

アボガドロ定数の導出

3522 西尾咲歌 3603 池田花

要旨

アボガドロ定数を求める実験を通して、正確な値を出す方法を調べ、新しく求める方法を見つけることを目的とし、まず二つの先行研究をもとにステアリン酸の滴定による導出と水の電気分解による導出を行った。結果、ステアリン酸の滴定による導出のほうがより理論値に近い値を求めることができた。そこで、ステアリン酸とよく似た性質を持つパルミチン酸でも同様の結果が得られると仮定して、パルミチン酸の滴定による導出を行った。また、水の電気分解による導出では気体の発生時点で誤差が生じていたので、実験方法を修正して、再度実験を行った。結果、修正後の水の電気分解による導出で最も理論値に近い値を得られた。しかし、新しく求める方法を見つけることは難しく、見つけることはできていない。

1. 目的

アボガドロ定数を求める実験を通して、正確な値を出す方法を調べ、新しく求められる方法を見つける。

2. 仮説

規則性のある単純な構造を持つ物質を用いると、簡単にアボガドロ定数を導出できる。

ステアリン酸の単分子膜をとる性質を利用した実験と水の電気分解による実験の二つを行い、どのくらいの値が求められるか確かめた。

アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ [/mol]

3. 使用した器具

<実験 I>

水槽 (直径 23 cm)

ビーカー (100mL)

メスフラスコ (100mL)

メスピペット (1mL)

ステアリン酸

ヘキサン

<実験 II>

電気分解装置

電源装置

電流計

水酸化ナトリウム水溶液 0.5mol/L



図1 実験 I の使用器具

4. 研究・実験の手順

<実験 I>

- ① ステアリン酸溶液を調整する。
 - ② メスピペット 1 滴あたりの体積をはかる。
 - ③ 水槽に純水を半分あたりまで入れる。
 - ④ ステアリン酸溶液を水槽の中心に滴下し単分子膜を作る。
 - ⑤ そのときの滴下した量を用いて計算する。
- 計算に用いるステアリン酸の有効断面積は 2.2×10^{-15} [cm²] と知られている。

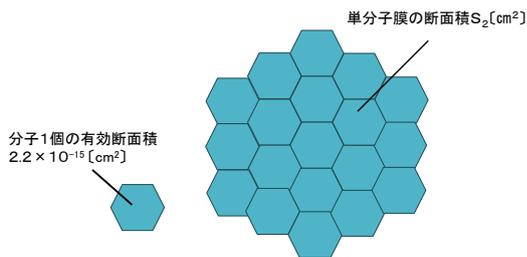


図2 ステアリン酸の有効断面積

$$N_A (/mol) = \frac{M(g/mol) \times S_1(cm^2) \times V_1(cm^3)}{w(g) \times S_2(cm^2) \times V_2(cm^3)}$$

ステアリン酸の分子量 M [g/mol]

ステアリン酸分子の有効断面積 S_2 [cm²]

ヘキサンの体積 V_1 [cm³]

滴下した体積 V_2 [cm³]

ステアリン酸の質量 w [g]

水の面積 S_1 [cm²]

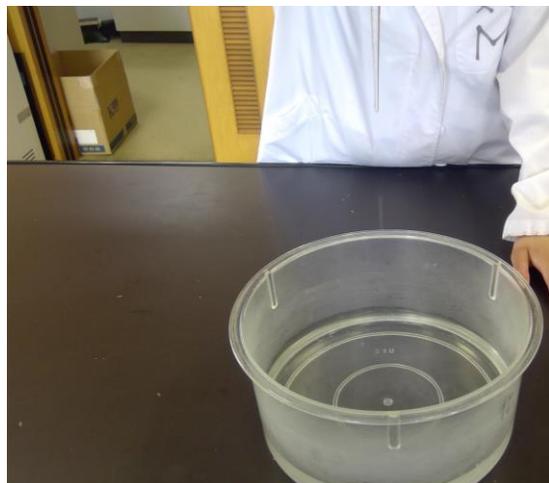


図3 実験 I の様子

<実験 II >

- ① 電源装置のスイッチを入れ、50mA に合わせて一度切る。
- ② 硫酸 0.5mol/L を分解装置の中に入れる。
- ③ 分解装置内の液面の高さを適当な目盛りにあわせる。
- ④ 再びスイッチを入れ、初めの 5 分間は 1 分ごとに、それ以降は 5 分ごとに水素の発生量、酸素の発生量を記録する。
- ⑤ ④を 65 分間行う。

実験 II の計算では、ファラデー定数がアボガドロ定数と電気素量の積であることと、電子の物質量が電気素量をファラデー定数で割った値であることを利用する。

$$\textcircled{1} F = N_A \times e$$

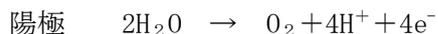
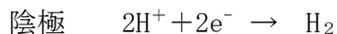
$$\textcircled{2} n_e = Q/F \rightarrow F = Q/n_e$$

$$\textcircled{1} \textcircled{2} \text{から } N_A = Q/(n_e \times e)$$

$$\text{水の電気分解の式より } n_e = n_{H_2} \times 2$$

①と②からアボガドロ定数についての式に変形する。

《電気分解の反応式》



$$e^- \text{の物質量} : H_2 \text{の物質量} = 2 : 1$$

F = ファラデー定数 [C/mol]

n_e = 電子の物質量 [mol]

Q = 電気量 [C]

P = 気圧 [Pa]

V = 気体の体積 [L]

R = 気体定数 [Pa · L / K · mol]

T = 絶対温度 [K]

e = 電気素量 [C]

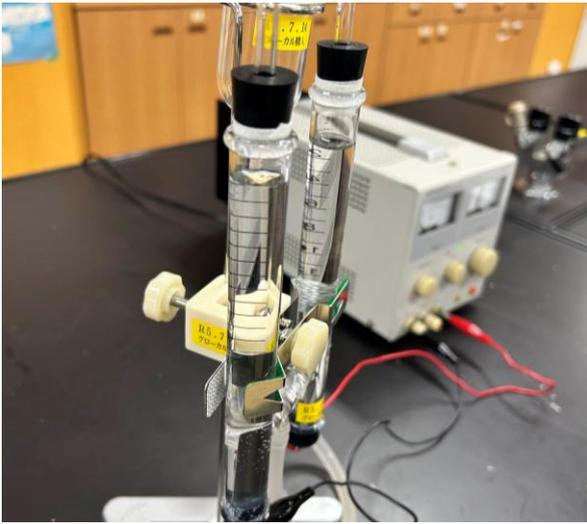


図4 実験Ⅱの様子

5. 結果

<実験Ⅰ>

1mLが48滴だったことから1滴が0.0208mLである。54滴目で単分子膜が形成されたため、単分子膜を形成した時の体積は $0.0208\text{mL} \times 54 \text{ 滴} = 1.13\text{mL}$ である。また、単分子膜を形成した時の質量は $(6.00 \times 10^{-3}\text{g}) / 100\text{mL} \times 1.13\text{mL} = 6.75 \times 10^{-5}\text{g}$ である。ここから単分子膜を形成する物質量を求めた。また水槽の半径が12.5cmであることから単分子膜の分子の数を求めた。

1molの時に N_A 個の分子があることと、今回の実験の物質量和分子の数を比べて計算した結果 $N_A = 7.86 \times 10^{23} \text{ [/mol]}$ という結果が得られた。

<実験Ⅱ>

65分の時点で陽極で発生した酸素の体積は1.22mL、陰極で発生した水素の体積が9.82mLとなった。計算では水素の体積のみを用いるが、発生した水素の体積は発生した酸素の体積の約8倍となった。実験時の気圧は1016hPa、気温は22.6°Cであった。

$$Q = 0.050\text{A} \times 3900\text{s}$$

$$R = 8.31 \times 10^3 \text{ [Pa} \cdot \text{L/ K} \cdot \text{mol]}$$

$$T = 296 \text{ [K]}$$

$$P = 1.02 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

$$V = 9.82 \times 10^{-3} \text{ [L]}$$

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ [C]}$$

計算の結果

$$N_A = 1.50 \times 10^{24} \text{ [/mol]}$$

という結果が得られた。

表1 実験Ⅱでの気体の発生量

経過時間(分)	陽極で発生した酸素 (ml)	陰極で発生した水素 (ml)
1	0.10	0.20
2	0.16	0.40
3	0.16	0.52
4	0.20	0.64
5	0.22	0.82
10	0.30	2.02
15	0.38	2.80
20	0.44	3.44
25	0.48	4.26
30	0.60	4.80
35	0.72	5.62
40	0.80	6.24
45	0.90	7.00
50	0.98	7.80
55	1.06	8.52
60	1.16	9.30
65	1.22	9.82

という結果が得られた。

表2 実験Ⅳでの気体の発生量

経過時間(分)	陽極で発生した酸素 (ml)	陰極で発生した水素 (ml)
1	0.20	0.40
2	0.40	0.80
3	0.60	1.20
4	0.80	1.60
5	1.00	2.00
10	1.70	3.80
15	2.60	5.60
20	3.60	7.60
25	4.40	9.20
30	5.40	11.20

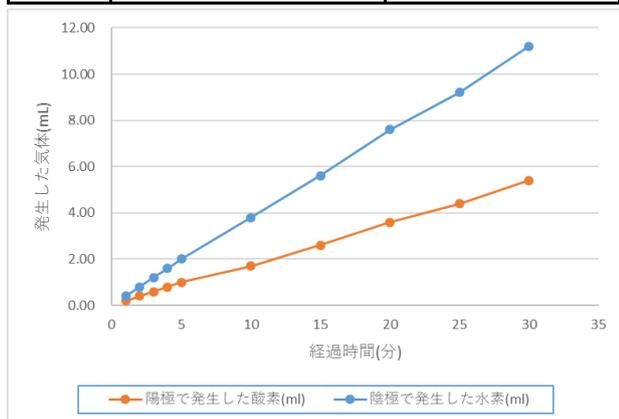


図8 実験Ⅳでの気体の発生量

6. 考察

<実験Ⅰ・Ⅲ>

実験Ⅰと実験Ⅱのみを行った段階では、ステアリン酸の滴定による導出のほうが理論値に近い値を出すことができたが、実験Ⅲを行ったところ、同じように理論値に近い値を出すことはできなかった。これは実験Ⅰと実験Ⅲでは、単分子膜を形成したと判断するタイミングが曖昧であることが原因として考えられる。また、溶液の調整などで誤差が大きく生じることが多いため、精密な導出は難しいと考えられる。

<実験Ⅱ・Ⅳ>

実験方法を修正した結果、電気分解を用いた導出方法で、理論値に最も近い値を求めることができた。水の電気分解は実験において、計測などで誤差が生じにくいいため、複数回実験を行っても同様に理論値に近い値が出せると考えられる。

ステアリン酸を用いた実験が一般的に知られているが、水の電気分解を用いた導出の方が、実験も手軽でより正確な数値を出すことができる。

7. 展望

すべての実験を通して、水の電気分解による導出が理論値に最も近い値を求めることができた。実験を行った際、電極が解けて変色が起こっていることがあったため誤差が生じたと考えられる。より精度を高めるために、電極の変更や溶液と濃度の変更をして実験を行いたい。また、アルミニウム塊を用いた導出も誤差が少ないと考えられるので行いたい。

8. 謝辞

この研究を遂行するにあたり、温かく見守ってくださった化学科の先生方、担当を持ってくださった先生に深く感謝します。

9. 参考文献、引用文献

宮本一弘「アボガドロ定数を求める実験」2009年 57巻 7号 P336～337

山本達夫「簡易な器具を用いた水の電気分解によるアボガドロ定数の決定実験の教材化」2017年 1巻 P71～74

小田良次「サイエンスビュー 新化学資料(資料集)」

上江田捷博・稲福純夫・森 巖「ステアリン酸分子の断面積を求める」1991年 7月 15日
2017年度センター試験化学基礎演習問題