

1. 目的

理想気体の状態方程式を用いて気体の分子量を求めることにより、状態方程式と蒸気圧曲線の意義を理解する。また、実験を通じて秤量とそれに関わる空気の浮力の影響について実体験し学習する。

2. 原理

気体にかかっている圧力を P 、気体の体積を V 、その時の気体の絶対温度を T としたとき、理想気体の状態方程式は、 $PV = nRT$ (1.1) となる。

(1.1)中の n [mol]は物質量、 R は気体定数である。この期待の分子量を M 、気体の質量が w であれば、 $n = \frac{w}{M}$ であるので、(1.1)は次のように変形することができる。 $M = \frac{nRT}{PV}$ (1.2)

よって、(1.2)よりある温度と圧力のもとで、一定容積を占めている気体の質量を測定することで、分子量が計算できる。この方法はデュマ法といい、この方法では沸点が $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ の液体の分子量を求めることが出来る。

また、空気中の秤量では必ず空気の浮力が働いている。その浮力の大きさは量ろうとするものの体積と同じ体積の空気の質量に等しい。この浮力の値を補正し、試料気体の物質量を求める。

3. 実験方法

(ア) 実験 1 空気の密度、気温および大気圧の測定

装置を使って、容量が 123.7mL の真空びん内の空気を抜き真空にした。

天秤番号 8 の天秤を用いて真空びんの質量を測定した。また、以降の質量測定では天秤は全て 8 番の物を用いた。

真空びんのコックを回して中に空気を取り込んだ。

その真空びんの質量を測定した。

気温を手元の温度計、気圧を実験室内の気圧計で測定した。

(イ) 実験 2 既知資料(酢酸エチル)の測定

ピクノメーター(71 番)を乾燥器から取り出した。

そのピクノメーターの質量を測定した。

ピクノメーターに酢酸エチル約 2mL を駒込ピペットで入れた。

基礎科学実験 B のテキスト p.27 の図 1.1 の通りに装置を組み立て、ピクノメーターを湯浴(湯温 90°C 程度)で加熱した。

ピクノメーターから出ている蒸気が消えたところでピクノメーターはさみごとピクノメーターを取り外し、流水で 20 秒ほど冷却した。

ピクノメーターの外面についた水分をよく拭き取った後、数分間放置しピクノメーターを室温に戻した。

そのピクノメーターの質量を測定した。

この操作を更に 3 回繰り返した。

最後に、十分に蒸留水で洗ったこのピクノメーターに蒸留水を詰めて、その質量を測定した。

(ウ) 実験 3 未知試料の測定

ピクノメーター(90 番)を乾燥器から取り出した。

そのピクノメーターの質量を測定した。

ピクノメーターに未知試料 B 約 2mL を駒込ピペットで入れた。

基礎科学実験 B のテキスト p.27 の図 1.1 の通りに装置を組み立て、ピクノメーターを湯浴(湯温 95°C 程度)で加熱した。

ピクノメーターから出ている蒸気が消えたところで、ピクノメーターをピクノメーターはさみ

ごとに取り外し、流水で 20 秒ほど冷却した。

ピクノメーターの外面上についた水分をよく拭き取った後数分間放置して、ピクノメーターを室温に戻した。

そのピクノメーターの質量を測定した。

この操作を更に 2 回繰り返した。

最後に、十分に蒸留水で洗ったピクノメーターに蒸留水を詰めて、その質量を測定した。

4. 結果

ここでは次の行のテンプレート通りに実験結果を書き記す。

(測定したもの):(読み取った値)[単位](有効数字の桁数)

(ア) 実験 1 空気の密度、気温および大気圧の測定

気温(天秤室): 22.8 [°C] (3 桁)

気温(実験室): 25.0 [°C] (3 桁)

気温(実験台): 30.0 [°C] (3 桁)

気圧: 747.4 [mmHg] 996.8 [hPa] (4 桁)

真空びんの容積: 123.7 [mL] (3 桁)

天秤番号: 8 番

真空びん(真空)の質量: 110.258 [g] (6 桁)

真空びん(空気)の質量: 110.118 [g] (6 桁)

空気の密度: 1.13×10^{-3} [g·cm⁻³] (3 桁)

(イ) 実験 2 既知資料(酢酸エチル)の測定

ピクノメーター単体の質量: 55.779 [g] (5 桁)

4 回の測定結果: 56.083 [g] 56.102 [g] 56.090 [g] 56.099 [g] (5 桁)

4 回の測定結果の平均: 56.094 [g] (5 桁)

ピクノメーター+蒸留水の質量: 159.952 [g] (6 桁)

蒸留水の温度: 25.0 [°C] (3 桁)

蒸留水の密度: 0.99705 [g·cm⁻³] (5 桁)

ピクノメーターの容積: 104.48 [cm³] (5 桁)

ピクノメーター内の既知資料が受ける空気による浮力: 1.18×10^{-2} [g] (3 桁)

ピクノメーター内の既知資料の質量: 0.334 [g] (3 桁)

既知資料の分子量: ~~80.8~~ $\frac{0.334 \times 8.314 \times 10^3 \times (273 + 76.3)}{996.8 \times 10^2 \times 104.63 \times 10^{-3}} = 93.3$ [g/mol] (3 桁)

実験によって得た既知資料の分子量の理論値に対する割合: ~~91.8%~~ 106% (3 桁)

(ウ) 実験 3 未知試料の測定

ピクノメーター単体の質量: 48.975 [g] (5 桁)

3 回の測定結果: 49.209 [g] 49.205 [g] 49.193 [g] (5 桁)

3 回の測定結果の平均: 49.202 [g] (5 桁)

ピクノメーター+蒸留水の質量: 159.952 [g] (6 桁)

蒸留水の温度: 25.0 [°C] (3 桁)

ピクノメーターの容積: 103.96 [cm³] (5 桁)

ピクノメーター内の未知資料 B が受ける空気による浮力: 1.99×10^{-2} [g] (3 桁)

ピクノメーター内の未知資料 B の質量: 0.247 [g] (3 桁)

以上から未知試料(記号 B)の分子量は 60.0 [g/mol] $\frac{0.247 \times 8.314 \times 10^3 \times (273 + 82.0)}{996.8 \times 10^2 \times 104.10 \times 10^{-3}} = 70.3$ (3桁)と求め

られた。

5. 考察

実験 1、実験 2、実験 3 を通じて、デュマ法による分子量測定を試みた。

まず、実験 1 の結果について考察する。

実験を通じて求められた空気の密度は $1.13 \times 10^{-3} \text{ [g} \cdot \text{cm}^{-3}]$ であった。空気の密度の理論値は、理想気体の状態方程式による計算では $1.14 \times 10^{-3} \text{ [g} \cdot \text{cm}^{-3}]$ である。前者の値は後者の値の 99.3% であり、誤差は -0.7% である。よって、実験 1 は十分に成功していると言える。

次に、実験 2 について考察する。

実験を通じて求められた酢酸エチルの分子量は ~~80.8~~ **93.1** [g/mol] であった。また、酢酸エチルの分子量の理論値は 88.0 である。前者の値は後者の値の ~~91.8~~ **106%** であり、誤差は ~~-8.2%~~ **+6%** である。そこで、この誤差の原因を考える。

今回実験で用いた手法ではピクノメーターから出ている試料の蒸気が確認されなくなったところを実験の手順移行の判断点としていることを考えると、確認されていないことの確認に多少手間取り、~~実験値が理論値を下回るのは妥当である。だが、-8.2% というのは誤差というには少し大きすぎる。そこで、その原因はバーナーの火力にあったのではないかと考えた。湯温が試料の沸点より高すぎて、勢い良く試料が蒸発しかげろうが消えたことの確認をしている間にも更に試料がピクノメーター外に出てしまったのではないか。もう 1 度実験を行うとしたら火力を落とし、ゆっくりと作業を行って実験精度を高める努力をしながら行いたい。はっきりとしたかげろうの消失を手がかりに充満の判定を行った。だが、この結果を見ると見えない程度の試料の流出が判定の後もあったことが分かる。デュマ法では実際の分子量よりも高い値が出やすいのではないか。ということは、湯浴の状態から引き上げるのを急ぎ過ぎると、逆に実験の精度が落ちてしまうことが分かった。~~

最後に、実験 3 未知試料 B の測定について考察する。

実験 3 で求められた未知試料 B の分子量は ~~60.4~~ **70.3** [g/mol] であった。実験を繰り返すうちに精度が上がっていると思われるが、私が行った実験 2 の収束率を考慮すると、分子量は ~~65.4~~ **66.4** [g/mol] くらいであると考えるのが適当だと思われる。

6. 反省・感想

実験を通して全体的に時間に追われていた印象がある。予習は十分に行ったと思っていたが、予想以上に実験に時間がかかってしまった。

一通り作業を終えることを優先してしまうあまり、バーナーの火力を上げて急速に実験を進めた結果、実験精度が低下してしまったのであれば逆に悪いことだったと思う。

室温にもどす作業等にも時間を割くことができず、大体のところではよしとしてしまったことが悔やまれる。だが、全部の測定をつうじて毎回の冷却時間や冷却後の温度はほぼ一定に保っていたつもりであるので、後半になるほど測定の誤差は少なくなっていた。

また、室温までの冷却を実験台において行ったので、実験台の気温(30.0℃)を計算に採用したが、実験室と実験台と天秤室の気温が全て異なっているので、計算中にどの値を使うべきか少し戸惑った。

確かに、こちらにも計算に用いる値を間違えているという重大な過失があった。だが、普段と違ってレポート提出から 3 週間もたって再提出が要求されたことに大きな違和感を覚えた。再提出があるのならば、提出した週に指示していた今までのやり方と同じやり方で指示する方が、提出する側も予想外の負担をしいられることがなくて良いのではないか。再提出に関わるルールを設けて明示し、それを順守すべきだと思う。