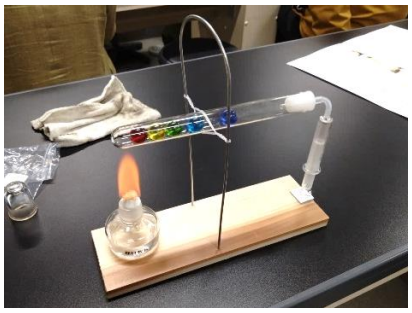
物理研究班通信
第 269 号

令和 5 年度 12 月基本実験講習会　(R5.12.2)
小山，高橋，鶴町，田中，丸，増子，喜多，澤田，村尾，筒井，小谷，佐藤，尾野田，岡田友，佐伯，樋口，野田，石井，空，松本，中村，谷川，大前，小野，宇都木，本田（報告書担当：小谷・本田）

第 4 回 高校物理の授業に役立つ基本実験講習会 in 高松

12 月 2 日（土）に高松第一高校で「第 4 回 高校物理の授業に役立つ基本実験講習会 in 高松」を開催した。受講生と講師合わせて 25 名で，実験を中心とした物理の勉強会を実施できた。

熱の基本実験　＜喜多先生, 高橋先生＞



初めに慶應義塾高校での授業中の問い「20℃の水 100g に 80℃の鉄 100g を入れて水を軽くかき混ぜると熱平衡に達する。それぞれの温度はどのように変化するか予想せよ。」に対する生徒 77 名の回答を紹介された。グラフの概形を予想できた生徒は 8 名であった。私は今まで熱平衡になるまでの温度変化は板書していたが, 生徒にとって当たり前ではないことを知ることができたので, 次年度は予想させてから実験しようと思った。その後，以下 3 つの実験を行った。

①温度センサを用いた比熱の測定

使用した温度センサは Bluetooth で PC とつながり, 試料の金属は穴が開いていて，そこに温度センサを挿すことができる。2 本の温度センサを使用して, 熱した銅を水に入れ, 熱平衡になる様子を観察し, 比熱を求めた。

②圧気発火器

「仕事→熱」を表す典型的な実験の 1 つに圧気発火器がある。島津理化とケニスが提供しているものを実際に体験した。またシリンダーのピストン跡より体積を求め, 断熱変化の式に代入して圧縮後の気体の温度を求めることができる。例えば長さが 14cm から 1cm になったとし，初めの温度を 27℃とすると，圧縮後は 589℃と分かる。

③ビー玉スターリングエンジン

熱機関「熱→仕事」の一例として，ビー玉スターリングエンジンを組み立て，実際に動かした。圧気発火器とセットで「熱⇔仕事」を演示できるため，「物理基礎」や「科学と人間生活」の授業でも使えるだろう。手順は，試験管にビー玉を 5 つ入れ，ガラス製の注射器と接続した後，アルコールランプで試験管下部を熱して動かす。うまくいく秘訣をすべて教わったため，受講者全員が成功した。比較的ゆっくりコトコト動くため，観察しながら原理を考えられる点も良い。

スマートカートを使った力学基本実験　＜増子先生, 澤田先生＞

Pasco 社のスマートカートは各種センサを搭載し，Bluetooth でデータを送信できる力学台車である。PC やタブレット端末に専用アプリ Capstone をダウンロードすると，実験結果をリアルタイムで表示でき，グラフの近似式や積分値も簡単に出せる。講座ではスマートカートの測定原理やアプリのデータ処理について学び，実験を行った。

①運動の法則

運動の法則を導く際は，台車を引くゴムの本数を変えたり，ばねはかりを用いて引く力の大きさを変えたりして実験をすることが一般的だろう。しかし一定の力で引くためには，滑車を用いておもりに引かせる方がよいのではという提案が生徒から上がってくる。ところが，おもりを吊して加速度運動させた場合，おもりの重さで台車を引いていることにはならず，運動方程式を使わないと張力が求まらないことから敬遠されてきた。そこでスマートカートの力センサを用いると，カートを引く力そのものを測定できるため，おもりで引く方法でも難しい話は後にして実験を行うことができる。更に，台車を静止させた状態から手を離して等加速度運動させている時では，力センサの値（張力）が明らかに下がっていることに気付く生徒がいるはずで，運動方程式を学習した後でクラス全体に問いかけ，考えさせれば運動方程式への理解を深める授業につながるだろう。

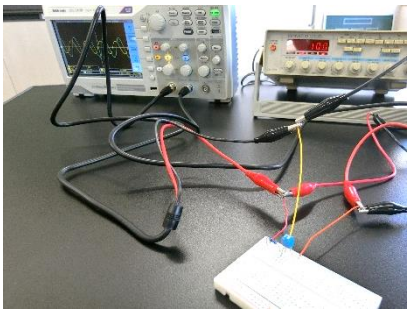
②連成振動

伸び縮みするばねが島津理化から販売されている。2 台のカートをそのばねで連結して振動させると，重心は静止あるいは等速度を示せる。写真の様に力学台車 1 台の時と周期を比較してもおもしろい。

③撃力

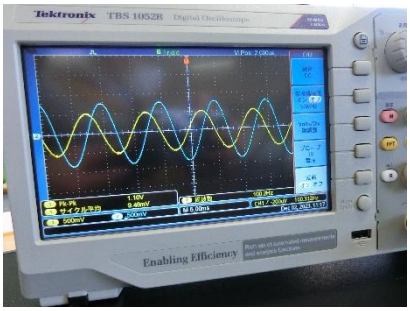
衝突時の F-t グラフは，すべての教科書でガウス関数（正規分布）の形で描かれているが，接触による力では釣り鐘形となることを，スマートカートを用いた実験で示された。一方，磁石の反発力のように離れていてもはたらく力の場合は，ガウス形となる。スマートカートにばねを取り付け木板に衝突させた場合は左右対称な釣り鐘形，ゴムボールや粘土の場合は左右非対称形となる。（村尾先生の実験ではゴムボールと麦粘土は左右対称形，ハネナイトボールとあぶら粘土等が非対称である。例会で示されたようにグシャと潰れてジワーと戻っている。）

オシロスコープを用いた交流回路　＜丸先生，田中先生，鶴町先生＞



初めにファンクションジェネレータの出力をオシロスコープに接続して，波形を観察しながらオシロスコープの使い方を学んだ。続いてブレッドボードの使い方等回路の基礎を学んだ上で，「高校物理の教科書にある交流回路の実験が本当にそうなるのかやってみよう。」というテーマで次の項目の実験を行った。

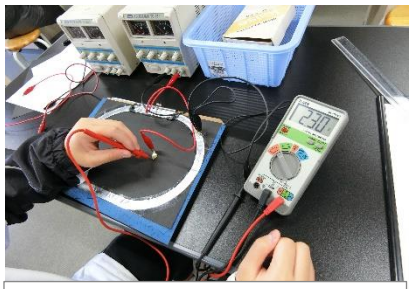
①コンデンサやコイルの電圧と電流の位相の関係
②RC 直列回路によるコンデンサの充電
③コイルの自己誘導
④ダイオードを用いた回路



①の実験では，コンデンサ（1μF）と抵抗（1kΩ）を直列に接続し，ファンクションジェネレータで正弦波を入力して，コンデンサにかかる電圧と電流を測定した。電流は抵抗にかかる電圧で見た。オシロスコープ内のグランドを合わせるよう注意して接続すると（ここがポイント），写真のように位相が $\pi/2$ ずれる様子を明確に観察できた。次にコンデンサの電気容量 C を 3.3nF に変えると，電流は流れなくなった。容量リアクタンスは $1/\omega C$ なので，C が大変小さくなると，リアクタンスが大変大きくなり，コンデンサの方にだけ電圧がかかり，抵抗には電圧がかからないため電流が流れなくなったと考えることができる。そこで今度は入力電圧の角周波数 ω を大きくすると，電流が復活するところまで確認できた。

交流回路は受験直前の時間がない時に学習することもあり，微分積分を用いて計算したりベクトル図を描いたりして位相差やリアクタンスを求めても，実験で示すところまではできていない。私自身今回実験をしてみて初めて「実感を持って」リアクタンスを理解できたので，なんとか授業で実践したい。

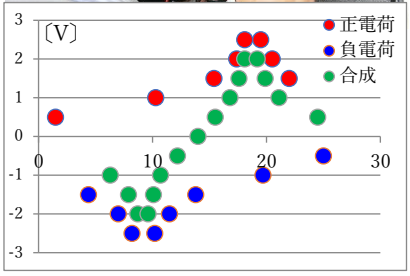
等電位線　＜小谷先生＞



点電荷の作る電場の様子を観察するのによく用いられる「等電位線」の実験を紹介した。実験にはナリカの導体紙を用いた。また，電源には直流電源装置を用いた。これまでの本校の生徒実験では電池を用いていたが，現行課程の教科書はすべて電源装置になっている。

手軽に準備できるように，導体紙と同サイズの A4 のクリップボードに，電極として圧着端子を押しピンで固定し，電源装置と接続した。等電位の測定は，デジタルマルチメーターを用いた。実験の工夫としては，導体紙の周囲に楕円状にアルミ箔で作成した電極を配置し，0 電位が決まるようにした。

①点電荷の作る等電位線（正電荷，負電荷）の観察
②2 つの点電荷の重ね合わせで出来る等電位線の観察



得られた等電位線の電位と位置の関係（V-x 図）を右図に示す。電極の位置が押しピンの穴の位置で分かるので，等電位線に定規を当てて，各等電位線の位置を読み取ればよい。教科書に紹介されている電位の重ね合わせが理解できる。

最後になりましたが，この度快く実行委員長を引き受けてくださった小山先生，遠方より講師として来校してくださった増子先生と喜多先生，講習会の実施に向けてご尽力を賜りました鶴町先生と高橋先生，事務局長兼講師を務めてくださった小谷先生，ご多忙な中参加してくださった全ての方々に感謝申し上げます。

実験をした方がよいと分かっていても準備の時間がとれなかったり，いざやってみるとうまくいかなかったりするのが実験だと思います。この講習会では実験成功の秘訣を教わることができ，実験キットを持ち帰れるので，受講後すぐに授業で使えるところがありがたいです。村尾先生の教え子である佐藤先生は「高校時代，物理の授業って実験ばかりしてたな。」と仰っていました。10 年後 20 年後に生徒がそう振り返ってくれることを目標に，毎年少しずつ実験ネタを増やしたいと思います。先生方，来年度の実験講習会や月に 1 度の例会に，ぜひお越しください。