

物理関係

1. 水面差を利用したボイルの法則の検証実験

大多和 光 一
兵庫県立有馬高等学校

【要約】ボイルの法則を検証する実験は、高校の現場で行われることは少ないように思われる。そこで、アクリルパイプ・ゴムチューブ・ゴム栓・水という、安価な材料だけを用い、生徒実験として手軽に行える実験装置を開発し、きれいな結果を得ることができたので報告する。

【キーワード】ボイルの法則

1、はじめに

ボイルの法則を検証する実験は、昔から水銀を利用するものがよく知られているが、水銀を使用することを敬遠してか、実際に高校の現場で行われることは少ないようである。そこで、水銀の代わりに水を利用するシンプルな実験装置を試作したところ、

- ・ 1セットあたり1,000円程度と安価な材料だけで実験できること。

(アクリルパイプ・ゴムチューブ・ゴム栓・水)

- ・ 手軽に実験できること。

がわかった。

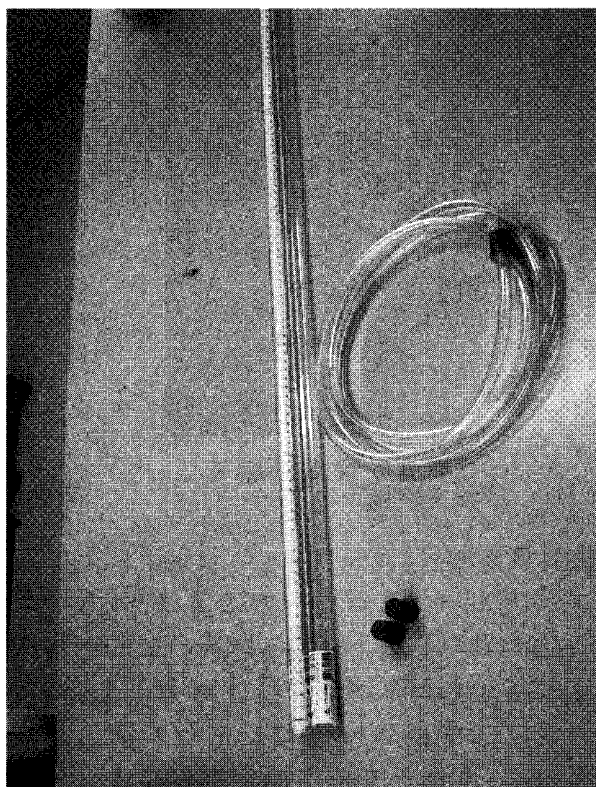


図1 実験道具

2、方法

[実験手順]

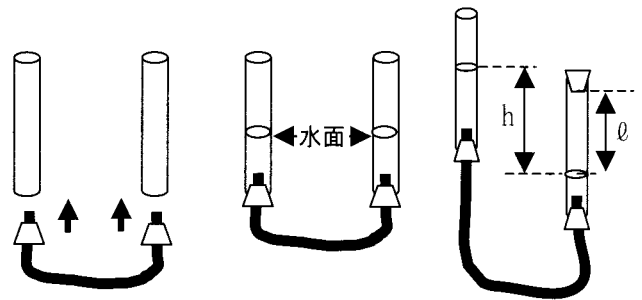


図2

図3

図4

- ・ 図2のように、アクリル管2本を、ゴム栓の付いたゴムチューブでつなぐ。
- ・ アクリル管の片方から水を注ぎ、図3のように管の1/3～1/2程度まで水を入れる。
- ・ 片方の管の上部にゴム栓をし、密閉する。このとき、密閉されたアクリル管中の空気（気柱と呼ぶ）の体積 V （高さ l ）を測定しておく。
- ・ 図4のように、両管の水面に高低差をつけ、水面差 h とそのときの気柱の体積（高さ）を測定する。（密閉していない方の管の水面が高いときを正とする。）
- ・ この操作を高低差を変えながら何点か測定する。（より広い範囲で測定できれば、圧力の範囲はより広くなる。）
- ・ [実験原理]で説明するように、水面の高低差から気体の圧力を求めることができる。
- ・ 求めた圧力と体積の関係をグラフに表す。

[実験原理]

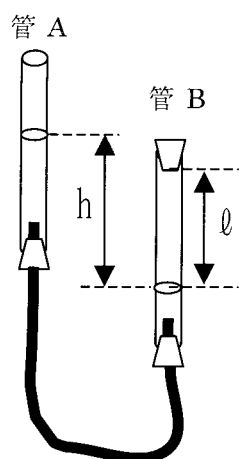


図 5

$$P = 1 + \frac{h}{10}$$

となる。

(つまり、1mの水面差が生じるごとに、圧力が0.1atm変化することになる。)

こうすることで、実験中すぐに高さから圧力を求めることができる。

例) 水面差が0.10mのときに圧力は1.01atmであり、水面差が1.00mのときには圧力は1.1atm、水面差が-0.20mのときには圧力は0.98atmである。

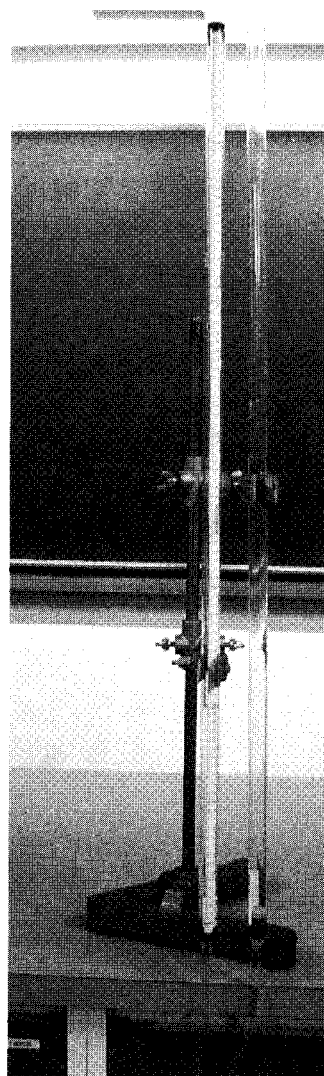


図 6 実験の様子

測定した水面差を h [m] , 大気圧を P_0 [Pa] , 水の密度を ρ [kg/m³] , 重力加速度を g [m/s²]とする。管 B 内に閉じこめられた気体の圧力 P [Pa]は、管 B の水面の高さでの圧力のつりあいから

$$P = P_0 + \rho hg$$

となる。

また、この実験はゆっくり行うため、大気との温度平衡が成り立っているとみなせる。また、実験中の実験室内の気温の変化も小さいので、等温変化と見なせる。

[補足]

本来は、圧力の単位としては MKSA 単位系である [Pa]を用いるほうが望ましいが、今回の実験においては [atm]を用いて、以下のように近似すると、非常に計算が簡便になる。

管 B の水面の高さでの両管の圧力のつりあいを考えると、管 B 内に閉じこめられた気体の圧力 P [atm]の大気圧 P_0 からのずれは、水面差 h に比例する。ここで、水深 10m あたりの圧力を 1atm と近似すると、以下の式が成り立つ。

$$P = P_0 + \frac{h}{10}$$

ここで、 $P_0 = 1 \text{ atm}$ とみなせる(気圧が 983 ~ 1043hPa の範囲にあれば、誤差は 3%以内である。)ので、結局管 B 内の圧力は

[実験装置の製作]

- ・ ゴムチューブとゴム栓の接着は、4号のゴム栓に穴を空け、エポキシ系の接着剤で固定してからバスボンドにて接着した。
- ・ アクリル管はホームセンターで購入したものに、体積をすぐに測定できるように紙製の目盛りを貼り付けた。

- ・ 実験1セット当りの単価は1,000円程度であった。(アクリル管が1本500円程度。その他に必要なものはゴム栓・ゴムチューブ・接着剤などだけである。)

3、結果

上記のようにデータを処理した結果の一部を図7に示す。

水面差 h (m)	-2.00	-1.08	0.00	1.05	2.09
圧力 P (10^5Pa)	0.80	0.89	1.00	1.10	1.21
圧力 P (atm)	0.81	0.90	1.01	1.12	1.23
気柱の高さ l (m)	62.3	55.6	49.4	44.7	40.7
体積 V (10^{-4}m^3)	6.35	5.67	5.04	4.56	4.15
1/体積 $1/V$ ($10^3/\text{m}^3$)	1.57	1.76	1.98	2.19	2.41

図7 実験結果 (抜粋)

なお、管の断面積は約 $1.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ であった。

実験結果を表に表すと、図8のようになった。

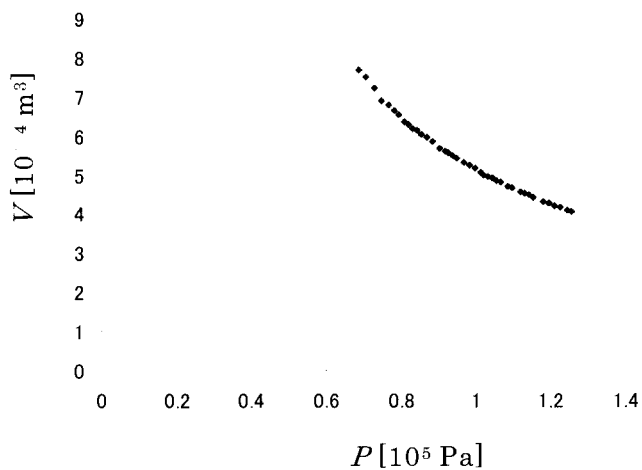


図8 圧力 P と体積 V

圧力の測定範囲が広くないこともあり、 $P-V$ グラフからは $PV = (\text{一定})$ の関係が判別しづらい。そこで $P-1/V$ グラフをかくと図9のようになった。

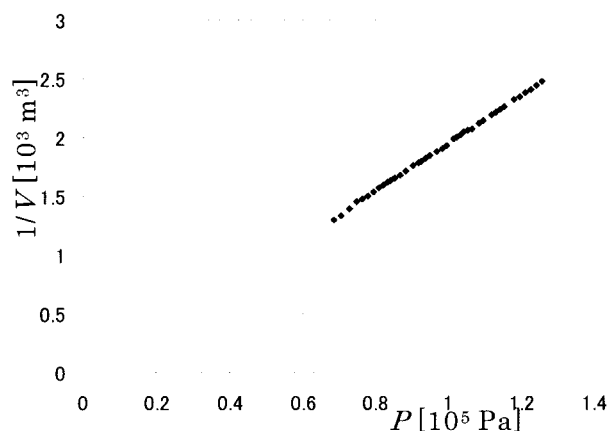


図9 圧力 P と体積の逆数 $1/V$

この結果から、 $P-1/V$ のグラフがほぼ原点を通る直線とみなせることがわかる。

前述のように、この実験中は等温とみなせるので、温度が一定のとき、 K を定数として

$$P = K/V$$

の関係が成り立っていることがわかる。

これを变形して

$$PV = K$$

となり、温度が一定のとき、 $PV = (\text{一定})$ の関係にあることが導き出せる。

生徒実験においては、体積 V のかわりに高さ h を用いてグラフをかくと時間の短縮になる。

測定そのものは非常に簡単である。私自身何度も一人で実験を行ったが、失敗はなく、初めから全て同様の結果が得られている。(測定精度にもさほど気を遣うことなく、このような結果が得られた。)

[生徒実験]

装置を開発してから一度だけ二年次の生徒を対象に生徒実験の機会があった。(本校においては、各学年の物理選択者が20名程度のため一年に一回しか機会がない。) 2~3人を一組として実験に取り組んだ。各班とも、時間内に10点近くの測定を行うことができた。しかし、グラフをかき慣れていないこともあり、グラフを完成させるところまでは時間内に行うこ

とはできなかつた。そこで、次の授業を用いて $P-1/V$ グラフを完成させたところ、多くの生徒が図 9 と同様の原点を通る直線のグラフを導くことができた。

説明方法や実験プリントの改良により、一時間内にグラフが完成できることを目標にしたい。

圧力については苦手意識を持つ生徒が多く、実験の原理を理解することができる生徒は少数であった。

[補足]

実験装置において 2 本の管を使用する必要はなく、密閉しない管 A はペットボトルなどで代用することもできる。(こうすると材料費はより安くなる。) ただしこうすると、両管の断面積が異なるため、生徒が実験原理を理解することがより難しくなるのではないかという指摘もあり、今回は 2 本の管を用いるものを紹介した。

4、まとめ

以上から、今回の実験は、まだ改善の余地はあるが、操作面・予算面から考え、高校で行うボイルの法則の生徒実験に適していると考えられる。

今後の課題としては、

- ・ 水銀を利用するものに比べると圧力の測定範囲が狭いこと。
- ・ 実験原理を理解するのが難しいと感じる生徒が多いこと。

が挙げられる。

5、補足

なお、試しにこの実験道具を用いて気柱共鳴の実験を試してみたところ、市販のものに比べると少し共鳴音は小さいが、十分に実験に使えることがわかった。

6、参考文献

- 1) 数研出版 【新編】物理実験ノート
p22-23