

気体のP、V、T測定装置の工夫

薄 政 夫

この報告は、一定量の気体において、体積と温度と圧力との関係を同時に測定できる実験装置を製作し、各種温度における、圧力、体積を測定し、その結果よりPV/Tの数値より、気体定数を求め、さらにモル容積を求め、学校における実験の可能であることを報告している。

1 はじめに

一定量の気体における、体積、温度、圧力との関係については、中学校、高等学校において取り扱われている。中学校においては、一定量の気体について、その圧力と体積との関係、および圧力と温度との関係を実験を通して調べ、「気体の圧力と粒子運動」の学習の基礎概念を養うことになっている。また、高等学校においては、気体の状態方程式における、気体定数を導くために、この気体の体積、温度、圧力との関係について取り扱っている。

これについての実験は、温度と体積、圧力と体積とについて、中学校では半当量的に扱われ、体積を一定にしたときの温度と圧力の関係を推論させる。高等学校では、同じような実験がくまれているが、ほとんど実験が行われず、理論的に進められているのが現状である。そこで筆者は、良質のゴム気球を使い、容積、温度、圧力を同時に測定できる実験装置を製作し、気体のP、V、Tを測定し、さらに気体の状態方程式を調べ、モル容積を決定するのに良好な結果を得たので報告する。

2 理 論

(1) ボイルの法則

一定温度で一定量の気体の圧力と体積との間に関係する関係式で、

$$PV = kmt \quad P = \frac{kmt}{V} \quad \dots\dots\dots(1)$$

一定量 (m) の気体では、一定温度 (t) においては、その体積 (V) と圧力 (P) は、反比例する

(2) シャルル・ゲーリュサックの法則

一定圧力のもとで、一定量の気体の体積と温度との間に存在する関係式で

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

Vは気体の体積 V_0 はこの気体が0℃のときの体積 α は定数

$$V = V_0 \frac{1/\alpha + t}{1/\alpha}$$

二つの違った温度 t_1 および t_2 の気体の体積の比 V_1/V_2 は

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1/\alpha + t_1}{1/\alpha + t_2}$$

実験によると、 t を摂氏で表わしたとき、 $1/\alpha = 273$ となるので

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2}$$

温度を、 $T = 273 + t$ と定義すると

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{V}{T} = \text{一定} \dots \dots \dots (2)$$

一定量の気体は、一定圧力のもとで、その体積は絶対温度に比例する

(3) 気体の状態方程式

ボイルの法則の定数は、温度と気体のモル数だけの関数であり、シャルル・ゲーリュサックの法則における定数は、圧力と気体のモル数だけの関数である。したがって、(1)、(2)の式より、

$$PV = C(n)T \dots \dots \dots (3)$$

$C(n)$ は定数で、気体のモル数だけの関数である。式を変型すると、

$$\frac{PV}{T} = C(n) \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots \dots \dots (4)$$

$C(n)$ は試料中の気体の量によってだけ変わる定数である。それゆえ、 $C(n)$ を新しい定数 R および気体のモル数 n を用いて書きかえると $C(n) = nR$

$$\frac{PV}{T} = nR \quad PV = nRT \dots \dots \dots (5)$$

3 実験

気体の圧力と体積の関係、温度と体積の関係などを求める実験方法は注射器を用いたり、内径2~3mmの片方を閉じたガラス管に水銀を入れて測定する方法が簡便であり多く使用されている。本報告は気体の体積、圧力、温度を同時に測定し気体の状態方程式を導き、気体定数および、モル容積を求める実験装置を製作し、その結果についての紹介である。

(1) 実験装置および方法

一定量の気体を、容器にとり、その質量、容積を正確に測定でき、温度を変えた場合、容積の変化、圧力の変化が測定できるように装置を作る。このために使用する容器には気球が一番よい。気球は細長く、肉の薄い弾力性のあるもので、圧力の小さい気体供給源からも容易に封入できるものを選ぶ

- 気球をガラス管にしっかりとはめこみ、ゴム輪等でとめる。
- 気球を空にしておいて重さをはかる。
- つぎに気体を気球に入れる、測定容器の大きさに合う量入れる。

- ・ 気体を満たした後、ゴム管を気圧計へ接続させる (少量の水銀を入れてあり、一方は大気に通じてある)。
- ・ この気球を円筒に入れ水がもらないようにする。
- ・ 図1のように装置を組み立てる。
- ・ 恒温槽の温度を変え、その都度、温度、体積変化、圧力を測定する。体積測定るとき、水中より生ずる気体を取り除くようにする。
- ・ PV すなわち気圧と容積の積を T に対してプロットする。
- ・ 得られた勾配と試料の既知重量ならびに気体の分子量から、気体定数 R を求める。
- ・ さらに気体のモル容積を求める。

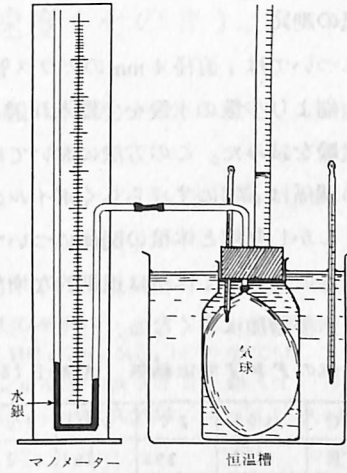


図1 気球を使った測定装置

4 結果

つぎの表1のとおりである。

(1) 酸素の測定

測定重量 0.25 g 測定体積 180 ml 大気圧 763.3 mmHg 室温 6°C

表1 酸素のP, V, T

温度 t °C	10	20	30	40	50
T°K	283	293	303	313	323
圧力 P mmHg	784.7	794.3	803.3	812.3	820.3
気圧	1.032	1.045	1.056	1.068	1.078
容積 V ml	180	186.5	191.0	197.5	204.0
	0.180	0.186	0.191	0.198	0.204
PV	0.185	0.195	0.201	0.210	0.219
PV/T	6.56×10^{-4}	6.66×10^{-4}	6.66×10^{-4}	6.70×10^{-4}	6.78×10^{-4}
気体定数R	0.0841	0.0853	0.0853	0.0859	0.0869
モル容積 l	23.06	23.91	24.4	25.17	26.03

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad \begin{array}{l} M: \text{分子量} \\ m: \text{重量} \end{array}$$

$$M = 32 \quad m = 0.25$$

$$n = \frac{0.25}{32} = 0.0078$$

酸素を試料として、酸素ボンベより気球にとり、その重量は、三桿天秤でひょう量した。体積は、最初に、容器に水を満たし、その全容積を測り、次に気球を入れ水を注ぎ、同容量にし、水の量の差を酸素の体積とした。ゴム管内の気体量は無視した。気球の入っている容器の水の温度上昇による膨張はあらかじめ水だけで測定し、その差を差し引いた。重量測定ときの空気の浮力はその量を計算に入れた。

表1において、 PV/T を計算により算出したが、実際には、 PV 、すなわち圧と容積との積を T に対してプロットし、得られたグラフの勾配と既知試料の重量と気体の分子量から、気体定数 R は計算で

きる。グラフは図2に示す。

(2) 空気の測定

空気については、直径4mmのガラス管の一方を封じ、他端より少量の水銀を少量入れ図3のような装置で実験を試みた。この方法においては、圧力と体積との関係は、実にすばらしくボイルの法則が成り立つ。しかし温度と体積の関係については、温度が上昇するにつれて、体積は規則的な増加を示さなくなり、体積増加は多くなる。

表2 空気のPV/T測定結果 大気圧763.2mmHg

温度 °C	10	20	30	40	50
°K	283	293	303	313	323
高さh(cm)	9.66	10.0	10.34	10.68	11.03
体積V(cm ³)	1.213	1.256	1.299	1.341	1.385
PV	1.218	1.261	1.304	1.346	1.390
PV/T	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043

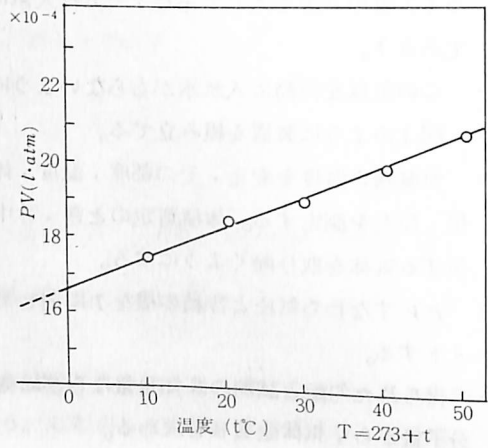


図2 気体のPVとTとの関係

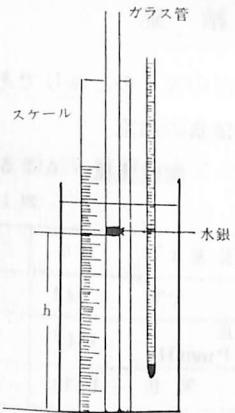


図3 水銀による測定装置

5 考察

気体のP, V, Tを同時に測定する装置については、気体を入れるゴム風船の質が一番ポイントである、良質の厚さが薄いものが良好である。気圧計に接続せず気球を密封して測定すれば、一定気圧のときの、体積と温度との関係も測定できる。また水銀を使用した実験は、前から行われているものであり、P, V, Tを測定するには非常に簡単であり正確であるが、温度と体積の関係を調べるとき50°C以上

になると、水銀の蒸気圧の関係から数値が大きくなってくる。ガラス管の内径を一樣とすれば、高さhは体積に比例するので、hを使用してVのかわりにしても良い。しかし、気体定数を計算するときは、体積Vを計算する必要がある。気体のP, V, Tの関係は、温度の定義とも非常に関係があるので、理論だけでなく実際測定を行なって理解させていくことが必要である。

6 おわりに

この測定装置による実験において、気体の体積増加を水の量で測るため、水の体積増加が加ってくるのが測定上不便である。プロパンガスについて実験を試みたがうまくいかなかった。これは分子量の大きい気体は、分子が大きくなり、分子同志の相互作用が大きくなるためであると考えられる。しかし、酸素、窒素、二酸化炭素などは圧力の低いこのような実験では実験方法が確実であればかなりよくこの法則が成立つはずである。