

6 物理実験ワンポイントアドバイス

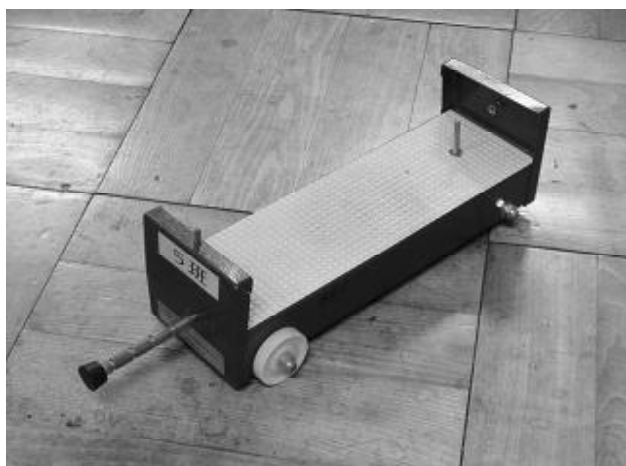
「百聞は一見にしかず」ということわざにあるとおり、実験で実際の現象を見せることは、どんなに詳しい説明をするよりも、はるかに深い理解を生徒たちにさせることができる。また、教師にとっても、実験の準備や考察などを通して、物理現象の奥深さに改めて気付かされることも多い。

その一方で、実験の準備や実施には多くの時間が費やされるため、実験をするよりも「授業を先に進める」ことを優先させたり、実験よりも問題演習を重視したり、コンピュータのシミュレーションで代用したりと、様々な理由で実験から遠ざかっているケースも多い。

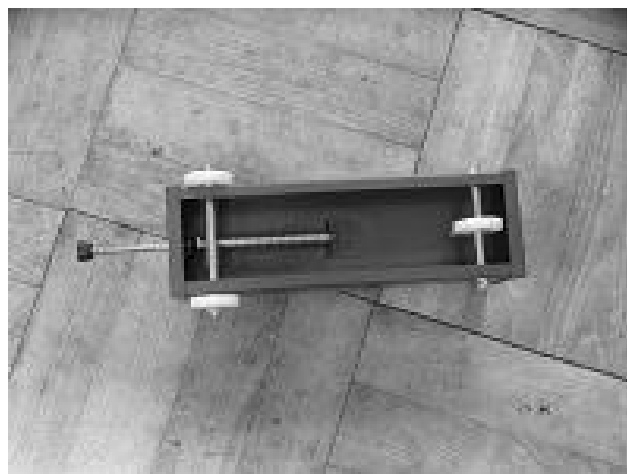
新しい学習指導要領では、「基礎を付した科目」を3科目履修させるなどして、科学の幅広い範囲を学習することが求められているが、その分、物理を専門としない教師が「物理基礎」を担当するケースが増加するものと思われる。そこで、このようなケースを念頭におき、物理を専門としない先生にも参考になりそうな演示の例をいくつか取り上げて紹介する。物理準備室にある実験器具を少しでも活用していただくための、いささかの参考になれば幸いである。

事例 4 手軽に実験を行うための工夫

◇力学台車



【図 1】



【図 2】

図 1・図 2 に示したような力学台車は、力学の分野には欠かせない主要実験器具である。

車体の質量は、500 g や 1 kg など、扱いやすい数値になるように作られていることが多く、2 台の台車を重ねたり、おもりを載せたりすることによって、適宜、質量を調整して実験する。車輪部分は本体に比べて軽くつくられており、回転部にはベアリングが組み込まれているので、非常にスムーズに回転できるようになっている。

力学台車を使用できる場面はたいへん多く、例えば、斜面上を運動させて、斜面の傾きと加速度の関係を求めたり、力学的エネルギーの保存を調べたりする場合に有効である。しかし、力学台車は、おもちゃの車などに比べると重いため、扱いづらい。演示をするような場合でも、おもちゃの車の方が生徒受けもよく、わざわざ力学台車を持ち出す必要もなさそうであるが、実は重くつくられているのには訳がある。

例えば、「力学的エネルギーの保存」を検証する場合、問題演習などでよく見かけるように、斜面

上に小球を置き、はじめの高さと最下部に達したときの速さを測定して力学的エネルギーを計算してみると、「保存する」とは言えないくらいに、意外と大きなずれが生じてしまう。とくに、まっすぐ運動させようとしてレール上で小球を転がすと、そのずれはますます大きくなってしまう。その原因を「摩擦の影響」と考えたくなるが、実はそうではない。

物体の回転エネルギーは高校物理の範囲外であり、生徒に詳しく教える必要はないが、教師としては知っておくべき基本的な知識である。一般に慣性モーメント I の物体が角速度 ω で回転しているとき、 $\frac{1}{2}I\omega^2$ の回転エネルギーをもつ。ここで、慣性モーメントとは、回転の軸に対して、物体がどの程度回転しづらいかを表す量で、物体の質量や形、大きさなどによって決まるものである。

例えば、密度が一定の球の場合、半径を r 、質量を m とすると、中心を通る軸に対する慣性モーメントは $\frac{2}{5}mr^2$ である。角速度 ω は単位時間当たりの回転角であり、半径 r の球が平面上を速さ v で転がっている場合、 $v = r\omega$ の関係がある。したがって、平面上を転がる球の運動エネルギーは、並進運動（移動）の $\frac{1}{2}mv^2$ と、回転運動（ころがり）の $\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{5}mv^2$ を足し合わせたものになり、 $\frac{7}{10}mv^2$ が、全運動エネルギーとなる。この値と、はじめにもっていた位置エネルギーを比べてみると、よい一致を示すことが多い。つまり、“誤差”の原因は、摩擦ではなく、回転エネルギーを考慮しなかったことにある。このことは、均質な球体であれば、球の質量や半径によらずに成り立つ。

以上のような理由から「力学的エネルギーの保存を検証する実験」として、教科書などでは振り子を用いる実験が紹介されていることが多い。振り子ならば回転部が生じないからである。しかし、生徒にとっては、やはり問題演習等でなじみのある斜面上の物体の運動で力学的エネルギー保存を検証したいのではないだろうか。そういう場合に、力学台車を用いるのは一つの方法である。力学台車の場合、本体の質量に比べて車輪部分が軽いため、本体の移動による運動エネルギーと比べて、車輪の回転によるエネルギーが無視できるほど小さいからである。ただし、車輪部にほこりがたまっていたりすると摩擦等による誤差が大きくなってしまうので、ベアリングの部分に潤滑剤を塗布するなどして、十分なめらかに車輪が回転するように整備しておくことが重要である。

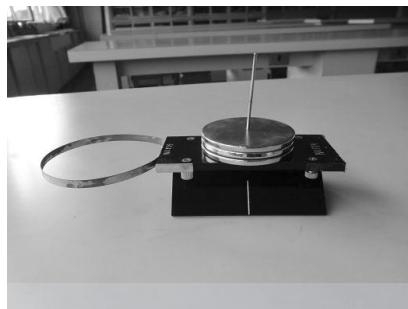
◇力学滑走台（エアトラック）



【図3】



【図4】



【図5】

図3、図4のような力学滑走台は、空気の利用して図5のような滑走体を浮かし、摩擦が働かない場合の物体の運動を観測観察する実験器具である。わずかに浮いた滑走体がエアホッケーのパックのように等速直線運動をする様子は、普段なかなか見られない現象であり感動的でもある。うまく調整すれば、3分以上は往復運動を続ける。等速直線運動のみならず、傾斜をつけることで等加速度直線運動の実験もできる。「物理基礎」の内容からは外れるが、運動量保存や衝突・分裂の実験に用いることも多い。運動を解析する際には、デジタルカメラで撮影をするとよい。図4に示したのはエアトラックを支える台であり、ここに付いているねじで高さを調整して使用する。授業で用いる場合には、直前にきちんと水平になるように調節しておくことが重要である。

汚れやほこりが付くと、摩擦が大きくなり、理想的な運動結果が得られなくなるので、使用後はほこりや汚れをきちんと落として乾燥させてから箱等に入れて保管するようにする。長くて大きくかさばる物なので、実験器具用の棚の上などに置かれることが多いが、ほこりが入り込まないように、大きめのビニル袋や新聞紙などで包んで保管するようにするとよい。

滑走体については、図5のようにおもりを付けて質量を調節できるタイプのものもある。取り外し可能な円形のばねが付属していることが多いが、非常に変形しやすく、錆びやすいものなので専用容器に入れて保存することが望ましい。もし、専用の容器が紛失しているような場合でも、他の実験器具と一緒に引き出しなどに入れるのではなく、専用の箱を設けて保管するとよい。

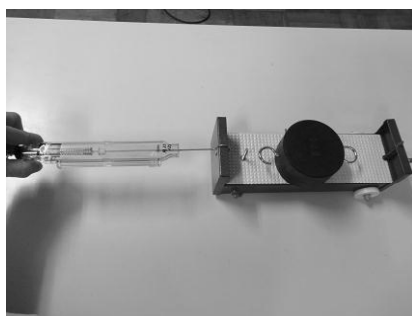
◇押し引きばねはかり

ばねはかりは、一般に引っ張る力を測定するものであるが、中には押す力も測定できるものがあり、「押し引きばねはかり」(図6)と言われ、特に力学の場面で多く活用することができる。一定の力で力学台車等を押し引きするときや、最大摩擦力や動摩擦力の測定にも活用できる。

図7は左に向かって台車を引いているところで、図8は右に向かって台車を押しているところである。写真では見にくいですが、どちらも、約2 Nを指し示している。



【図6】



【図7】



【図8】

◇真空ポンプ

図9のような真空ポンプを使うと、容器内を減圧することができるので、空気抵抗が少ない状態で、重さや形状の違う物体を自由落下させ、観察することができる。また真空中での音の伝わり方の実験や大気圧の確認実験等、多くの単元で活用することができる。

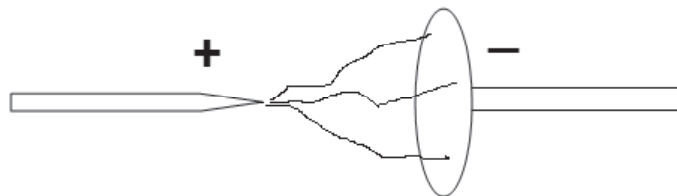
- 1 吸気口と排気口をよく確認し、吸気口を減圧したい容器につなぐ。排気口のキャップは外しておく。
- 2 容器のコックが開いていることを確認し、真空ポンプのスイッチを入れ減圧を始める。
- 3 停止させるときは、ポンプ内のオイルが逆流し容器内に入ってしまうことを防ぐために、真空ポンプのスイッチをすぐに切らず、まず減圧した容器のコックを閉めてから真空ポンプのスイッチを切るようにする。



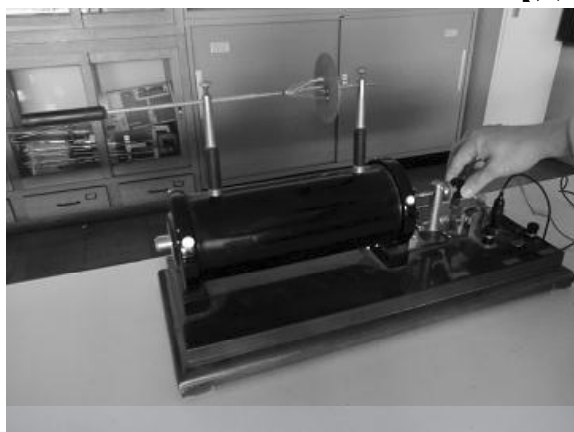
【図9】

◇誘導コイル

図 10 のように針状電極を＋に、円盤状電極を－にすると、バチバチという音とともに図 11 のような火花放電が見られる。＋－を逆にすると、放電現象がはっきりとは見られない。図 12 のように、クルックス管（電極をつけた高真空のガラス管）などをつないで、真空放電や陰極線の観察を行う際などの高圧電源に用いる。



【図 10】



【図 11】



【図 12】

1 次コイルと 2 次コイルを備えており、電磁誘導により 2 次コイルに高電圧を発生させる。

古い型のものでは 6 V 程度の直流電圧を入力して数 A の電流を流すが、最近のものは電子回路で 1 次コイルに流す電流を制御する無接点式で、AC 100V で動作させるものが多い。どちらも 2 次コイルには非常に高電圧が発生するので十分注意が必要である。近くに伝導性のものを置かないようにし、絶縁台に乗って実験をすることが望ましい。また、クルックス管に接続して、陰極線などを観察する場合、有害な X 線が発生するので、注意が必要である。クルックス管の実験では、陰極の影が現れる「陽極側」を生徒に向けないように留意すべきである。実験はできるだけ手短に行い、生徒をあまり近づけさせないようにして観察させることが必要である。

古い型のは接点式と呼ばれ、接点で 1 次コイルに流れる電流を断続的に入切する。接点をねじ等で調節するのだが、これが上手くいかず電源電圧を上げすぎてしまうと 1 次コイルに電流が流れ過ぎて、破損する可能性があるので注意が必要である。

《参考にした WEB ページ》

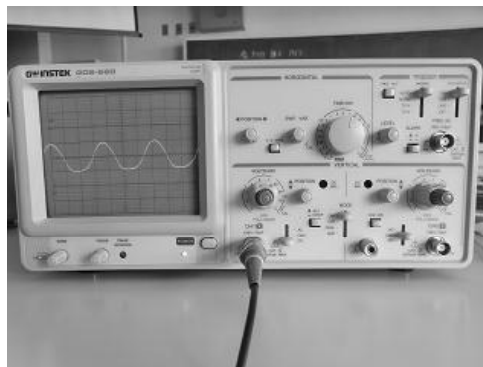
佐賀県教育センター URL

http://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h16/01anzennarika/shiryou/01butsuri.pdf

http://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h19/h19anzennarika/top.htm

◇オシロスコープ

オシロスコープ図 13 は、電圧の時間的変化をブラウン管に映し出す装置である。測定しようとするものを電圧の形、つまり電気信号に変えられれば、それを波形として観測することができる。例えば、マイクで音を電気信号に変え波形を画面に映して、観察したり周期から振動数を求めたりすることができる。教科書などにも使い方が紹介されている場合もあるが、まず付属のマニュアルを参考にするとよい。見た目の複雑さや、案内表示が英語で書かれていたり、さらに英語の略字だったりすることで敬遠されがちだが、意外とシンプルな機器であり、使い方もインターネット等で数多く紹介されている。



【図 13】

画面は縦軸が電圧を、横軸が時間を表す。図 13 の機種では、縦に 8 マス、横に 10 マスとなっている。この 1 マスを“division”といい、“div”と省略される。電圧は Volts/div つまみで、時間は TIME/div つまみで 1 マス (div) あたりの電圧と時間を調整できる。

例えば、Volts/div つまみを 10mV/div (ミリボルト毎ディビジョン) に合わせたときは、1 マスが 10mV を表し、画面には縦に 8 マスあるので、最大で 80mV まで表示ができることになる。また、TIME/div つまみを 10ms/div (ミリ秒毎ディビジョン) に合わせれば、1 マスが 10ms を表し、横に 10 マスあるので最大で 100ms (0.1 秒) 間の変化まで表示できるということになる。

表示された波を、縦位置 POSITION つまみと横位置 POSITION つまみを使って、見やすい位置に移動させ電圧や時間を読む。なお、目盛りの読みを定量的に扱いたい場合には、それぞれのつまみの中央に付いている微調整つまみ (variable) を校正 (CAL) の位置に合わせないと正しい数値にならないので注意が必要である。

《参考にした WEB ページ》

秋田工業高等専門学校 URL

<http://akita-nct.jp/~itok/oscilloscope/oscilloscope-text.pdf>

◇ウェーブマシン (波動実験器)

固定端および自由端における反射、強め合いと弱め合い (干渉)、独立性、定在波 (定常波) など、横波の動きや性質を実際に見ることができる。生徒には一見、何に用いる実験器具か分からないことが多いが、いざウェーブマシンによる波を目にするととても興味をひく。実際に生徒に触れさせたいところだが、器具の作りがデリケートなこともあり細心の注意が必要である。すだれ部分は、一度ゆがんでしまうと、修復することはほぼ不可能で、高価な部品を購入しなければいけなくなる。波形は、刻一刻と変化するものなので、デジタルカメラで連写したものや動画のスロー再生を用いると効果的である。



【図 14】

なお、ウェーブマシンには図 14 のような水平すだれ式 (シャイブ式) と、たくさんの振り子を並べた形をしているマッハ式がある。シャイブ式の方が「いかにも波らしい」波動を見せることができるが、マッハ式であれば縦波も示すことができる。

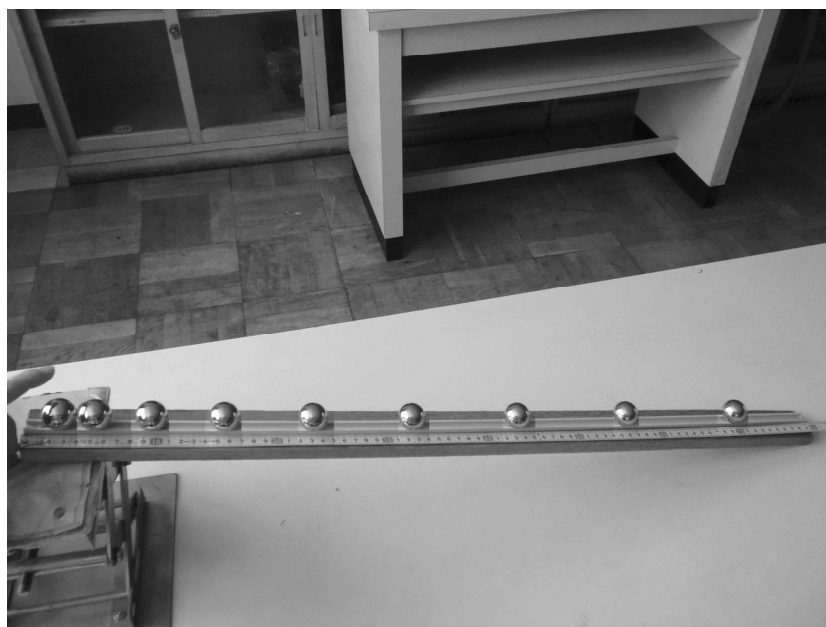
図 14 は、右端をスタンドで固定して、固定端反射の実験をしているところである。

◇デジタルカメラの活用（高速連写機能を用いて）

最近のデジタルカメラの中には、1 秒間に 30 フレームを超える高速連写機能を備えているものがあり、ビデオカメラで撮影したものをコマ送りで示すよりも、高速度で鮮明な画像を撮影することができる。このような機能を利用して撮影した写真を何枚も重ねてパラパラ漫画のようにすると、アナログなアニメーションをつくることができる。また、JPEG 画像なので合成写真をつくるなどの加工を比較的容易に行うことができる。図 15 は、斜面上を転がる小球の運動を、固定カメラで撮影したものであり、図 16 はこれらを合成したものである。



【図 15】



【図 16】

◇平成23年度高等学校における教科指導の充実 研究協力委員・研究委員
(理科〔物理領域〕)

研究協力委員

栃木県立真岡工業高等学校 教諭 中川幸彦

研究委員

栃木県総合教育センター 研修部 指導主事 岩瀬英二郎

高等学校における教科指導の充実
理 科 《物理領域》
「物理基礎」における指導展開例

発 行 平成24年3月
栃木県総合教育センター 研究調査部
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070
TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303
URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>