

熱力学の観察・実験のコーディネート

多摩大学附属聖ヶ丘中学・高等学校教諭 小林雅之

1 はじめに

「意外性」や「驚き」のある実験ほど、生徒の興味・関心を引き出すものはない。その現象を上手に解説してみせると、生徒の「驚き」が「称賛」に変わる。「先生、来年も物理を取るよ。」教員にとってこれほどの誉め言葉はない。実験器具の製作や準備の苦勞も一瞬にして吹き飛び、新しい実験の開発意欲も湧いてくる。

新課程から物理の教科書もカラーになり、説明図だけでなく、実験の様子も格段にわかりやすくなった。しかし、教科書の本文に沿って授業をただけでは「意外性」や「驚き」を引き出すことは難しい。生徒に見せたい、手軽で興味深い観察や実験は

- ・書籍「いきいき物理わくわく実験」
- ・ホームページ「横浜物理サークル(YPC)」
- ・テレビ放送 NHK 高校講座物理

などが参考になるが、このこと以上に、研究発表会で聞いた数多くの授業実践の事例、研究会に所属した経験、顔見知りになった先生方からの助言はとても貴重で、授業の改善に大いに役立っている。

授業展開の中で適切に観察・実験をコーディネートすると、内容解説と生徒の理解が容易に進む。本校の高校2年生(旧課程)は、平成15年度第3学期の物理Ⅱの熱力学の学習で、次の教材を利用した。

この中から数例について、詳しく紹介する。

- ① 冬休みの課題「熱力学の豆本」作り
- ② 生徒実験「ジュールの実験(銅粒の自由落下)」
- ③ 演示実験「液体窒素の実験」
- ④ 生徒実験「メルデ管による大気圧の測定」
- ⑤ 工作「1mol気体の状態の立体図」の製作
- ⑥ モル円玉(27枚の一円玉、14枚の十円玉)
- ⑦ 生徒実験「気体分子の運動のモデル実験」
- ⑧ 演示実験「圧縮発火、断熱膨張、真空膨張」
- ⑨ パソコン演示 物理シュミレーション
(PC98版 吉澤純夫著 森北出版)
- ⑩ 玩具「ラバライト」
- ⑪ 理科教具「スターリングエンジン」(島津)
- ⑫ 課題研究「ビー玉式スターリングエンジン」

2 冬休みの課題「熱力学の豆本」

3学期の学習の予習として設定した。生徒の負担感を軽減する意味もあり、「今までで、最も小さな冬休みの宿題」という副題をつけた。熱力学の典型的な事項を、生徒一人が1項目、B5版の4分の1のスペースを担当した。高校2年生の物理選択者42名(130名中)に対して21項目、1項目に二人の生徒を割り当てた。42枚の課題プリントのそれぞれに、21項目のうち1箇所○印をつけ、プリントの配布によって各自が調べる項目のくじ引きが行われるようにした。次のような熱力学の項目を設定した。

●課題例●

- ① セルシウスについて
- ② 華氏温度について
- ③ 物質の比熱について
- ④ ジュールの実験について
- ⑤ アボガドロ数、1molについて
- ⑥ ボイル、ボイルの法則について
- ⑦ シャルル、シャルルの法則について
- ⑧ ワット、蒸気機関について
- ⑨ カルノー、カルノーサイクルについて
- ⑩ ディーゼルエンジンについて
- ⑪ クーラー、冷蔵庫の仕組みについて
- ⑫ スターリングエンジンについて

インターネットを利用して調べた生徒も多かった。自分の思いをできる限り書き込もうと、小さな字で書いてあるものが多かった。調べた内容の要約の際、「ホームページを見て理解できない所があったから他のホームページも見ただけど、同じ文章で書いてあることが同じ。それを書いた人は本当は理解していないと思った。(M.M)」という声も聞かれた。

生徒が書いた報告用紙をそのまま印刷し、表紙と目次を含めB6版24ページの冊子に仕上げた。生徒の氏名を未記入にしたので、「このページは誰が調べたのだろう。名前がわからないから不思議。(Y.F)」という感想も聞かれた。生徒同士の情報の伝達もメールが増え、互いの筆跡を見る機会が少なくなって

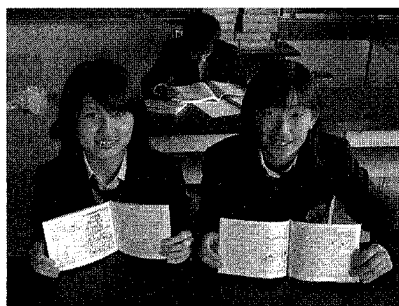


図1 熱力学の豆本「熱ってはたらき者なんだね」

いる。レポートやテストの採点で筆跡に見慣れている私には意外な生徒の感想であった。

1項目(1頁)を二人の生徒が担当したので、定性的な内容は参考書を越えるものになった。授業に入る前に無理なく熱力学の予習ができ、生徒にとっても満足で、記念に残る熱力学の豆本になった。

3 銅粒の自由落下によるジュールの実験

銅線を数ミリの長さに切断した銅粒1kg、高感度水銀温度計、布袋をセットにした「熱の仕事当量の測定」の実験器具が、中村理科から販売されていた。銅粒を入れた布袋を1mの高さから連続して落下させ、布袋が床に衝突する際、銅粒の摩擦によって発生する熱量を、銅粒の温度上昇から測定するものであった。実際の生徒実験では次の問題点があった。

- ・布袋の落下を中断して温度を測るので銅粒から逃げる熱があり、良い結果が得られにくい。
- ・布袋が破損しやすく買い換えの必要があった。

そこで、次のような改善を行っている。

- ・銅粒を500mlペットボトルに入れた。布袋が不要になり、銅粒が摩擦する様子が見える。
- ・電子式温度計(約2000円)を採用し、温度センサ部をペットボトルの下部側面に差し込んだ。常に温度表示され、落下の中断が不要になった。

生徒実験のときは、次のような注意をしている。

- ① 実験を行う1時間程前から実験室の窓を開放し、実験室と実験器具、室外の温度差が生じないようにしておく(暖房は不可)。
- ② 温度計を1mの物差しの中に取りつけ、銅粒を50cmの高さから200回連続で自由落下させる。落下回数20回ごとの最高温度を記録する。
- ③ 実験開始後、実験室の窓を閉めて風を防ぐ。
- ④ リズム良く、できるだけ短時間で銅粒を落下さ

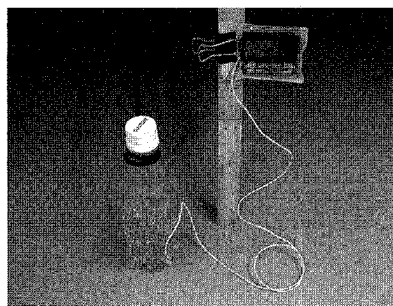


図2 銅粒落下型ジュールの実験装置

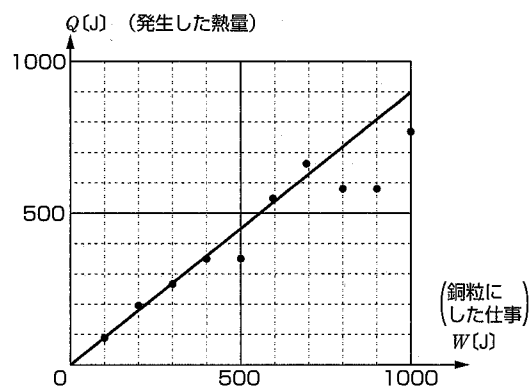


図3 実験結果の例

せる。その際、温度センサーのコードが絡んだり、引っ張られないように注意させる。

- ⑤ 重力加速度の大きさ $g = 10\text{m/s}^2$ とし、実験後、生徒が容易に計算を始めるようにした。

今年は多くの班のグラフの傾きが0.60~0.70の範囲であった。傾きが0.40程度の班も見られたが、いずれも直線的なグラフになり、銅粒にした仕事⁶が熱量に変換されていることが確認できた。体力測定のような雰囲気でも、楽しみながら実験ができた。

4 手軽な気体分子の運動のモデル実験

東京都理科(物理)実験研修会で古屋東一郎先生から教えていただいた「物理実験のパック化」の中のミニ実験である。気体の状態変化と気体分子の運動の様子が理解しやすいので、紹介したい。

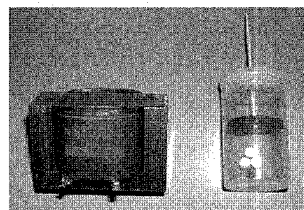


図4 気体分子の運動モデル実験器

準備 ① <ピストン部分の製作> フィルムケースの内面より少し小さく、フィルムケースのビニール製の蓋を円形に切り抜く。中央に小穴を空け、楊枝を突き立てる。

② フィルムケース1組の蓋に、楊枝よりも太い穴をあける。このケース内に、ミニ磁石(ピップエレキバン)4個、BB弾4個程度を入れ、ピストン部を装着して蓋を閉める。

③ チョークコイル0.1H,1A(トヨデンHCT-011など)のEコアとIコアを分離する。Eコア部に②の器具を置く。なお、コアを分離したこのチョークコイルは電磁誘導、自己誘導、相互誘導の実験に使え、とても重宝している。

授業では、実験台に付属の可変電源装置の端末とチョークコイルを接続して、交流電圧を加えた。

① チョークコイルに加える電圧(気体の絶対温度に対応)を次第に大きくしていくと、磁石やBB弾の運動や衝突が激しくなり、ピストン部分の体積が大きくなる。 [定圧変化]

② 交流電圧を一定にし、①で体積が膨張した状態にする。この状態から楊枝を指先で押し込むと、体積に反比例して押し込む力(気体の圧力に対応)が大きくなる。 [等温変化]

③ ②で、楊枝を少し押ししている状態で一定の体積を保つようにする。チョークコイルに加える交流電圧を大きくすると、それに比例して楊枝を押す力も大きくなる。 [定積変化]

作業プリントを使って、気体の状態変化を表す T - V 図、 p - V 図、 p - T 図を確認しながら、気体の内部エネルギー、気体が吸収した熱量、気体がされた仕事の増減について考えさせた。「定積・定圧・等温変化などが、磁石などを使って目に見えるようにしていたので、わかりやすかった。(Y.M)」

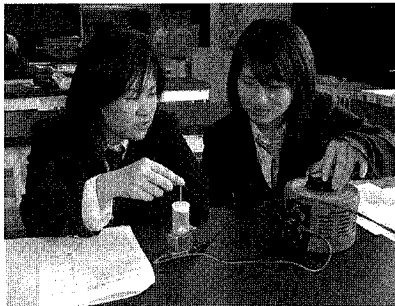


図5「磁石が動いて、びっくりしたよ」

5 仕事をしない熱機関「ラバライト」

「どこかで見かけたことがある」と思う。輸入雑貨店で3000~5000円で購入した。正式な名称や内部の物質は不明だが、気体の状態変化と熱機関の関係がわかりやすく、大切な小道具になっている。

本体下部の40Wの白熱電球でワックスを融解する。しばらくすると、融解したワックスの体積が膨張して周りの透明な液体よりも比重が軽くなる。球状になってワックスは浮き上がり、上部に達すると、冷やされて収縮し、球状のワックスは沈む。球状のワックスが次々と浮上しては沈み込んでいく。

ラバライトのスイッチを入れてからワックスが動き出すまでに数時間かかるので、授業で使う場合は、ワックスを融解させる段階までお湯で温めている。



図6「そろそろ浮いてきそうだよ」

6 手のひらサイズの蒸気機関

ライブスチームロコ三輪車。本物の蒸気機関のドイツ製の組み立てキットで、東急ハンズ渋谷店で22500円で購入した。組み立て後の操作は、

① 小さなフラスコに精製水を入れる

② 1cm角程度に切断した固形燃料(登山店で購入)をセットし、点火する

だけである。点火後、1~2分で水が沸騰し、すぐに動き出す。細かな部品の組み立ては注意を要するが、生徒の驚きも格段であった。

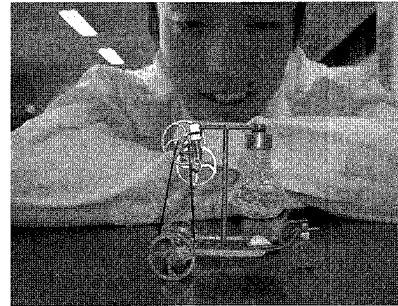


図7「水と熱で動くなんで、スゴすぎる」

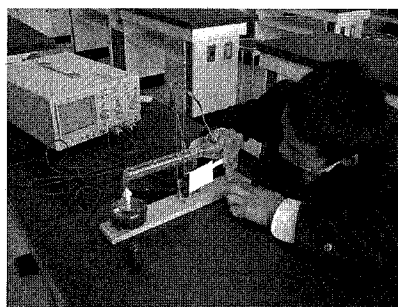


図8 オシロで気体の圧力と体積の変化を観察

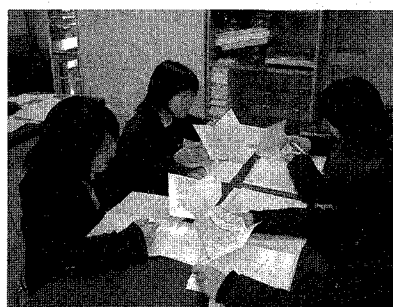


図9 1mol気体の状態の立体図

7 ビー玉式スターリングエンジンの p - V 図

原型は土田三郎先生が考案したものである。東京都理化学教育研究会物理専門委員会において、平成5年度から数年に渡って研究され、使い易い型式に改良された。私が使用している部品は下記である。

・3ml注射器(翼工業), 径25mm試験管, シリコン栓7号, シリコンチューブ, 小さなビー玉4個, 板材, 輪ゴム, 真鍮丸棒2本(ϕ 3mm, 25cm), 両面テープ

このスターリングエンジンのシリコン栓に気圧センサーを取り付け, また, 注射器に黒い紙をつけて, その後に太陽電池を置く。気圧センサーと太陽電池の出力をオシロスコープに入力し, オシロスコープの画面の縦軸が内部気体の圧力変化 p , 横軸が注射器の体積変化 V を示すようにし, 画面が p - V 図となり, 内部気体の状態変化を表すようにした。

授業では, 熱力学の第1法則を $\Delta U = Q + W$ と定義した。アルコールランプを点火せずに注射器を動かすとクーラーの原理を示し, オシロスコープの輝点(p - V 図)は反時計回り, 即ち $W > 0$ を示す。アルコールランプを点火してスターリングエンジンを動作させると, オシロスコープの輝点(p - V 図)は時計回り, 即ち $W < 0$ を示す。

p - V 図における気体がされた仕事の正負を,

(正の仕事)

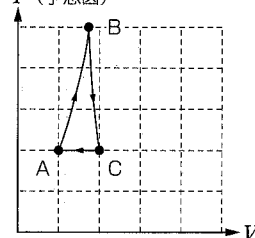
(負の仕事)



クーラーは  エンジン 

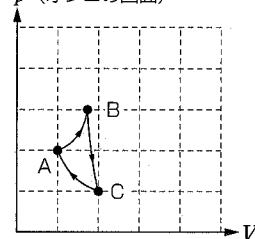
と語呂合わせをして確認させた。授業時数の関係から生徒実験の時間が確保できず, 演習して見せたが, 興味をもった生徒は放課後に実験に取り組んだ。気体の状態変化については, 1mol気体の状態の立体図(新課程物理IIの教科書を参照)が役立った。

T (予想図)



注射器が縮んだ(A)とき, 気体の温度がじわじわと上がり(B), 体積が膨張する。体積が最大になって(C), ビー玉が移動して気体が冷やされると, 注射器がすくと下がる(A)。

p (オシロ画面)



p (予想図)

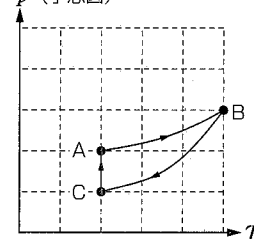


図10 サイクル(概略)の観察(生徒のレポートより)

「カルノーがあんな複雑なエンジンの仕組みを発見したのはすごいと思う。気体の暖まり具合でビー玉が移動したりするのが分かりやすかったし, おもしろかった。 p - V - T 図(1mol気体の状態の立体図)がとても便利だった。(K.T)」

8 おわりに

定期試験前の放課後に, 高校2年生は物理室に集まり, 演習問題や発展問題を解いたり, もう一度, 実験に挑戦する雰囲気ができた。掲載した写真は, そのときに撮影したものである。「物理の授業は, 実験いっぱいわかりやすく楽しかった。液体窒素の実験はめっちゃたのしかったデス。(A.T)」

参考文献

- ・東京都理化学教育研究会・物理専門委員会
平成6年度・平成8年度研究発表資料集
- ・新課程教科書 物理II(数研出版)