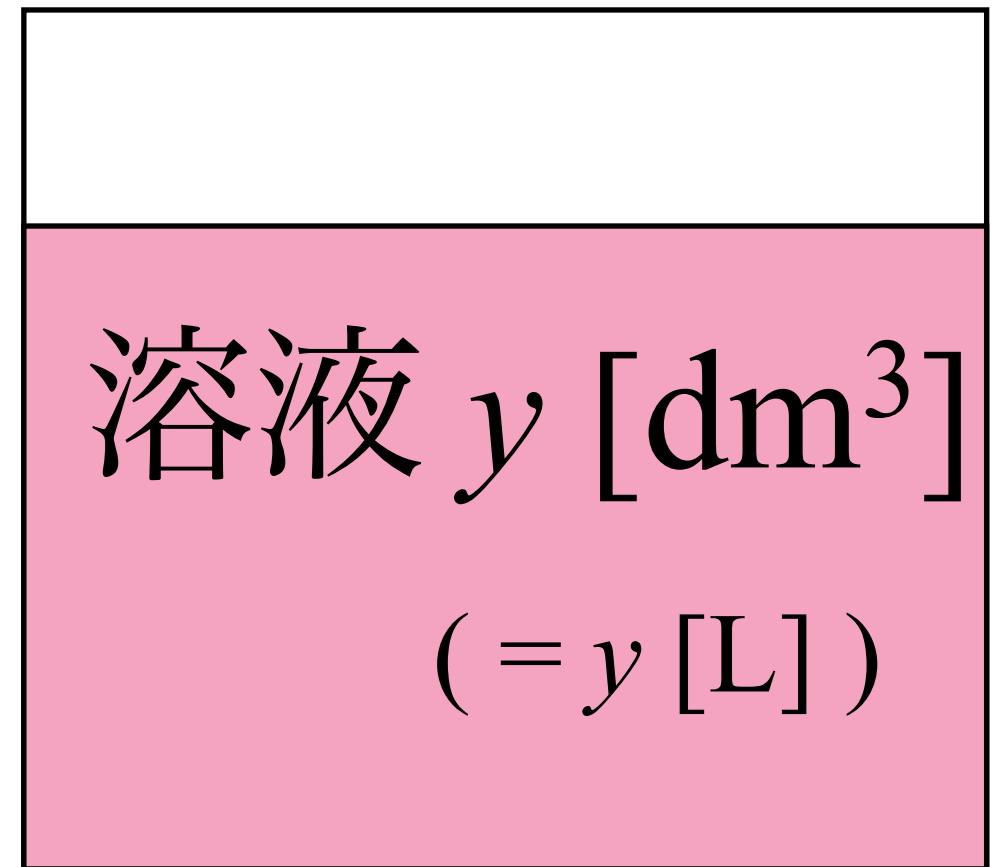
$C = f(m)$, $m = g(C)$ の形で示せ。

溶質 x [mol]



容量モル濃度

$$c = \frac{x}{y} \text{ [mol dm}^{-3}\text{]}$$



容量モル濃度定義

問題 4

質量分率 37 w/w % の塩酸の密度は 1.19 g cm^{-3} である。この塩酸の質量モル濃度，容量モル濃度を求めよ。塩酸は揮発するので，正確な濃度は別途中和滴定で決定する必要がある。塩酸の質量分率は， $100 \times$ 溶液中の塩酸の質量 / 溶液の質量 で定義される。塩酸 HCl のモル質量は $36.46094 \text{ g mol}^{-1}$ である。

ブログにも書いたが，この問題は授業で何回説明しても正答率が 100 % にならない。京大工 3 回生でも 80% である！！

問題 5

モル濃度 $C \text{ mol dm}^{-3}$ の溶液を正確に 1/100 に希釈する方法を具体的に器具名を記して述べよ。

問題 6

モル濃度 $1 \mu\text{mol dm}^{-3}$ の NaCl 水溶液を 1 dm^{-3} 作る方法を具体的に示せ。Na および Cl の原子量は, 22.99, 35.45 であるとする。

問題 7

質量モル濃度 $1 \mu\text{mol kg}^{-1}$ の NaCl 水溶液を 100 g 作る方法を具体的に示せ。これも実際の実験で使う。

イオン強度

問題 8 モル濃度 c_i [mol dm⁻³] でのイオン強度 I_c は,

$$I_c = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i$$

と表されその単位は [mol dm⁻³] である。ここで z_i はイオン i の価数である。デバイの遮蔽長の逆数の 2 乗である κ^2 は以下のように与えられる。 κ^2 を I_c をつかってあらわせ。

$$\kappa^2 = \frac{2e^2}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 n_{i,0}, \quad n_{i,0} = \frac{N_{i,0}}{V [\text{m}^3]}$$

ここで, e 電気素量, ϵ_0 は真空の誘電率, ϵ_r は溶液の誘電率, k_B はボルツマン定数, T は絶対温度, $N_{i,0}$ は ion i の数, V は体積である。

問題 9

κ^2 は長さの二乗の逆数の単位[m⁻²]をもつことを示せ。

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F m}(= \text{C V}^{-1} \text{ m})$$

$$\epsilon_r = 78.4 \text{ [dimensionless (water)]}$$

$$k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$$T : \text{temperature [K]}$$

$$z_i : \text{valency [dimensionless]}$$

$$n_{i,0} : \text{number density [m}^{-3}\text{]}$$

問題 10 質量モル濃度 m_i [mol kg⁻¹] でのイオン強度 I_m は,

$$I_m = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 m_i$$

と表されその単位は [mol kg⁻¹] である。

質量モル濃度 m_i をモル濃度 c_i で表し, I_m をモル濃度 c_i で示せ。

希薄溶液の時, I_m と I_c の関係を示せ。また, κ^2 を I_m をつかってあらわせ。必要があれば, 溶液の密度 ρ [g cm⁻³] および溶質のモル質量 M [g mol⁻¹] をつかえ。

解答

問題 0

解答

$$m_1 = \frac{(W + W_1)}{M} \frac{1}{X}$$

$$W + W_1 = m_1 M X$$

$$W_1 = m_1 M X - W$$

別解

$$m_1 = \frac{(W + W_1)}{M} \frac{1}{X} = \frac{W}{M X} + \frac{W_1}{M X} = m + \frac{W_1}{M X}$$

$$W_1 = (m_1 - m) M X$$

このようにして濃くする場合は、
適当な溶質を加えていけばよい

質量モル濃度 $m \text{ mol kg}^{-1}$ の溶液 $x \text{ g}$ に何グラムの溶媒と溶質があるのか?

解答

溶媒	:	溶質	:	溶液
1000 g		$mM \text{ g}$		$(1000 + mM) \text{ g}$
$a \text{ g}$		$b \text{ g}$		$x \text{ g}$

$$1000 : (1000 + mM) = a : x,$$

$$a = \frac{1000x}{1000 + mM}$$

$$mM : (1000 + mM) = b : x,$$

$$b = \frac{mMx}{1000 + mM}$$

ちなみに, $a + b = x$, $\frac{b/M}{a/1000} = m$ である。

溶媒量は変化なし： a [g]

問題 1

溶質量は増加： $b + y$ [g]

$$\begin{aligned}
 m_{\text{new}} &= \frac{(b + y)/M}{a/1000} = \frac{1000(b + y)}{aM} \\
 &= \frac{1000}{M} \frac{1000 + mM}{1000x} \left(\frac{mMx}{1000 + mM} + y \right) \\
 &= \frac{1000 + mM}{Mx} \frac{mMx + 1000y + mM y}{1000 + mM} \\
 &= \frac{mMx + 1000y + mM y}{Mx} \\
 &= m \left(1 + \frac{1000 + mM}{mM} \frac{y}{x} \right) \quad [\text{mol kg}^{-1}]
 \end{aligned}$$

今度は y g の溶媒を加えるので

溶媒 : 溶質

$a + y$ g b g

ちなみに, 溶液
($a + y + b = x + y$)

$$\begin{aligned}
 m_{\text{new}} &= \frac{b/M}{(a+y)/1000} = \frac{mx}{1000 + mM} \frac{1}{\frac{x}{1000 + mM} + \frac{y}{1000}} \\
 &= \frac{mx}{x + \frac{1000 + mM}{1000}y} \\
 &= \frac{mx}{x + (1 + \frac{mM}{1000})y} \quad / \text{ mol kg}^{-1} \\
 &= m \frac{1}{1 + [1 + (mM/1000)](y/x)} \quad [\text{mol kg}^{-1}] \quad \text{である。}
 \end{aligned}$$

モル濃度 $C \text{ mol dm}^{-3}$ と質量モル濃度 $m \text{ mol kg}^{-1}$ の変換

溶質のモル数 $n \text{ mol}$

$$(n = w [\text{g}] / M [\text{g mol}^{-1}])$$

溶液 $V \text{ dm}^{-3}$

溶液の密度 $\rho \text{ g cm}^{-3}$

溶媒の質量 $W \text{ kg}$

$$C = \frac{n}{V}$$

$$W = \frac{1000V\rho - nM}{1000} \quad : (\text{溶液の質量} - \text{溶質の質量}) / 1000$$

$$m = \frac{n}{W} = \frac{1000n}{1000V\rho - nM} = \frac{1000}{1000(V/n)\rho - M}$$

$$= \frac{1000}{1000(\rho/C) - M}$$

$$C = \frac{1000\rho}{(1000/m) + M}$$

問題 3

解答

問題 4

1 dm³ = 1000 cm³ の溶液の質量は、体積×密度で
 $1000 \text{ cm}^3 \times 1.19 \text{ g cm}^{-3} = 1190 \text{ g}$ となる。

HClの溶液中の質量を $w \text{ g}$ とすると

解答

$$100(w/1190) = 37, \quad w = 440.3 \text{ g}$$

HClのモル質量で割るとモル数が求められる。

$$440.3 \text{ [g]} / 36.46094 \text{ [g mol}^{-1}] = 12.1 \text{ [mol]}$$

従って、容量モル濃度 は、 12 mol dm^{-3} となる。

また、溶媒の質量は、 $1190 - 440.3 = 749.7 \text{ g}$ となるので
質量モル濃度 は $12.1 / (749.7 / 1000) = 16 \text{ mol kg}^{-1}$ となる。
どちらも有効桁は2桁にすること。

モル濃度 $C \text{ mol dm}^{-3}$ の溶液を正確に 1/100 に希釈する方法を具体的に器具名を記して述べよ。

10 mL のホールピペットで溶液を採取し、1000 mL (1 L) のメスフラスコにいれ標線までミリQ水で満たす。

問題 6

モル濃度 $1 \mu\text{mol dm}^{-3}$ の NaCl 水溶液を 1 dm^3 作る方法を具体的に示せ。Na および Cl の原子量は、22.99, 35.45 であるとする。

解答

粉末試料 NaCl の水分を飛ばす。2 段希釈でつくる

$10^{-6} \text{ mol} \times 100 \times 100 = 10^{-2} \text{ mol}$ に相当する

$(22.99 + 35.45) \times 10^{-2} = 0.5844 \text{ g}$ を秤取り

1 dm^3 のメスフラスコで調整し $10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の溶液をつくる。

前の問題の方法（ホールピペット＋メスフラスコ）
を 2 回くりかえし、

$10^{-2} \rightarrow 10^{-4} \rightarrow 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$ の溶液をつくる。

問題 7

質量モル濃度 $1 \mu \text{mol kg}^{-1}$ の NaCl 水溶液を 100 g 作る方法を具体的に示せ。

やはり二段希釈で作るのが望ましい。

粉末試料 NaCl の水分を飛ばす。2 段希釈でつくる

$$10^{-6} \text{ mol} \times 100 \times 100 = 10^{-2} \text{ mol} \quad \text{に相当する}$$

$$\text{NaCl } (22.99 + 35.45) \times 10^{-2} = 0.5844 \text{ g} \text{ を秤取り}$$

化学天秤で秤量した 1 kg に純水に溶かし, $10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$ 溶液を調製する。

解答

$$m_{\text{new}} = m \frac{1}{1 + [1 + (mM/1000)](y/x)} \quad [\text{mol kg}^{-1}]$$

$m = 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$, $M = 58.44 \text{ g mol}^{-1}$ を代入すると

$$\frac{m_{\text{new}}}{m} = \frac{1}{1 + 1.0005844(y/x)} = \frac{1}{100} \quad \text{100倍に希釈する}$$

$$1 + 1.0005844(y/x) = 100$$

$$\frac{y}{x} = 98.9422$$

$$x + y = 100, x + 98.9422x = 100,$$

$$x = 1.0006, y = 98.9994$$

調整する 10^{-4}
mol kg⁻¹溶液
は100 g
とすれば

解答

すなわち, $10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$ 溶液1.0006 g

に純水98.9994 gを加える。どれも化学天秤で秤量すること

まだ終わっていない。さらに100倍に希釈する。

$$m_{\text{new}} = m \frac{1}{1 + [1 + (mM/1000)](y/x)} \quad [\text{mol kg}^{-1}]$$

$m = 10^{-4} \text{ mol kg}^{-1}$, $M = 58.44 \text{ g mol}^{-1}$ を代入すると

解答

$$\frac{m_{\text{new}}}{m} = \frac{1}{1 + 1.000005844(y/x)} = \frac{1}{100}$$

$$1 + 1.000005844(y/x) = 100$$

$$\frac{y}{x} = 98.9994$$

$$x + y = 100, x + 98.9994x = 100,$$

$$x = 1.0000, y = 99.0000$$

調整する 10^{-6}
 mol kg^{-1} 溶液
は 100 g
とすれば

すなわち, $10^{-4} \text{ mol kg}^{-1}$ 溶液 1.000 g

に純水 99.0000 g を加える。 どれも化学天秤で秤量すること

問題 8

単位体積たりのイオンの数をあらわす数密度は

$$\begin{aligned} n_{i,0} [\text{m}^{-3}] &= \frac{N_{i,0}}{V [\text{m}^3]} = \frac{\bar{N}_{i,0} [\text{mol}] N_A [\text{mol}^{-1}]}{V [\text{dm}^3] / 1000 [\text{dm}^3 \text{ m}^{-3}]} \\ &= c_{i,0} [\text{mol dm}^{-3}] N_A [\text{mol}^{-1}] 1000 [\text{dm}^3 \text{ m}^{-3}] \end{aligned}$$

となるので

$$\kappa^2 = \frac{2e^2 N_A 1000}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 c_{i,0} = \frac{2000e^2 N_A}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} I_c$$

とあらわされる

問題 9

解答

$$\kappa^2 = \frac{2e^2}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 n_{i,0}$$

$$\begin{aligned} & [\text{C}^2 \text{ m}^{-3}] / [\text{CV}^{-1} \text{ m J}] \\ &= [\text{CV J}^{-1} \text{ m}^{-2}] \\ &= [\text{m}^{-2}] \end{aligned}$$

ここで以下の関係を使った。

$$[\text{F}] = [\text{CV}^{-1} \text{ m}], \quad [\text{CV}] = [\text{J}]$$

問題 10

解答

$$m = \frac{1000}{1000(\rho/c) - M}$$

$$I_m = \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 m_i = \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 \frac{1000}{1000(\rho/c_i) - M}$$

上の式は複雑になる。希薄溶液の場合は,

$$1000(\rho/c) \gg M, \quad m \simeq \frac{c}{\rho}$$

$$I_m \simeq \frac{1}{\rho} \sum_i \frac{1}{2} z_i^2 c_i = \frac{I_c}{\rho}$$

$$\kappa^2 = \frac{2000e^2 N_A}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} I_c \simeq \frac{2000e^2 N_A}{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T} \rho I_m$$

別解

$$c = \frac{1000\rho}{(1000/m) + M}$$

$$1000/m \gg M, \quad c \simeq \rho m$$

以下のNaCl水溶液の場合に示すように
全濃度領域で成立するとしていい。

例：NaCl水溶液（25℃）

NaCl水溶液 質量%	NaCl水溶液 密度 gcm ⁻³	溶質の質量 g (溶液の量 1000g)	溶質のモル数	溶液の体積 cm ³	容量モル濃度 mol dm ⁻³	1000*密度/c	質量モル濃度	1000/m
0	0.997047	0	0	1002.961746	0		0	
1	1.0041	10	0.171115674	995.9167414	0.171817248	5844	0.172844115	5785.56
2	1.0111	20	0.342231348	989.0218574	0.346030116	2922	0.349215662	2863.56
4	1.0253	40	0.684462697	975.3242953	0.701779603	1461	0.712981976	1402.56
6	1.0396	60	1.026694045	961.9084263	1.067351129	974	1.092227708	915.56
8	1.0541	80	1.368925394	948.6765961	1.442984257	730.5	1.487962384	672.06
10	1.0688	100	1.711156742	935.6287425	1.828884326	584.4	1.901285269	525.96
12	1.0837	120	2.05338809	922.7646027	2.225256674	487	2.333395557	428.56
14	1.0987	140	2.395619439	910.1665605	2.632067077	417.4285714	2.785603999	358.9885714
16	1.1140	160	2.737850787	897.6660682	3.049965777	365.25	3.259346175	306.81
18	1.1295	180	3.080082136	885.3474989	3.478952772	324.6666667	3.756197726	266.2266667
20	1.1453	200	3.422313484	873.1336768	3.919575633	292.2	4.277891855	233.76
22	1.1614	220	3.764544832	861.0297916	4.372142368	265.6363636	4.826339529	207.1963636
24	1.1778	240	4.106776181	849.0405841	4.836960986	243.5	5.403652869	185.06
26	1.1944	260	4.449007529	837.2404555	5.313894593	224.7692308	6.012172337	166.3292308

H2O 18.016
NaCl 58.44

溶液1000g
質量% 溶質の
質量/溶液の質
量 * 100
溶媒 kg
溶質 g
溶質 mol
溶液 dm3

化学便覧

NaCl水溶液 (25°C) 化学便覧

元のデータ

