



注射器などを用いて気体の性質について理解する実験方法の考案

東京家政大学附属女子中学高等学校
(代表) 宮澤 弘二
西山 公治

はじめに

中学の理科の第一分野や、高等学校の物理、化学、地学で気体の性質について扱う。しかし、気体は、目に見えたり、触れたりすることが難しく、生徒にとっては、これらをイメージするのに難しい。注射器、真空調理器、高度計、風船などを用いてできるだけ頭の中に、気体の性質を理解するためのシミュレーションをつくり、気体の分子運動論の基本を実験によって理解していくことを目的として考案したものである。注射器は、アクリル樹脂系の透明なものがほとんどであり、安価に購入することができる。風船も、ゴム風船から紙風船まであり、これらも容易に購入することができる。手作りでしかも簡単にできるものを製作した。すでに業者によって過去に発表したものが製作されたりしている。多くの教育現場で使用されることを望んでいる。

高校の物理や、化学で扱う気体の性質を理解する項目として、「大気のする仕事」、「ベルヌーイの定理」、「ボイルの法則」、「シャルルの法則」、「ヘンリーの法則」、「気体状態方程式」、「気体の内部エネルギー」などは理論的で難解である。ここに紹介する方法を用いることにより、現場にあって経験上、生徒にとって理解が簡単であることが判断できたので、一連の実験方法をここに紹介する。物理や化学の学習は、計算問題の解法や、演習によって黒板中心の授業形態であったためか、物理離れがひどい。従来の物理の授業に戻って、実験から理論への授業を省みる時期にきているように思われる。科学の土台は、自然の実像を追求することであり、それをいかに定量的に数値化し、普遍的に抽象化する手法が自然科学の基本である。

後述する実験内容を 項目としてまとめると下記のようなものである。

- .大気や、気圧のする仕事について理解を深める実験
- .ベルヌーイの定理から気圧差による気圧傾度力を理解する
- .ボイルの法則を検証する実験を提示する
- .シャルルの実験から絶対温度の測定を観測する実験
- .ヘンリーの法則を簡単に観察する実験
- .気体状態方程式を定性的に検証する実験
- .気体の内部エネルギーを上記の実験から推論する
- .空気 1 モルの質量を測定する実験



・ 気体の性質を理解するための実験方法

ここにあげた実験は、物理や、化学などで扱う気体の性質について調べる実験方法である。教科書などの付録や、探求過程の実験として取り上げられているものと重複するが、実験方法そのものは、独自のものであり、簡単にしかも生徒実験として実施できるものである。

ペットボトルや、注射器、真空調理器などありふれたものを利用しているので簡単に実施できると考える。

1. 「大気のする仕事」の実験による理解

(1) 実験 ペットボトルを大気圧によって押しつぶす実験

《実験の目的》

物理や化学で大気の性質について学習するが、大気すなわち、気圧は、仕事をする。気圧と体積との積は仕事であることを($W = P \cdot V$)導入するのに分かりやすい実験である。

最初熱湯を注ぎ、ペットボトルの中を水蒸気で飽和状態にしておき、冷却すると、写真のように水蒸気が液化するため、内部が、真空状態に近いペットボトルは、大気圧によって押しつぶされるのである。

《実験方法》

. 図のように 2 リットルのペットボトルに、およそ 100ml の熱湯を注ぎ、30 秒ほど放置し、水蒸気を放出させる。その後、栓をしっかりとめる。

. このペットボトルに冷水をかけつけると、再び、沸騰をすることが観察できる。また、ペットボトルが、音を立てて縮んでいくのが観察できる。

《考察》

. なぜ、再び、低温度なのに沸騰したのか考察する。

. ペットボトルが縮んだ原因は、何か、考える。

(2) 実験 テニスボールの空き缶(プラスチック製品)を用いて蓋を飛ばす実験

《実験の目的》

一定体積に圧力を加えると仕事をすることが出来る。物理の公式では、 $W = P \cdot V$ で表す。この公式を理解させるのに役立つと考えられる。テニスボールの空き缶に蓋をして密閉し、空き缶を思い切り押しつぶすことによって蓋を飛ばすことから理解する。

《実験方法》

. 硬式テニスボールの樹脂製の空き容器を用いて、蓋の裏にビニールテープを両面テープで固定する。写真のようにしっかりと蓋をする。このときテープのある方を中に入れる。

. 思い切り空き容器を、両手で押しつぶすと、蓋がポーンと音を立てて飛んでいく。生徒はびっくりするがここが肝心である。



《 考 察 》

- .思い切り空き缶を両手で押すと蓋が飛び出すのはなぜなのか。紙鉄砲などの原理を例にして、考えなさい。空気銃などもこの原理で弾丸が飛んでいくことも考えてみよう。
- .大気のする仕事は、 $P \cdot V = W$ になることをこの実験から考察する。

(3) 実験 大気の圧力を観測する方法

《実験の目的》

大気の圧力は、トチェリーの実験として水銀柱の高さによって測定するが、ここでは、水を透明なアクリルパイプを用いて真空調理器のポンプで吸い上げることで観測する。

《実験方法》

- .図のように透明のアクリル樹脂のパイプ(径50mm、長さ1000mmくらい)を水の入ったバケツに立てる。
- .真空調理器の蓋を当てて、頂上部から空気を抜いていくとバケツの水がどんどん上昇していくことが観測できる。

《 考 察 》

- .なぜ、水が上昇したのか、考察する。
- .トチェリーの実験は水銀を用いて大気圧を測定したが、この場合水だと高さが何メートルまで上昇できるのか、計算する。

2. ベルヌーイの定理を理解する実験方法

(1) 実験 ドライヤーを用いて風船を一定の高さに浮上させる実験

《実験の目的》

ベルヌーイの定理は、気流の流れが速いと低圧状態になり、停止状態に近い気体は、高圧になる。その結果、気圧傾度力が生じ浮力が作用し、物体が浮上する。この状態を理解するために考えたものである。

《実験方法》

- .ドライヤーを冷風の状態にして図のように上向きにして送風する。
- .紙風船をこのドライヤーの送風状態の上に置くと、写真のように一定場所に浮いている。送風状態にしたままで、手を入れて風を横切ると風船が落下し、また、浮上する。

《 考 察 》

- .なぜ一定の場所に風船が浮上するのか、考察する。



- .低気圧と高気圧とが同一空間にあると、どちらから風が吹き込んでいるのか考える。気圧傾度力とは、どんなことが考察する。
- .飛行機や、ヘリコプターが浮上する原理について考える。

(2) 実験 メロディーパイプを用いてベルヌーイの定理を検証する実験

《実験の目的》

ベルヌーイの定理は、前述したように低気圧と、高気圧の気圧傾度力の差によって生じることを理解させる。

《実験方法》

- .メロディーパイプを回転させる。速く回転させると高音が発生する。
- .メロディーパイプの手の持つ部分に、写真のように細く、薄いビニールテープをパイプの中に付着させる。このテープがどのような向きに吸い込まれるか、観察する。テープが勢いよく吸い込まれるのが観察できる。

《考察》

- .なぜ、音が出るのか、その仕組みについて考察する。
- .ここで、ベルヌーイの定理が成立しているかどうか考える。

(3) 実験 旧式の霧吹きパイプを用いて、ベルヌーイの定理の仕組みを理解する実験

《実験の目的》

ベルヌーイの定理を霧吹きの原理から理解する。霧吹きがなぜ水を吸い上げるのか、霧状態になって水が飛び出すのかを観察することが出来る。

《実験方法》

- .旧式の霧吹きをストローと蓋つき空瓶を用いて写真のように製作する。
- .水をいれて霧吹きをすると、ストロー部分に水が上昇し、その水が霧状になって飛行することが観察できる。

《考察》

- .水が、なぜ上昇するのか、空気がよく流れる部分が、低圧になることから推察する。
- .霧吹きの原理は、空気が強く流れる部分と、流れない部分との差により、どのような原理を利用して作られたものか、考察する。また、飛行機や、ヘリコプターなどに働く浮力は、このベルヌーイの定理を応用したものであることを解説する。



3. ボイルの法則」の実験

(1) 実験の1 真空調理器と注射器などを用いてボイルの法則の実験

《実験の目的》

真空調理器と注射器および高度計(気圧計)を用いて、ボイルの実験を証明する。

《実験方法》

- .注射器 10 ccの先端にビニールパイプで 2.0 cmを写真のようにガスで焼いて密閉した栓をつける。
- .注射器の目盛を 6.0 ccにあわせて真空調理器に入れる。さらに高度計を0メートル(1気圧)にあわせて入れる。
- .真空調理器の空気を抜いて、注射器の目盛と高度計の気圧の関係を表にして読み取る。
- .空気を抜くことによって、注射器の目盛が増えて膨張する。この関係をグラフにする。

《考察》

- .グラフから注射器の体積と、真空調理器の気圧とがどのような関係になるか、考察する。
- .ボイルの法則 $PV = k$ (一定)の関係が成立しているかどうかを観察する。

(2) 実験の2 注射器2本をビニールパイプで接続し、ボイルの法則を理解する

《実験の目的》

50 ccの注射器を写真のように接続することにより、密閉した2つの空間を作り出すことができる。これらの注射器にそれぞれ圧力を違えて加圧することで体積の大きさに違いが出る。圧力を大きくした小さい体積になることを実感することからボイルの法則を感覚的に理解できる。

《実験方法》

- .図のように 20mlの注射器2本をビニールパイプで接続する。
- .両方からほぼ等しい圧力を加えると体積が減少する。
- .20mlと 50 ミリットルの注射器を図のように接続して両方から等しい圧力を加えると、どちらの体積が小さくなってしまおうか。

《考察》

- .圧力と体積の関係がどのようにになっているか。
- .単位面積あたりに加わる力が圧力であるが、この実験から圧力の考え方を解説しなさい。

(3) 実験の3 水圧を理解する実験方法

《実験の目的》

パスカルの原理を理解するのに役立つ実験である。ペットボトルを用いて水圧の差は、水の高さに比例することを観察できる。



《実験方法》

- .ペットボトルに図のように高さの違う位置に穴を2ヶ所あける。高さの違いによって放水の勢いが違う
- .1m くらいの高さから水を入れたペットボトルを落下させる。水が放水するかどうかを観察する。
- .蓋をしっかりとすると水は、放水しなくなる。その原因について考える。

《考察》

- .以上の実験から水圧について考察しなさい。
- .パスカルの原理についてこの実験から考察しなさい。
- .落下中は、無重量状態であることをこの実験から考える。

4. シャルルの法則の検証実験と絶対温度の測定実験

《実験の目的》

シャルルの法則は、標準状態において一定体積の気体は、温度 1 上昇するごとに体積の膨張が元の体積に対して $1/273$ ずつ増加することであった。絶対零度とは、理想気体において気体分子の運動エネルギーが 0 であり、摂氏温度では、 -273 度である。絶対温度を、グラフの上で観測する。

《実験方法》

- .写真のように浣腸用注射器を 100 cc の先端を、ビニールパイプの端を焼いて栓をする。このときの注射器の目盛は、60cc としておく。
- .小さなポリバケツに注射器を入れて、このときの温度を測定する。さらに 100°C に近い熱湯をこの注射器に注ぐ、3分くらい熱湯で満たした時の温度を測定する。また、膨張した注射器の体積を読み取る。
- .この注射器を満たしている水温を下げるために冷水をかけていくと、膨張がおさまリ、注射器が縮小する。おんどを 80°C 、 70°C 、 60°C 、 50°C 、 40°C 、 30°C のとき、それぞれの注射器の体積を測定する。
- .温度と体積の表を作成し、さらに A3 の方眼紙に縦軸に体積、横軸に温度をとりグラフを描く。グラフより体積が 0 になるときの温度を観測する。

《考察》

- .体積が 0 となる温度を一般に何といわれているか。
- .この実験から絶対温度を推定してみる。
- .シャルルの法則とは、どんなことが数式で表現する。



5. 「ヘンリーの法則の実験」

《実験の目的》

ヘンリーの法則は、一定体積に溶解している気体の量は、一定温度では、圧力に比例している。この法則を簡単に観測するための実験である。

《実験方法》

- .インスタントコーヒーの空瓶におよそ 80 パーセントくらい水を入れる。
- .蓋の部分に真空調理器の蓋をしっかりと固定し、空気を抜く。
- .しばらくすると、水中から小さな気泡がどんどん湧いてくることを観察することができる。上に上るほど、気泡が大きくなる。

《考察》

- .低圧にすると、なぜ水から気泡が発生したのか。
- .サイダーの栓などを抜くと気泡が発生するが、この理由は何か。また、ライターや、プロパンガスなどは、液体状態でボンベに入っているが、なぜ気体になるのか考察する。

6. 気体状態方程式と内部エネルギーの実験による観測

《実験の目的》

気体状態方程式は、シャルルの法則とボイルの法則から導入されるが、上記の一連の実験から $PV = nRT$ が理解できる。内部エネルギーの増加は、 $U = 3/2nRT$ で示され、温度のみによって決まる。真空調理器などを用いて、空気を抜くことにより、内部エネルギーの減少分を測定する。

《実験方法》

- .真空調理器に高度計と温度計を入れる。
- .空気を抜いて、低圧にすると温度と、気圧の変化を測定する。
- .真空調理器の内容積を測定する。
- . $PV = 3/2nRT$ より、上記の測定値を代入して気体の内部エネルギーの減少分を計算する。

《考察》

- .気体状態方程式の意味について考える。
- .内部エネルギーの減少分について計算する。
- .この実験と比較して、高い山などに上ったとき、高くなるにつれて、気温が下がることの状態と気体の内部エネルギー減少について考える。



7. 真空調理器を用いて、空気 1 モルの質量を測定する。

《実験の目的》

1 モルという物質の考え方を、明確に理解することが出来ない者が多い。この実験をすることにより、1 モルの体積と質量の関係を理解することが出来る。

《実験方法》

- .真空調理器に空気を入れたままで、質量を測定する。
- .空気をできるだけ抜いた時の質量を測定する。次に、真空調理器の内容積を測定する。
- .1 モルの標準状態における、すべての気体の体積は、22.4 Lであるから、 から空気の質量と、調理器の内容積から 1 モルの空気の質量を計算する。ただし、標準状態に補正することを忘れない。

《考察》

- .空気の質量は、どのように測定したのかを考える。
- .空気 1 モルの質量の計算方法を提示し、その質量を求める。
- .標準状態になぜ補正しなければならないのかを考える。

．おわりに

上記の実験は、長年にわたり、創意工夫しながら出来るだけ分かりやすく、誰もが出来るように開発してきたものである。特に限られた予算で、安く出来て、教師の手作りで出来るものが多いと考える。前述したように、物理や、化学の実験をする機会が、教科書が変わるごとにすくなくなり、受験のための教科書が増えてきているように思える。

現場で、実際に実験してから理論や、計算をしてみると、理解がいきとどく。特に、基本的な事実を、しっかりと学習することは、その後の自然科学的な学習する上に非常に教育効果をあげることが出来ると確信している。現場にあって、日頃、理科教育の指導に悩んでいる間に考えついたものがほとんどである。現場で上記の実験を実践するにあたり、下記の項目について、留意されたい。

実験器具の試作は、教諭が実践し生徒ができるものは、生徒に試作する機会を与えるとよい。

注射器は、すべて絶対温度の測定と、シャルル実験以外は、プラスチック製のものを使用すると安価で安全である。

ガラス製のものは、グリセリンなどにより、潤滑ができるようにしておくとい。



参考文献

1. 物理教育学会誌掲載 真空漬物器を使って期待の性質を調べる実験法 宮澤弘二 1992
2. 財団法人 東京都私立学校教育振興会 研究報告 アクリル透明パイプを用いた物理実験の開発 宮澤弘二 1995
3. 財団法人 東京都私立学校教育振興会 研究報告 低圧による水の気泡観測装置 宮澤弘二 1999
4. 理科教育研究集録 東京私立中学高等学校協会 教師の手作りのできるいろいろな実験教材の紹介 宮澤弘二 第38集 1998
5. 楽しい実験室 女子高校生物理実験にチャレンジ 宮澤弘二 後藤道夫 共著 日本教育新聞出版社 1991
6. ガリレオ工房の身近な道具で大実験 宮澤弘二 滝川洋二ほか 大月書店 1997
7. 東京都高等学校理科教育協会 理化部会 研究発表集録 真空調理器を用いて低圧による液体中の気泡の発生と気柱共鳴装置の開発 (第50回全日本教職員発明展内閣総理大臣賞受賞作品) 宮澤弘二 2001