

液体の分子量測定

条件

大気圧 P_0 [Pa], 室温 T_1 [K], 試料 X の室温における蒸気圧 p_x [Pa], フラスコ内の体積 V [L]

操作①の全質量 W_1 g, 操作⑤の全質量 W_2 g

フラスコ内の温度が T_2 [K] であるのは, 操作④のときだけする。

また, アルミ箔の栓には穴が開いており, 空気は乾燥しているものとする。

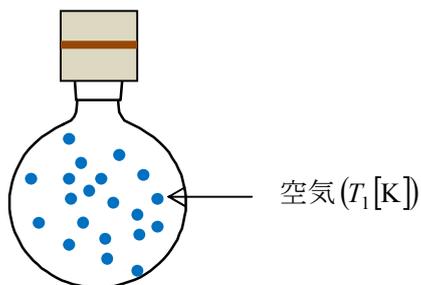
操作①

液体 X を入れる前に, 全質量を測定する。

解説

アルミ箔+フラスコ+輪ゴム+フラスコの中の空気 = W_1 g ……①

また, アルミ箔に穴が開いているので, 「大気圧 = フラスコ内の空気圧」である。



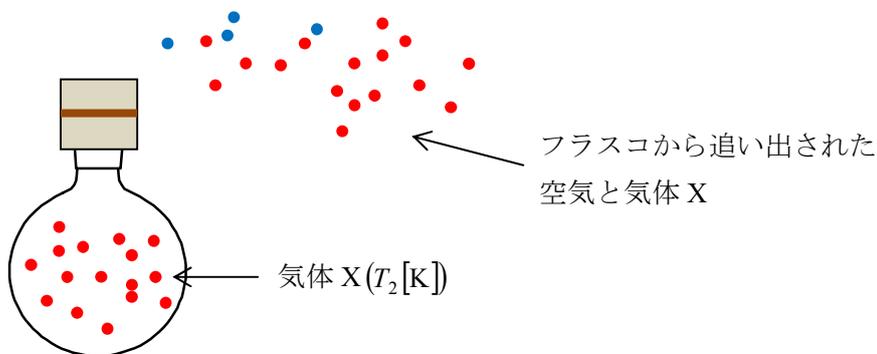
操作②

フラスコ内に液体 X を十分量入れ, フラスコ内の温度を T_2 [K] に上げ, すべて気化させる。

解説

フラスコの中の空気が X の蒸気により追い出され, フラスコの中が X の蒸気で満たされる。

また, アルミ箔に穴が開いているので, 「大気圧 = T_2 [K] の気体 X の圧力」である。



操作③

フラスコ内が室温と等しくなるまで冷却する。

解説

気体 X が凝縮し、液体になる。

すると、フラスコ内の気圧が小さくなるので、

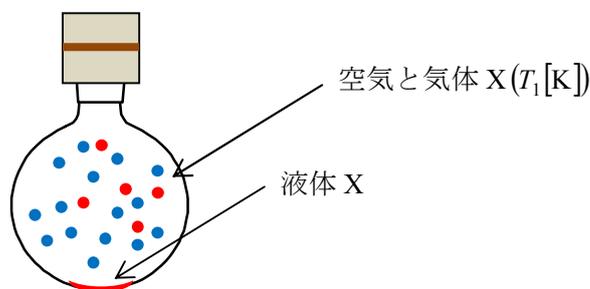
フラスコ内の気圧が大気圧と等しくなるまで、外からフラスコ内に空気が入る。

したがって、フラスコ内は、液体 X と飽和蒸気圧の気体 X と空気で満たされる。

よって、

アルミ箔+フラスコ+輪ゴム+フラスコの中の空気+X = W_2 g ……②

液体の体積が無視できるなら、「大気圧 = X の飽和蒸気圧 + 空気圧」である。



液体 X の分子量の求め方

操作①のフラスコ内の空気の質量と操作③のフラスコ内の空気の質量を、

それぞれ、 w_1 g, w_2 g とおくと、

式② - 式① = $W_2 - W_1 = X$ の質量 + $w_2 - w_1$

∴ X の質量 = $W_2 - W_1 + (w_1 - w_2)$ ……③

よって、 $w_1 - w_2$ さえ得られれば、

操作②のフラスコ内の気体 X の状態方程式から、X の分子量が求められる。

式③で求めた X の質量を w_X , X の分子量を M_X とおくと、

アルミ箔に穴が開いているので、「大気圧 = T_2 [K] の気体 X の圧力」より、

フラスコ内の気体 X の状態方程式は、

$$P_0 V = \frac{w_X}{M_X} RT_2$$

$$\therefore M_X = \frac{w_X RT_2}{P_0 V}$$

したがって、この問題で求めなければならない値の本質は、 $w_2 - w_1$ である。

では、 w_1 の求め方と $w_1 - w_2$ の求め方について、順に説明する。

w_1 の求め方について

求め方 1

空気の分子量が問題文に与えられているか分子量が与えられた条件から求められるとき

空気の分子量を M とすると,

$$P_0V = \frac{w_1}{M} RT_1 \text{ より, } w_1 = \frac{M}{RT} P_0V \text{ [g]}$$

求め方 2

室温 T_1 [K]における空気の密度 d [g/cm³]が与えられているとき,

フラスコ内の体積 V [L]を単位 cm³ で表すと、 $1000V$ [cm³]だから,

$$w_1 = 1000Vd \text{ [g]}$$

$w_1 - w_2$ の求め方について

求め方 1

同温・同体積の条件下では,

$$\text{空気のモル分率} = \frac{\text{空気の分圧}}{\text{全圧}} \text{ だから,}$$

操作①の空気のモル分率は 1, 操作③の空気のモル分率は $\frac{P_0 - p_X}{P_0}$ である。

よって, 操作①の空気の物質量を n_1 とすると, 同温・同体積の条件下だから, 操作③のフラスコ内の気体の物質量も n_1 である。

よって, 操作③のフラスコ内の空気の物質量 $n_2 = \frac{P_0 - p_X}{P_0} n_1$

ここで, 空気の分子量を M とおくと,

$$n_2 = \frac{w_2}{M}, \quad n_1 = \frac{w_1}{M} \text{ だから, } \frac{w_2}{M} = \frac{w_1}{M} - \frac{p_X}{P_0} \frac{w_1}{M}$$

よって,

$$w_2 = w_1 - \frac{p_X}{P_0} w_1$$

ゆえに,

$$w_1 - w_2 = \frac{p_X}{P_0} w_1$$

求め方 2

式①と式②のフラスコ内の空気の物質量をそれぞれ n_1 , n_2 とすると,

式①の空気の圧力 = 大気圧 = P_0

式②の空気の圧力 = $P_0 - p_X$

$$\frac{PV}{nT} = \text{一定} (= R) \text{ より,}$$

$$\frac{P_0 V}{n_1 T_1} = \frac{(P_0 - p_X) V}{n_2 T_1}$$

$$\therefore \frac{P_0}{n_1} = \frac{P_0 - p_X}{n_2}$$

$$\therefore n_2 = \frac{P_0 - p_X}{P_0} \cdot n_1 = n_1 - \frac{p_X}{P_0} n_1$$

ここで、空気の分子量を M とおくと、

$$n_2 = \frac{w_2}{M}, \quad n_1 = \frac{w_1}{M} \text{ だから, } \frac{w_2}{M} = \frac{w_1}{M} - \frac{p_X}{P_0} \frac{w_1}{M}$$

よって、

$$w_2 = w_1 - \frac{p_X}{P_0} w_1$$

ゆえに、

$$w_1 - w_2 = \frac{p_X}{P_0} w_1$$

例題

以下の条件から X の分子量を有効数字 3 桁で求めると 156 であることを確かめよ。

条件

気体定数 $R = 8.30 \times 10^3 \text{ [Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})]$, 大気圧 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$, 室温 300K ,

フラスコ内の体積 100mL , 大気圧下の空気の密度 1.10g/L ,

試料 X の室温における蒸気圧 $1.20 \times 10^4 \text{ Pa}$,

操作①の全質量 30.000g , 操作③の全質量 30.494g

フラスコ内の温度が 370K であるのは操作②のときだけ

また、空気は乾燥しているものとする。