PHYSICS

EXPERIMENTAL APPROARCH WITH YouTube

Revised edition

2024 年度版

OSAKA PREFECTURAL IKUNO SSH HIGH SCHOOL

はじめに

2045 年にはシンギュラリティーを迎え、人工知能 AI が全人類の知能を凌駕する。教育においては、自然科学の理論や大学入試問題の解説は、人工知能によって行われるようになる。大多数の生徒がよくわかる教え方が割り出され、聞き取りやすい言葉で、引き込まれる映像をバックに AI が解説する。つまずいたところで、つまずき方に応じた適切な方法で、説明や追加問題が与えられる。説明の仕方の癖なども AI の個体間で差が生まれ、AI にも個性が生まれる。生徒たちは気に入った AI の説明を聞くことになる。まもなく、私たち教員の仕事は AI に奪われることになる。

理科の実験はどうなるであろうか？　実験（特に演示実験）は、理論や問題解法の解説より、教員の個性に依存しているように思う。実験装置が担当教員の手作りであればなおのことだ。実験授業も AI に奪われる日は遠くないであろうが、できることならば、将来実験授業がなくなるのではなく、AI が引き継いでくれるように願いたい。

もちろん、本心はそうではない。多くの現場に眠る実験装置。将来を担う教員の勤務校に実験装置の扱い方を習う先輩教員がいない。多くの学校が、そういった状況であると聞く。有名大学の合格者数を増やすことが至上命令で、だから実験は割愛せざるを得ない。実験は行いたいが装置がない。実験に生徒が興味を持たない等という声も聞く。決してそんなことはない。実験によって子どもたちは自然現象を深く理解し、むろん大学入試問題を正しく理解することができるようになる。意外と安い費用で簡単に作ることができる実験装置は山ほど存在する。物理の実験装置は一度製作すると定年まで使えるものが多い。手作りの実験装置は市販のものより生徒の食いつきがよい。理論と実験は、昔も未来も、どちらも欠けてはならない物理学の両輪である。

2017 年度から、本校の、物理、化学、生物のカリキュラムに SS 実験（1 単位）を設置した。これからも、実験を大切にし、割愛することなく生徒が実験を楽しみ続けることを願ったためである。これを機に、SSH 研究開発指定校である本校で行ってきた実験をまとめてみたが、まとめようとすればするほど、その数の膨大さに気づいた。もちろん、大半の実験は先輩から引き継いだものである。時間と予算の都合で多くを省いたが、今後、改訂を重ねる中で追加したい。

生徒実験の前に、生徒が家や通学途上で、実験の目的や実験操作方法等を反転学習として学ぶための youtube 動画を始め、実験自体を簡単にまとめた youtube 動画を参考資料として織り込んだ。また、グローバル化が進むことも意識して、英語プリント、動画の英語字幕なども紹介した。多くの現場で、多くの実験が実施され、科学を愛する子どもたちの目がより輝くことを期待する。

2017 年３月

2020 年に初めて日本にコロナウイルスが上陸して、２年が過ぎようとしている。Google classroom で小テストを行い、YOUTUBE で授業配信を行うようになった。対面で協力して行う形式の実験は、ほとんどの期間禁止された。前を向いた状態で、一人で行う実験の開発も余儀なくされた。外に出て、教師が演示する大実験も有効であった。コロナ禍であってなお、実験は生徒の目を輝かせる。

2022 年３月

SSH3 期目５年次にあたり、バージョンアップした実験を追加した。

2024 年 11 月

目次

はじめに…… 1
目次…… 2
生野高校研究倫理ガイドライン…… 5
実験ノートの取り方…… 5
生野高校生命倫理運用規定…… 6
力学…… 7
1．記録タイマーを用いた重力加速度の測定
2．ボウリングボールを用いた重力加速度の測定
3．単振り子を用いた重力加速度の測定
4．斜面上の力学台車の運動
5．真空中の自由落下
6．自由落下ｖｓ水平投射
7．立体ゾートロープ
8．モンキーハンティング
9．慣性の法則
10．運動の法則(２物体型)
〈実験レポートチェックリスト〉
11．運動の法則(ゴム紐型)
12．運動の法則(プロペラ型)
13．ガウス加速器
14．フックの法則
15．摩擦係数の測定
16．摩擦力の性質
17．自動車の綱引き
18．BB 弾とピンポン球の浮力実験
19．浮沈子
20．加速する接写内のヘリウム風船の動き
21．仕事と運動エネルギー
22．仕事率
23．エネルギー保存則
24．ブランコのエネルギー保存則
25．球のレース
26．缶ジュースの競争
27．バネ３兄弟・ウィルバーフォース振り子
28．ヘロンの噴水
29．運動量保存則の実験
30．運動量保存則の実験（台と台上物体）
31．運動量保存則カー
32．ワンバウンドで着地するボール
33．跳ね返り係数の測定
34．すっ飛びボール
35．等速円運動の実験
〈相関係数〉
36．ケプラーの第３法則の実験
37．人間金床大実験
38．ニュートンのゆりかご
39．長さの違う振り子
40．動滑車
41．３層液体と遠心力
42．遠心力とコインの取り出し
43．ホバークラフト
44．ピンポン球キャノン砲
45．キャビテーション
46．棒の重心
47．ジャイロスコープ
熱力学…… 71
48．グラム比熱とモル比熱
49．ラジオメーター
50．気体分子運動観察器
51．ドラム缶つぶし
52．自転車の空気入れで排気ポンプを作る方法
53．水でマッチに火をつける
54．蒸気機関車
55．断熱圧縮・圧気発火器
56．炭酸抜けません
57．熱気球(ランタン飛ばし)
58．気体分子運動論の実験
59．ブタメン容器の膨張
60．スターリングエンジン
61．水スターリングエンジン
波動…… 81
62．縦波と横波
63．屈折率の測定
64．赤外線リモコンの実験
65．定常波実験装置
66．魚洗鍋
67．チョコレートを用いたマイクロ波の波長測定
68．線密度の測定
69．ウェーブマシーン
70．ハンガーでお寺の鐘の音

71．グラスハーモニカ
72．パイプホン
73．気柱共鳴の実験
74．振動板
75．虫笛
76．歯車楽器
77．エジソンの蓄音機
78．メルデの実験
79．クインケ管で音速測定
〈標準偏差〉
80．シンギングロッド
81．ドレーンホース楽器
82．蛇腹干渉器
83．クラドニー図形
84．クントの実験
85．ストロー笛
86．光通信
87．水レンズの屈折
88．生首の箱
89．偏光板の実験・ブラックウォール
90．偏光板を使って力を見る
91．OHP で虹
92．ワックスエマルジョンと夕焼け
93．メスシリンダーで全反射
94．アルキメデスの光線銃
95．干渉縞作成装置
96．全反射内視鏡
97．凸レンズと凹レンズの焦点距離
98．トーキングテープ
99．オシロスコープで声の波形を見る
100．回転鏡で音波の波形
101．本当の黄色
102．ホロスペックめがね
103．凹面鏡の作り方
104．ニュートンリング
105．共振・共鳴・うなり
106．紫外線測定
107．光の波長測定
108．感音炎
電磁気学……111
109．直列接続
110⑴．未知抵抗の測定
110⑵．未知抵抗の測定
111．電池の内部抵抗と起電力の測定
112．等電位線の実験
113．コンデンサーの充電と放電
114．ファラデーのかご
115．打ち上げ花火に雷が落ちる可能性
116．ヤコブのはしご
117．モーターの逆起電力
118．コイルの中を走る電池
119．フランクリンモーター
120．ペルチェ素子
121．ディスクランチャー
122．モーターと発電機
123．手回し発電機の実験
124．エジソン電球
125．フレミングの左手の法則
126．イオンクラフト
127．イオン風
128．ケルビン発電器
129．マイナスイオンドライヤー
130．テスラコイル
131．磁化
132．伏角
133．磁石につくコイン
134．アーク灯とライムライト
135．ガルバーニの実験
136．箔検電器の実験
137．フランクリンベル
138．光るんです
139．使い捨てカメラの高圧電源
140．感電
141．クリアファイルコンデンサー
142．コンデンサーの耐電圧
143．パスカル電線
144．モータースピーカー
145．ワイヤレス送電
146．フェライト磁石ｖｓパチンコ玉
147．シャカシャカライト
148．ネオジム磁石の落下
149．交流電流と LED
150．ガムの包み紙とジュール熱
151．圧電素子とピエゾ石

152. ゲルマニウムラジオ
153. 電磁誘導イヤホン
154. 陰極線・クルックス管・ファラデー暗部
155. RLC 共振回路
156. ファラデーモーター・単極モーター
157. シンプルモーター
原子物理……149
158. 光電効果
159. 霧箱
160. 放射線測定
161. ｅ／m測定
162. 原子核の大きさを測る
163. 紫外線で光る絵、ウランガラス
164. ローレンツ力を受けるベータ線の円運動
生徒が行った探究テーマ……153

生野高校研究倫理ガイドライン

科学者を名乗る人たちが、名誉やお金のために不正を行うことがある。これらは、研究活動の本質に反するものであり、科学に対する背信行為である。科学的探究活動を行うに先立って、私たちは研究不正を根絶し、誠実で責任ある研究活動を粘り強く行うために、以下の研究倫理ガイドラインを定める。

1．捏造(Fabrication)をしない
2．改ざんをしない　【偽造(Forgery)とよぶこともある】
3．盗用をしない　【剽窃(Plagiarism)とよぶこともある】
　他の研究から文章や図などを引用する場合は、必ず引用文献を明記する。
4．実験の記録をきちんととる
5．生データを保管する

実験ノートの取り方

1．実験ノートは、実験を実際に行ったことを示す唯一の物的証拠である。
2．実験ノートは、実験レポートを書くときに用いる唯一の情報源である。
　テーマ、日時、天候、気温、気圧、共同実験者、測定データ、途中計算、スケッチ、匂い、色、形……、実験中の出来事、思いついたこと、等すべてを書き留める。
3．実験ノートは 1 冊の「綴じ込み式」の専用ノートが、オリジナルデータ紛失を回避し、ページの差し替えができないので良い。
4．実験ノートを記入する際には、レポートをまとめるときに必要な項目を意識して書く。
5．実験ノートは、実験前、実験中、実験後にその場で記入し、後から記入してはいけない。
6．実験ノートを書き間違えた場合、消しゴムを使わず、二重線で訂正する。その方が改ざんの疑いが減る。
7．実験ノートは利き手側におき、装置や薬品などを上にのせない。
8．数値のごまかしや、やってもいない実験操作などの嘘を記入することは、犯罪です。実験書の結果や予想と違う場合は、そのまま記入し、なぜそうなったか考え、参考資料などを調べることが、実験の考察や、今後の実験の展望につながります。

生野高等学校における生命倫理運用規定　　2015.5.11　SSH 委員会
2015.5.19　SSH 委員会

一般原則　動物実験を行うことは生命科学の発展、理解において必要不可欠のものであるが、動物にも命があることを考え、生命倫理に基づく取り扱いが必要である。本校では生命倫理規定を定めているが、動物実験の実際の運用に関する取り決めを行う必要があるため、本運用規定を定めるものとする。なお、実際の運用を踏まえて運用規定を改定することがある。

Ⅰ．生徒実験・探究活動について

１．動物実験の実施に関しては，実施前に生命倫理に関する説明、講義を必ず実施し、その実験の意義を生徒に理解させる。

２．原則として脊椎動物以上の高等生物に苦痛を与える実験は実施しない。頸椎脱臼など実験動物の安楽死に関する措置は教員が行い、生徒に実施させない。

３．知識の確認としての生体解剖、手術を行わない。すでに有資格者によって安楽死させた個体、臓器などの器官を用いる実習に関しては、必要最小限に絞って実施を認める。

４．動物実験においては必要最低限の個体数、種類で実施する。代替可能なものに関しては代替実験を行う。

５．動物実験に関して、生徒の自由意思に基づく参加、不参加を認める。

６．脊椎動物の発生の実験に関しては、必要以上の個体数を発生させないこと。

胚を用いた実験に関しても要最低限の個体数、種類で実施する。代替可能なものに関しては代替実験を行う。

ニワトリ胚は７日胚までの使用を認めるが、５日目胚以降は安楽死を考えた措置をとること。カエル胚は尾芽胚までの使用を認めるが、神経胚以降は安楽死を考えた措置をとること。

７．実験動物の飼育、保管、組織・細胞培養などに関しては教員の指導の下、生徒自身が行うよう実験計画を立てる。

８．大学、研究所などで実施する動物実験に関しては、各施設の生命倫理規定に則った事前講義を受講し、大学や研究所などの指導監督の下に実施する。基本的に希望者参加の形態をとり、参加を強制するものではない。

Ⅱ．教員による演示実験について

１．教員による演示実験に関しては、必要最小限の個体数を用いることとし、映像教材など代替方法を出来るだけ採用する。

２．生命倫理規定にのっとり、可能な限り必要以上に動物に苦痛を与えないように実験を行う。

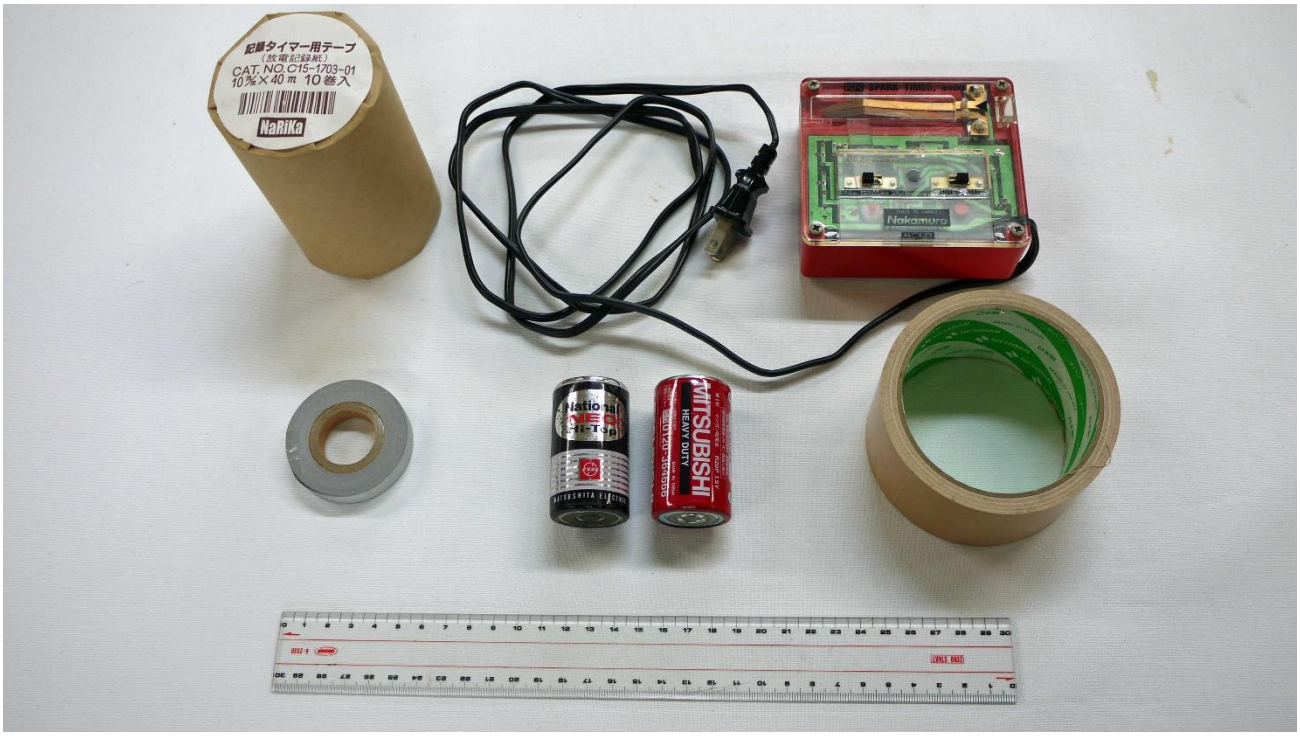
３．動物実験を実施する教員は、動物実験に関する知識、経験を有するか、実験を実施する前に、大学が実施する動物実験を経験し、大学の生命倫理規定による講習（講義）を受講する必要がある。

１．重力加速度の測定（生徒実験）

YouTube　「Mesurement of g」

１年生の最初に行う「重力加速度の測定」では、３年間の物理実験で必要な様々な事柄を学ぶ。

① 実験では細心の注意を払う。少しのいい加減さが、大きな誤差の原因となる。
② 班で役割を分担し、協力して実験を行う。
③ 実験装置の扱い方、片付けの要領。
④ レポートの提出について。
⑤ 研究不正（捏造、改ざん、盗用）は絶対行ってはならない。
⑥ 実験中に考えたことをメモ（実験ノート）する癖をつける。
⑦ 測定は、最小メモリの 10 分の１まで読み取る。
⑧ グラフの書き方を学ぶ。（縦軸、横軸、線の引き方、傾きの求め方と意味、面積）
⑨ 誤差（%）の求め方。
⑩ 有効数字の扱い。



おもりは使用済みの単１電池（D battery）、記録テープは一人５０cm（一人 50cm で十分である）、ガムテープで単１電池に取り付けた。記録タイマーの接触不良は、ねじを４カ所外し、ふたを取り電極の反り返りを調整するとすぐに直る。

記録テープと打点タイマーの摩擦の影響にこだわる場合、２種類のおもりで実験を実施し傾きから加速度を a_1、a_2とおき、動摩擦力を共通として扱い、２つの運動方程式から動摩擦力を消去する方法もおもしろい。

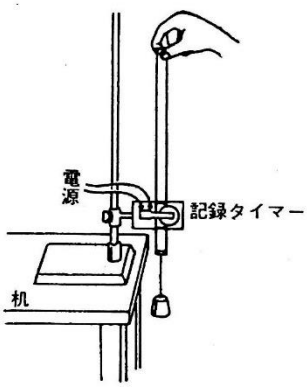
Measurement of g

目的　自由落下運動の加速度を測り、それが等加速度運動であることを確かめる。
　　実験の方法、実験処理の方法を学ぶ。

器具　記録タイマー、記録テープ、おもり(D battery)、スタンド、直定規、ガムテープ、電卓

準備　youtube（Measurement of g）をあらかじめ見ておく。

方法　１　記録タイマーのスイッチを 60Hz にセットする。



２　図のようにスタンドに記録タイマーを固定し、コンセントプラグを差し込む(スイッチは off)。

３　記録テープの電導面を上にして記録タイマーに差し込み、ガムテープでおもりを固定する。

４　図のようにテープの上の方を持ち(摩擦の影響を減らすため)スイッチを ON にする。
　　記録テープに縦に軽く折り目をつけるなど工夫するとよい。

５　手から記録テープを放す（一気に放す）。

６　スイッチを off にする。

７　一人ずつデータをとる。

処理　１　記録テープの最初のたくさんの打点が重なっている部分を無視して、きれいな打点のところに線を入れ、以下２打点ごとに線を入れる。

２　線の間隔を直定規で最小メモリの１０分の１（0.1mm）まで測る。

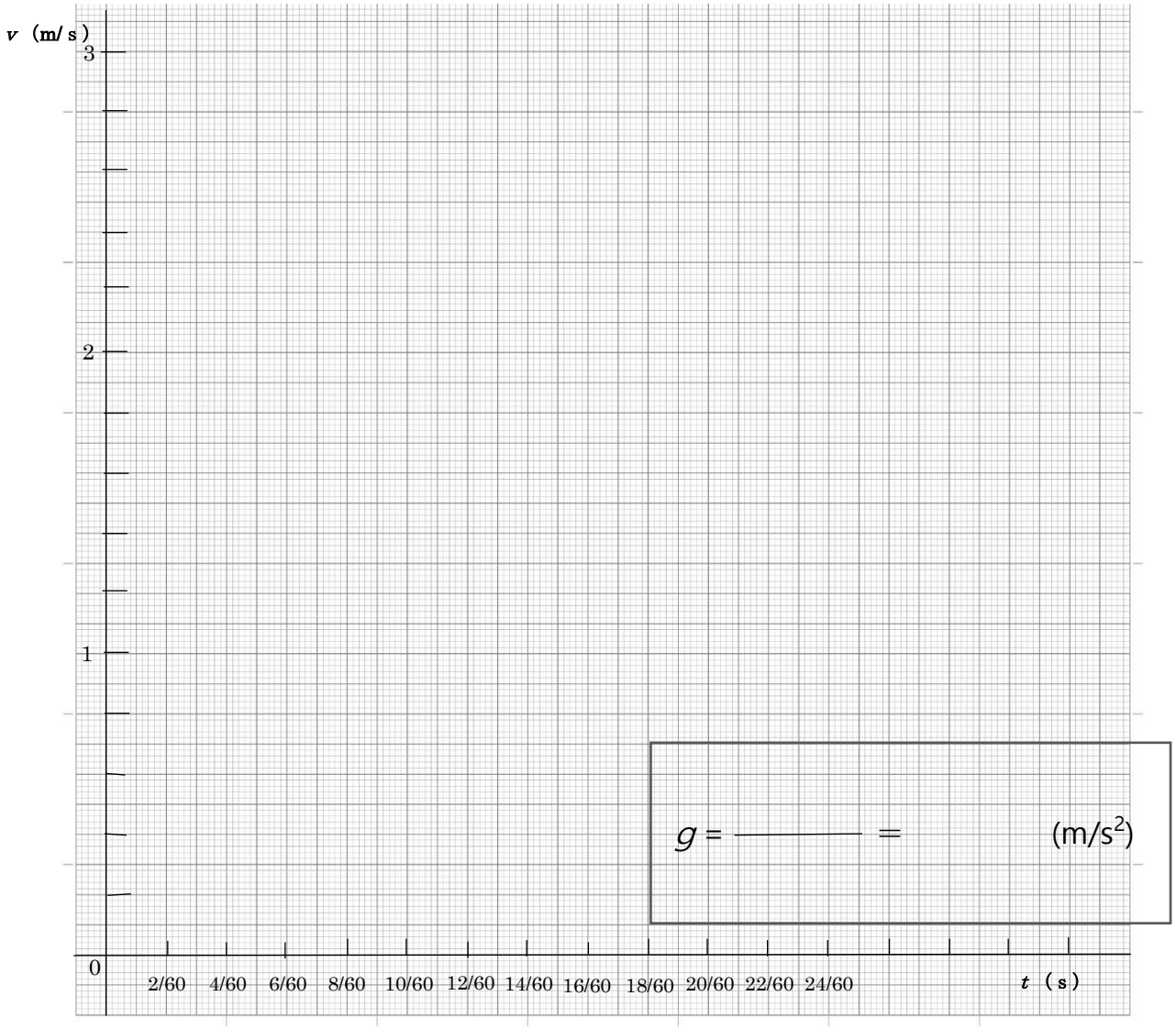
３　表を利用して各区間の平均の速さを求める。

４　v-tグラフを完成し傾きから加速度（重力加速度）の値を求める。
　　注意１　グラフは中央時刻に点を打つこと
　　注意２　傾きは測定した点ではなくグラフの線を利用し、なるべくグラフ用紙全体を利用して求めること。

結果　各自の実験データを使って下の表を埋めなさい。

時　刻 t〔s〕	変位 x〔 〕	距離の差 Δx〔 〕	速　さ v〔 /s〕	中央時刻 t〔s〕
0	0			
1/30	x_1=	差		1/60
2/30	x_2=	差		3/60
3/30	x_3=			5/60
4/30	x_4=			7/60
5/30	x_5=			9/60
6/30	x_6=			11/60
7/30	x_7=			13/60
8/30	x_8=			15/60
9/30	x_9=			17/60
10/30	x_{10}=			19/60

考察　1　*v*-*t* グラフを完成し、傾きから重力加速度の大きさを求めなさい。



2　*v*-*t* グラフが原点を通らないのはなぜか。

3　この実験では *g* の値は 9.80 より小さくなってしまうことが多い。なぜか。

4　重力加速度の標準値 9.80（m/s²）に対する誤差を計算せよ。
参考　誤差（%）＝｜9.80-実験値｜÷9.80×100

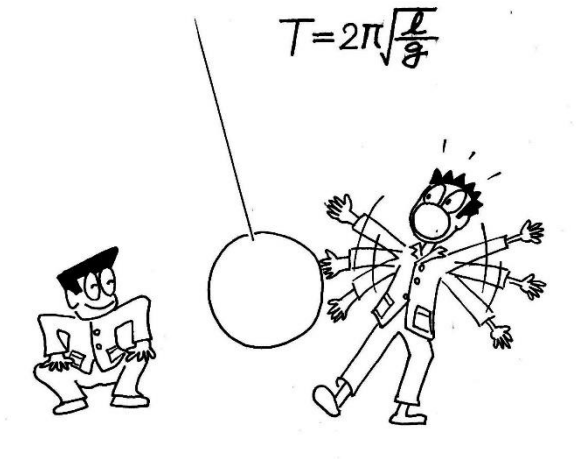
（%）

感想

1年（　　）組（　　）番　氏名（　　）

2．ボウリングボールを用いた重力加速度の測定（生徒実験）

YouTube 「Simple Harmonic Motion」



単振動を学習後に実施する。ボウリングボールは、若い頃に家の近くのボウリング場で入手した。さほど大きくないボウリング場であったが、半年で約 50 個のボールを処分するという。産業廃棄物なので、処分のために費用がかかるので引き取ってもらえるなら助かるという話しであった。適当なヒートン金具をねじ込み、ピアノ線で実験室のフックにつるせば装置は完成する。ピアノ線とリングの取り付けはオーバルスリーブ(アルミ製の管)を使って写真のように取り付ける。

周期の測定は、振動の中心を通過するときにストップウォッチをスタートさせ、10 往復後の中心を同方向に通過する瞬間にストップさせて行う。イスに座らせて、振動の中心の背後に目印をおくと測定が容易になる。目印の位置は、ボウリングボールのすぐ上あたりが望ましい。本実験で糸の長さの測定が最も難しい。フックに引っかけたリングの内側上部の点からボウリングボールの上部までをメジャーで測定し、ボウリングボールの直径を 2 で割ったものを加える。本校では、あらかじめ測定して掲示してある。ボールの質量(ポンド数)は様々で、その質量が周期に影響しないことも理解できる。質点とみなすにはほど遠い大きさのボールだが、なかなかいい結果が出る。

本実験を始めて実施するため、ピアノ線がのびないかを調べるために実験室に全てのボールをつるしていたときに阪神淡路大震災が発生した。ピアノ線は切れることはなかったが、学校に到着したときにボールは揺れていた。つるしたボールを自転させるように回転させるとピアノ線は切れることがある。

図のようにピアノ線をオーバルスリーブに通した後、オーバルスリーブを金槌でたたいてつぶす。オーバルスリーブは適当な大きさのアルミのパイプをきったもので代用してもよい。

標準型のプリントを追加しておいた。ノギスの使い方、エクセルで散布図を描き傾きを求める方法などの応用が利く。

参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」p.71(2001 黎明書房)

The measurement of gravitational acceleration(=g) using the simple pendulum

Review: Answer the following questions

Q1 How do you say the amount of velocity change in 1 second? A1

Q2 How do you say the acceleration that occurs when you drop objects from the top of the Leaning Tower of Pisa? A2

Q3 Which is larger, gravitational acceleration at the Equator or at the Poles? A3

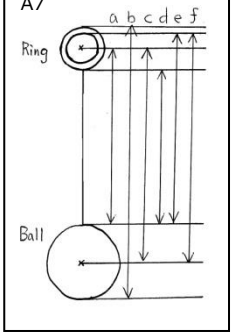
Q4 Represent gravitational acceleration(g) by using the formula for universal gravitation. A4

Q5 If you go to over 6400km from the surface of the Earth, how much smaller will the size of the magnitude of gravitational acceleration become in comparison with its value at the surface? A5

Q6 Write down the formula for the period of one swing for the simple pendulum. A6

Q7 Choose the length of the simple pendulum. Please circle it in the diagram.

A7



Equipment: Piano wire , Bowling ball , Stopwatch

Experiment: Measure the gravitational acceleration using the simple pendulum.

Method:

1. Measure the time that the simple pendulum goes back and forth 10 times.
2. Determine the period(=T) by dividing the time it takes the pendulum to swing 10 times by 10.
3. All members of the group perform the same measurement, and discard the smallest data and the largest data, please average the rest.

Results:

Name	The period(=T)

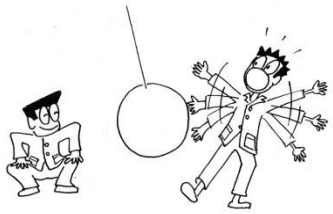
T (Average of the period) =

L (The length of the simple pendulum) =

g (The calculation result of gravitational acceleration) =

Exercise: Derive the formula for the period of the simple pendulum

Impressions:



Name( ) Class( ) Number( )

3．単振り子を用いた重力加速度の測定（標準型）

Review　1．1(s)間の速度変化を何というか。　A1

2．ピサの斜塔から自由落下する物体に生じる加速度を何というか。　A2

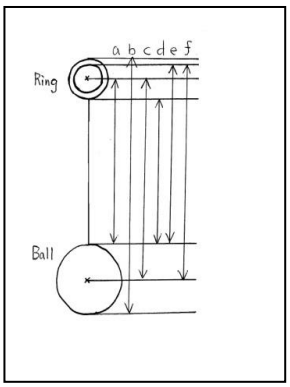
3．赤道と南極ではどちらが重力加速度は大きいか。　A3

4．重力加速度 g を万有引力定数 G を用いて表せ。　A4

5．地表から 6400 ㎞(地球半径)上空の重力加速度は、地表の何倍か。　A5

6．単振り子の周期の公式を書け。　A6

7．振り子の糸の長さ ℓ を正しく示したものを選べ。　A7



Purpose　重力加速度を測定する

Apparatus and materials　単振り子　スタンド　ノギス　ものさし　ストップウォッチ　標線　電卓

Procedure　1．振り子の長さ ℓ を求める。(リングの内側上部から金属級の上までの長さ＋金属級の半径)
金属級の直径はノギスを使って求めてみよう。
2．振り子を小さい振幅で振動させ、正面から見て糸が標線を同じ向きに通過する回数を数え 10 回分の時間から周期 T を求める。
3．すべての班のデータを ℓ を縦軸に、T^2 を横軸にしたグラフに示し、傾きから g を求める。

Results　振り子の長さ　　各自２回測定し、平均をとる

名前	糸の長さ	金属級の半径	合計(m)
			平均

周期　　正面から見て糸が標線を同じ向きに 10 回通過する時間から周期 T を求める
各自２回測定すること

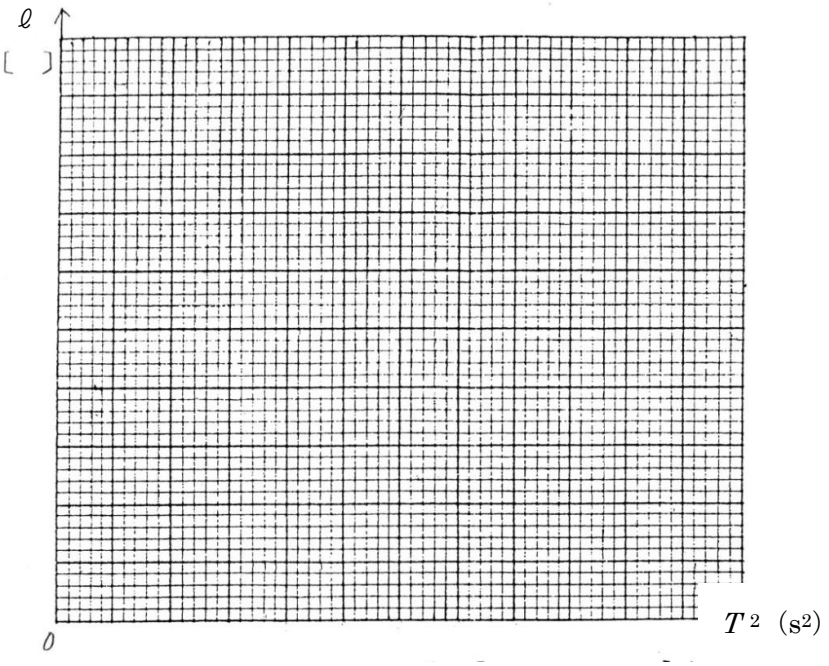
名前	10 回分の時間	周期
	平均	

各班のデータ

班	T	T^2	ℓ	班	T	T^2	ℓ
1				6			
2				7			
3				8			
4				9			
5				10			

Consideration　　縦軸に ℓ、横軸に T^2 でグラフを書き、傾きから g の値を求めよ。

参考　周期の公式より　　g ＝



グラフの傾き
エクセルでグラフ(散布図)を書き、近似曲線(直線)から式を求めクラスごとに g を求める。

g＝

Impressions

Class（　　）Number（　　）Name（　　）

４．斜面上の力学台車の運動（生徒実験）

重力加速度の測定を行う前に、記録タイマーの扱いに慣れたり、記録テープからグラフの作成方法を学んだり、グラフから加速度を求める方法を学んだりするためによい実験である。斜面上で力学台車が受ける力のベクトルの理解にも役立つ。

ガリレオ・ガリレイも鉛直に落下する運動をうすめる運動として斜面を利用して実験をしたのであろう。

物理の学習を始めたばかりの生徒が行っても失敗がなく、容易に等加速度直線運動のデータが得られるので、授業時間にゆとりがあれば勧めたい実験である。

準備

斜面は厚さ 15mm 程度の反ったり、たわんだりしない合板が好ましい。90×180cm の板を４枚に切った大きさでよい。実験机の中央で、力学台車が斜面上を等加速度運動から等速度運動に移る様子がテープに記録できる。このテープ一本全体をテープ・グラフにするとよい。

実験机の端に教科書を積み重ねて、がたつかない斜面にする。その傾き θ は自作の大きな分度器を斜面にあてがい、おもりを下げた懸垂線で求めさせてもよい。しかし、数学で三角関数を既習済みの生徒を対象にする場合、斜面の長さ l と高さ h を測り、その比 h/l から $\sin\theta$ を計算し、三角関数表から θ を求めさせたほうが正確である。θ は 5°～15° の範囲で班員一人一人が異なる傾きで実験を試みさせるのもよい。

本実験のまとめ方としてはテープ・グラフの理解に重点を置いている。テープを６打点間隔に切ってプリントにのりではりつける作業は生徒にとって苦痛ではない。

テープの頭を通る直線を引かせその傾きが加速度になるという理解に至らせたい。

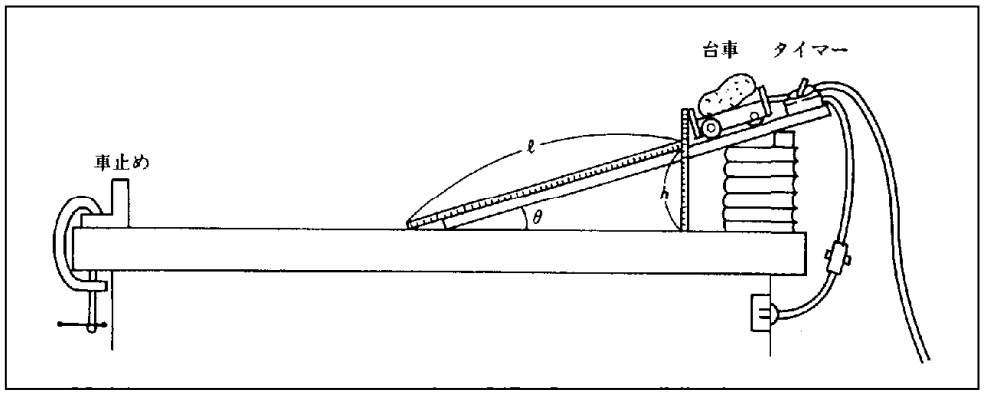
参考文献　「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会 1994）

斜面上の力学台車の運動

目的　斜面上の力学台車の運動を記録タイマーを用いて，短い時間に区切って調べる。時刻と速度のグラフを作成し，加速度を求めて考察する。

準備　力学台車，おもり，記録タイマー，記録テープ，定規，斜面，車止め，C型クランプ，はさみ，のり

方法

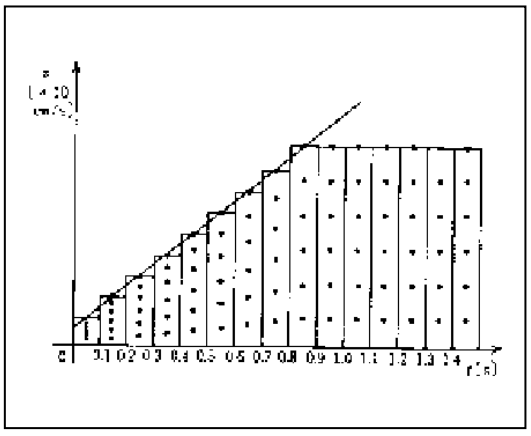


1．上図のように，実験机の上に5～15度の斜面を作り，上端に記録タイマーを固定する（60Hz）。机の端には，車止めを固定する。
2．斜面の上端から台車を静かにすべらせる。
3．斜面上の台車の運動を，記録タイマーで記録する。
4．台車に乗せるおもりの数や斜面の傾きを変えて実験してみよう。

結果

1．テープを6打点間隔に切って，順にのりではる。

2．右図のようにテープの上端を通る直線を書き，テープ・グラフを作る



3．テープ・グラフは速さvと時間 t のグラフである。テープ1本の幅が0.1sの時間間隔を表し，テープ1本の長さが0.1s間に台車が進んだ距離，すなわち速さを表している。このテープ・グラフの傾きから斜面上を運動中の加速度を求めよ。

考察

1．斜面の傾きを変えないとき，台車に乗せたおもりの数によって加速度の値はどうであったか。

2．結果の３．のテープ・グラフを見てどんなことが考えられるか。斜面上の運動と水平面上の運動とを比べてみよう。

3．得られたテープの基準点を原点 s＝0㎝として，原点から6打点の区切り毎の距離 $s1$，$s2$，…をものさしで測り次のような表の距離 s の欄に記入し表を作ってみよう。

時刻 t [s]	距離 s [cm]	距離の差 Δs [cm]	速さ v[m/s]	中央時刻 t [s]
0.0				
				0.05
0.1				
				0.15
0.2				
				0.25
0.3				
				0.35
0.4				
				0.45
0.5				
				0.55
0.6				
				0.65
0.7				
				0.75
0.8				
				0.85
0.9				

研究

1．斜面上に台車があるとき，台車に作用する重力 W，垂直抗力 N のカのベクトルを作図しよう。

2．斜面に沿う力の成分から台車が運動するときの加速度が $a=g\cdot\sin\theta$ となることを導いてみよう。

3．実験で求めた加速度の値と $g\cdot\sin\theta$ の値との違いはいくらか。また，その原因について考えてみよう。

（　）組（　）番　　氏名（　　）

５．真空中の自由落下（演示実験）

YouTube　「Free fall in vacuum」

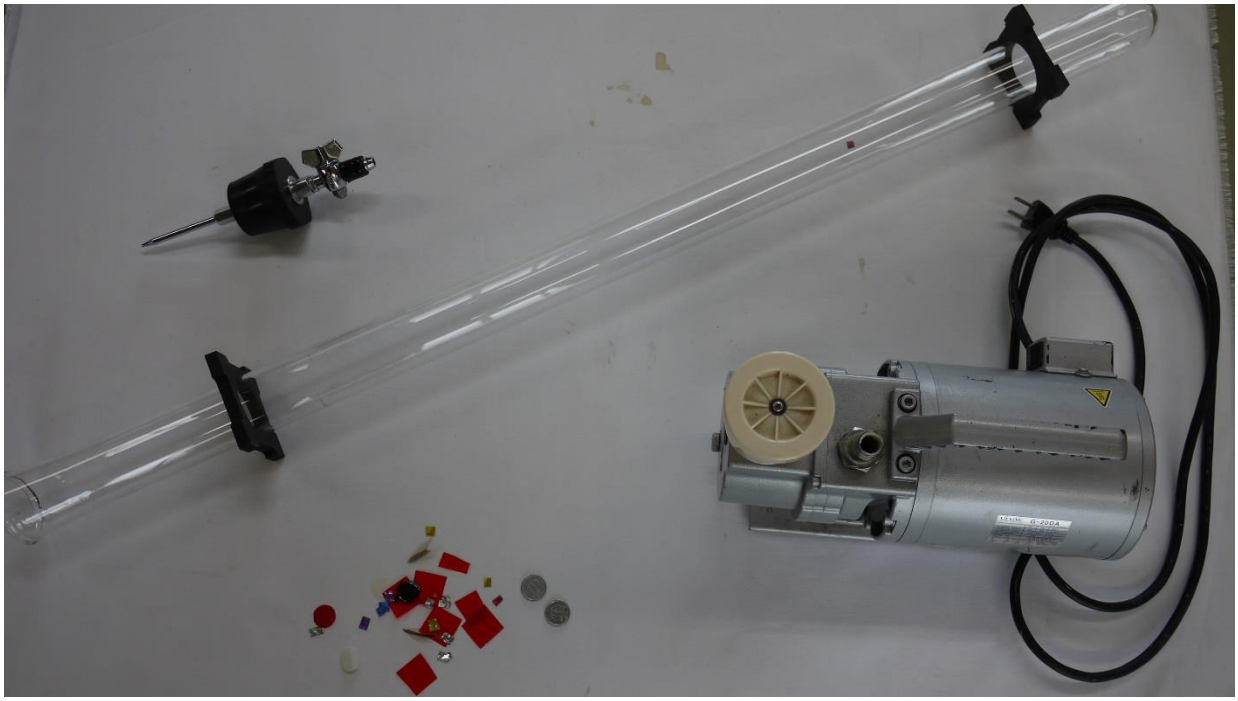
「重いものが早く落ちる」とは、空気抵抗がある地球上で生活する高校生にとって自然と身についている感覚である。では、同じ質量の物体は一緒に落ちるかというと話は変わる。質量の同じプリントを同じ高さから落とすとき、一方を丸めて落とすと、同時に地面に到着しないことは容易に理解できる。つまり「重いものは早く落ちる」という法則は、どこかがおかしいことになる。

真空中における自由落下運動では、物体の質量に関係なく、重力加速度の大きさは等しい。アポロ１１号が月面に到着した際に撮影された映像も興味深い。

YouTube　「The Hammer and the Feather」

大規模な真空容器で同時落下実験を行った次の動画も興味深い。

YouTube　Brian Cox visits the world's biggest vacuum
Human Universe - BBC

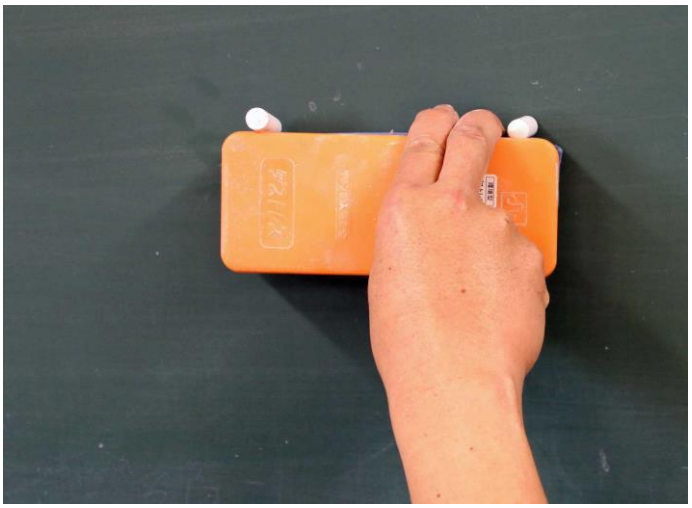


６．自由落下ｖｓ水平投射（演示実験）

YouTube 「Free fall &　Horizontal Projection」

YouTube 「Free fall vs Sideways drop」

水平投射運動において、水平方向は力を受けないため等速運動を行い、鉛直方向は重力を受けるために自由落下運動を行う。このことは、何よりも、自由落下と水平投射した物体が同時に地面に着地することを見せることで理解が深まる。黒板に磁石で貼り付け、２つのボールが、チョーク受けに同時に着地することを見せる下記のような装置がある。



同じような実験は、黒板消しとチョークを利用しても可能である。

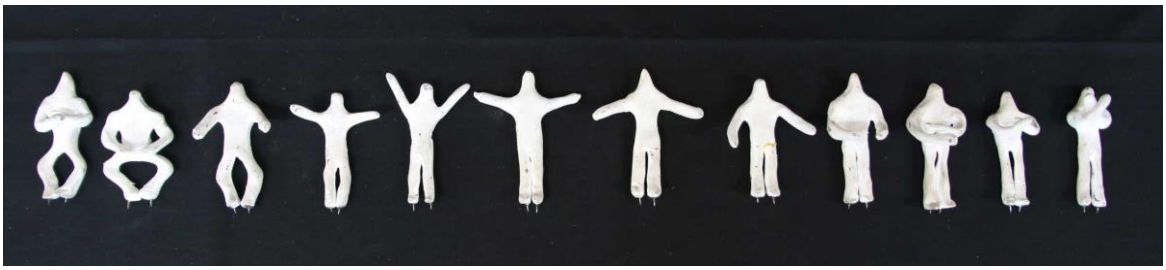
黒板消しの上部の左端と右端に半分程度に折ったチョークをのせる。黒板消しを水平に押しつけ、指を右側のチョークの左側で触るように持つ。黒板消しを黒板に押しつけたまま、水平右向きにサッとずらすと右側のチョークは水平投射し、左側のチョークは自由落下する。チョーク受けに同時に着地するようすが確認できる。

この方法は、札幌の斎藤孝先生にご指導頂いた。

7．立体ゾートロープ（演示実験）

YouTube　「Zoetrope three-dimensional」

生徒は、暗室でのストロボ実験に興味津々である。扇風機の羽根にアインシュタイン博士の顔写真を貼って、顔写真が右回りに回ったり、左回りに回ったり、顔写真が３枚になったりすると歓声があがる。パタパタ漫画や、フェナキスティスコープも捨てがたいが、立体的なパタパタ漫画（ゾートロープ）の作成は、さほど難しくなく受けもいい。ラジオ体操の最初の運動を粘土で作った。足の裏に釘を埋め、レコードプレーヤーのターンテーブル上にコルクを敷き、12 体の人形を刺した。実験室の中央でこれを見せると、すべることはない。



YouTube　「Zigzag drop」

ストロボを使って、水滴の放物運動を見せる実験は有名だが、今は安いハイスピードカメラで簡単に再生できるので、よくわかっている生徒には、水滴がジグザグに落下する方が受けがよい。意外と何も不思議と思わない生徒が多いが、水滴がジグザグに昇っていくと、その不思議さに気づくことが多い。

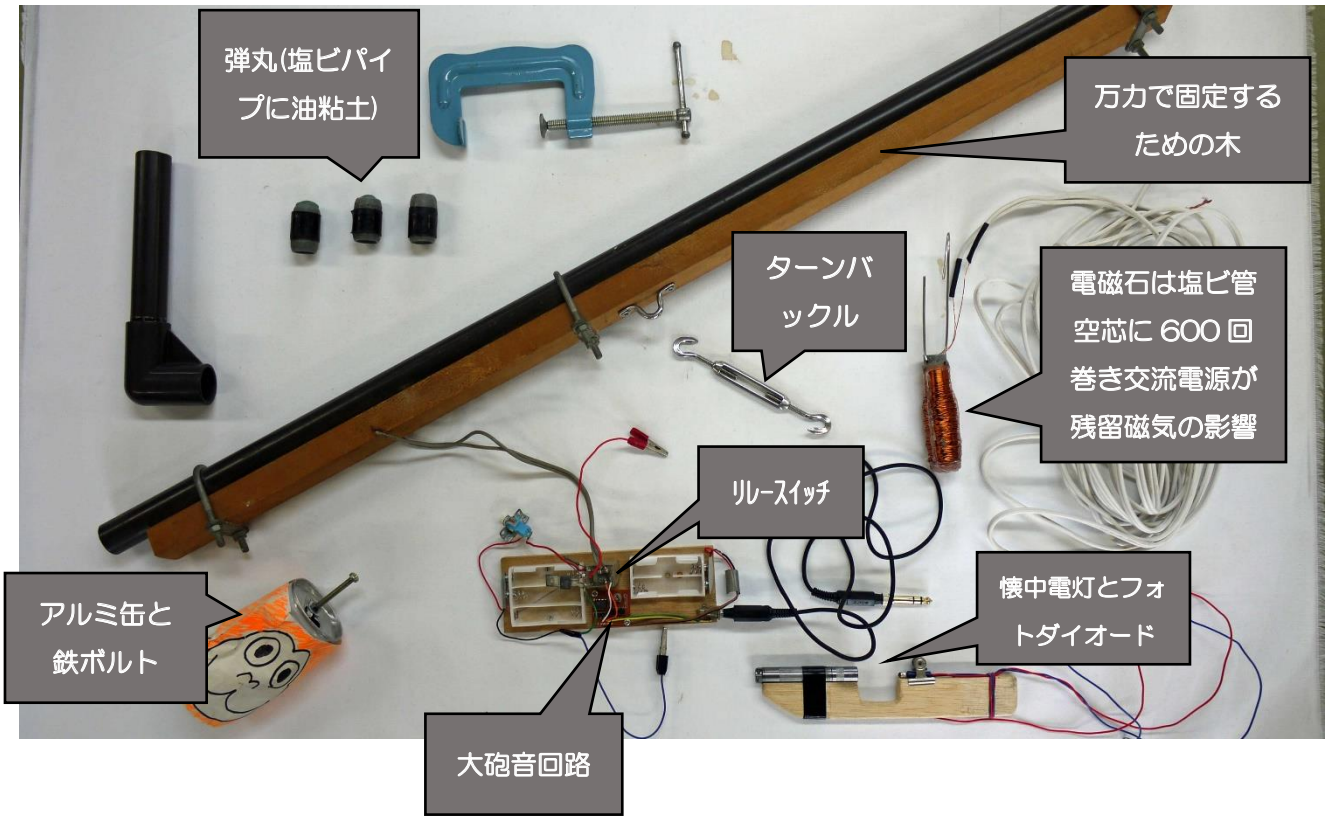
8．モンキーハンティング（演示実験）

YouTube 「Monkey Hunting」

YouTube 「The light sensor switch circuit」

モンキーハンティングの実験は、一度見れば一生忘れない。担当教員の手作りであればなおのことだ。少し大がかりではあるが、光センサースイッチを利用し、弾丸の発射音もつけることで、生徒は大いに盛り上がる。この装置は、水平距離 11m 高さ 3m から猿を落下させる設定で製作した（青少年のための科学の祭典大阪大会 1996）。命中率を上げる鍵となったのはターンバックルの使用であった。

ライフル銃は、内径 23mm の鋼鉄製パイプ(長さ 1m)を U ボルトで角材に固定し、息を吹き込むためのパイプに L 型ジョイントを取り付け、万力ではさみ机に固定する。ターンバックルの使用により、微調整がしやすくなり、息を吹き込むときの銃身のぶれを押さえることができた。弾丸は水道用塩ビ VP パイプ(外経 23mm)を用い、ビニールテープを巻いて外径を調整した。パイプの中には油粘土を詰めた。長さは 25mm、質量は 25g 程度になった。本来は鉄製の球体が安定した飛行をするが、安全面での配慮からの選択となった。電磁石は、外径 16mm の塩ビ VP パイプに 0.6mm ホルマル線を 600 回巻いて製作した。鉄芯を入れず、交流電流を流し、鉄釘を吸い込ませるようにした。スイッチ切断時の残留磁気の影響をなくすためである。



参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」p.100(2001 黎明書房)
宝多卓男「モンキーハンティング」p.55（科学技術体験活動マニュアル 1995）

９．慣性の法則（演示実験）

YouTube　「Law of Inertia」

釣り用の鉛のおもり(120g を使用したが、もっと大きくても可)、の上下にドリルで穴を空け、適当な大きさのヒートンを取り付ける。木綿製の糸(50 番を使用したが、他のものでも可)を上下に結び、上の糸をスタンドにくくりつける。下の糸を引き糸を切る。このとき下の糸の引き方によって、上の糸が切れるか、下の糸が切れるかが決まる。

物体が力を受けないとき、または受ける力がつり合っているとき、物体は最初の運動状態を変えない。静止していた物体は静止を続け、動いていた物体はその速度で等速直線運動をする。この性質を慣性という。

$ma=F$　の式は、力が同じであるとき、質量が大きいほど生じる加速度が小さいことを示している。質量が大きいと、力を受けても現在の状態を維持しようとする性質（慣性）が大きいことを示している。

① 下の糸をゆっくり引くとき、上の糸と下の糸はどちらが切れやすいか？
② 下の糸を急に引くとき、上の糸と下の糸はどちらが切れやすいか？

①の解答は「上の糸」である。上の糸はおもりに引かれ（＝おもりの受ける重力)、さらにおもりは下の糸に引かれている。おもりについてのつり合いの式を立てると、上の糸の張力＝下の糸の張力＋おもりの重力となり、上の糸は下の糸より大きな張力をもつ。

②の解答は「下の糸」である。おもりが下の糸から受ける力は瞬間的であるため、その慣性によって下向きに速度を持たない。これにより，おもりは上の糸に対して下の糸の張力を伝えない。下の糸は強く瞬時に引かれた力によって切れるが、上の糸はおもりを支える力しか受けていないので切れることはない。

参考文献　Paul.G.Hewitt 氏のデモンストレーションを参考にした。

10. 運動の法則（生徒実験）

力の及ぼす影響は、運動に関する３つの法則によって正確に記述できる。この法則をまとめたのがニュートンであった。さらに、2 物体間に働く万有引力を定式化した。これらの法則から得られる結果と惑星や月の運動が定量的に一致した。

ニュートンの功績によって自然界に関する理解は大きく前進した。その後、約２世紀にわたってニュートンの運動法則は力学の基礎として十分な役割を果たした。

20 世紀の物理学は、ニュートン力学が当てはまらない現象を見つけ出した。原子レベルにおける微視的な世界の現象や光速に近い高速度の現象では、ニュートンの法則が当てはまらないことが明らかになった。しかし、巨視的な物体の通常の速度における運動を議論するときには、今も、ニュートンの法則が正確に解を求める方法であることに変わりはない。

運動の法則（第２法則）の実験は多くの学校現場で行われていて様々なパターンがあるが，ここでは３種類の実験を紹介する。

運動の法則は、高校の物理で最初に学ぶ重要な法則である。運動の法則を体験を通して導くところにこの実験の意義がある。ＰＳＳＣ物理では、生徒たちが手で台車を引くことによって「加えた力」を実感できるとしている。物体の運動について調べるとき、物体に作用している力を正しく認識することが不可欠であり、自分の手で引くことは大変意味のあることであろう。

しかし、一定の大きさの力で台車を引き続けることが難しくて、良いデータが得られ無い場合、生徒が成就感を持ちにくい実験となってしまう。ここでは、一定の力を加える方法を取った。準備が整えばスムーズに進めることができ、データも良い結果となる。どのような方法で実施するかは授業担当者の裁量によるところである。

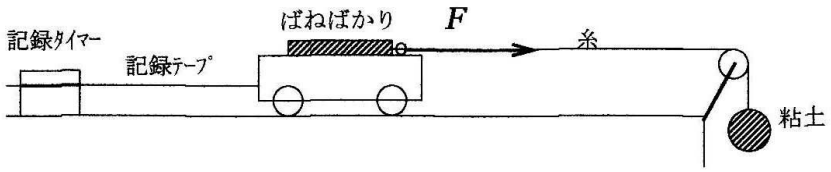
参考文献　大阪府立春日丘高等学校　吉新聖二先生に資料提供いただいた。（１つ目）
「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪府高等学校理化教育研究会 1994）（２つ目）

Second Law of Motion

目的　台車に生じる加速度と、台車にはたらく力、台車の質量の関係を調べ、運動の第２法則（$ma=F$ ）を検証する。

装置　ばねばかり付き台車(質量 1.00 kg)、おもり(1.00 kg)を数個、記録タイマー、記録テープ、粘土、クランプ付き滑車、糸、ものさし

方法



（１）ばねばかり付き台車の全質量 m［kg］が、決められた値になるように、おもりを調節する。（自分の班が使用する台車の質量 m は【データ処理１】に記入する）

（２）粘土に固定した糸を滑車にかける。手を離して台車を走らせ、台車が動いているときの台車にはたらく力 F［gw］（ばねばかりの目盛）が決められた大きさになるように、粘土の量を調節する。＜注意＞台車が動いている状態で、ばねばかりの目盛りを真上から見ること。　→【データ処理１】

（３）記録タイマーを適切な位置に固定し、電源コンセント（交流 100V）につなぐ。

（４）記録タイマーに記録テープを通した後、台車を手で静止させてテープをつけ、記録タイマーのスイッチを入れてから、台車を離して運動を記録する。

役割分担　A：力の大きさを確認する係　　B：粘土の量を調整する係 C：記録タイマーの管理係　　D：車止め兼テープ管理係

（５）テープを分析して、台車の加速度 a［cm/s^2］を求める。（**有効数字３桁で**）

① 加速度が小さいので、６打点ごと（１/10 秒毎）の距離を測定して記録する。

② １/10 秒毎の速さ v［cm/ｓ］を計算で求め、グラフ用紙に $v-t$ グラフを書く。
※ このとき、正しい力の大きさで引けた部分のデータだけを使うこと。

③ グラフの直線上の２点より傾きを求め、台車の加速度 a［cm/s^2］を求める。　→【データ処理２】

（６）各班毎に求めた質量 m や引く力 F が異なる加速度 a のデータを【データ処理３】に記録し、このデータを元に「加速度 a とカ F の関係を表すグラフ」と「加速度 a と質量（の逆数）$1/m$ の関係を表すグラフ」をグラフ用紙に書く。　→　【データ処理３】

（７）実験結果（２つのグラフ）から、物体に生じる加速度 a と、物体にはたらく力 F、物体の質量 m との関係を考察する。

【データ処理１】　自分の班が測定するデータを確認しよう！

班
台車を引く力 F　＝　　ｇｗ

台車とおもり(　　個)の全質量　m＝　　kg

台車を引くために使用した粘土の質量は（　　）ｇ

実験日　（　　）月（　　）日（　　）

【データ処理２】

時間・［s］	0	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
変　位［cm］		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
速さ・［cm/s］									

グラフ用紙に $v-t$ グラフを書き、台車の加速度 a を求めると、

【データ処理３】

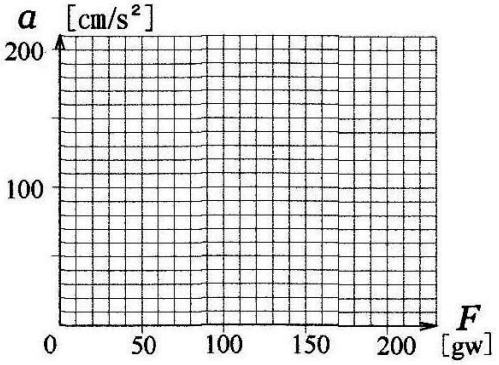
（１）全班の測定した加速度を次表にまとめる。（加速度 a の単位は［cm/s^2］）

台車の質量m	1/m(1/kg)	F =５０ｇW	F＝１００ｇW	F=150gW	F=200gW
おもり０個 1.00kg	1/1.00=1.00				
おもり１個 2.00kg	1/2.00=0.50				
おもり２個 3.00kg					
おもり３個 4.00kg					

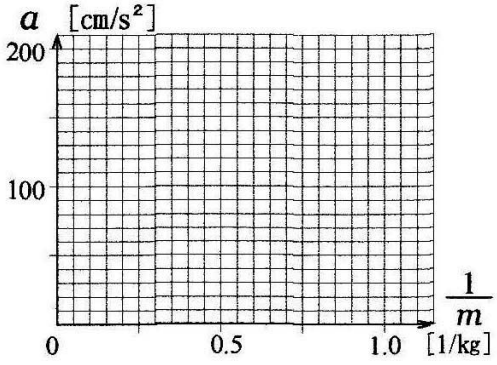
（２）「**加速度** a と**力** F の関係のグラフ」

「**加速度** a と**質量**（１／m）の関係のグラフ」

m ＝1.00 kg と m ＝2.00 kg について



F ＝100 gw と F ＝150 gw について



【 考察 】

（１）加速度 a、力 F、質量 m の間には、どんな関係が成り立つか。

（２）自分の班の加速度の理論値を求め、測定値との誤差と、誤差の原因を考えよ。

（３）その他、考えたこと、気づいたこと、自分で調べたことなど。

(　　)組(　　)番　　氏名(　　)

＜実験レポート・チェックリスト＞

レポートを書くときに、次の項目をチェックしながら確認しましょう。

（1）レポートの書式と提出

□ レポート用紙に書いている。（ルーズリーフやノートの紙は不可）

□ 表紙をつけ、実験のタイトル、日付や班員の名前を書いている。

□ ホッチキス等で綴じている。

（2）実験内容について

□ 実験の目的を書いている。

□ 実験手順や方法を、図などを使ってわかりやすく書いている。
（変更した点や、自分で工夫した点などがあれば書く）

（3）データ処理

□ 記録テープからデータを正しく読み取っている。（6打点毎に 1/10 ㎜まで読む！）

□ 実験から得られたデータを、見やすく表などにして書いている。

□ グラフはグラフ用紙に書いている。

□ グラフの縦軸、横軸が何を表しているか、単位は何かを書いている。

□ $v-t$ グラフの時間を中間点（0 と 1/10 の間、1/10 と 2/10 の間…）にしている。

□ グラフが直線になると判断すれば、ものさしで直線を引く。（原点は通るかな？）

□ 明らかに直線から外れる点（データ）は無視し、そうなった理由を考えて書く。

□ $v-t$ グラフの、直線上のできるだけ離れた２点を選んで○印をつけている。

□ 結果（加速度 a）の計算に使った点のデータ（グラフの目盛り）を明記している。

□ 結果の求め方（計算式）をはっきり書いている。

□ 有効数字を考えて、計算結果を求めている。（加速度 a は有効数字３桁で）

□ 結果を大きく見やすく明記している。（単位をつけ忘れない！）

（4）考　察

□　考察を書いている。（考察は感想ではない！）

□　実験でわかったこと気づいたことを書いている。

□　理論値を計算で求めて書いている。（単位の換算を忘れずに）

□　理論値と測定値の誤差（%）を求めている。

□　誤差の原因について、自分なりに考えて書いている。

□　実験内容に関連して、自分で調べたことや考えたことを書いている。

（5）感　想

□　実験の感想を書いている。

11．運動の法則（ゴムひもで引く実験）

目的　力学台車を用いて，加速度aを測定し，力Fと質量mとの関係を調べる。

器具　力学台車，記録タイマー，記録テープ，木の棒，ゴムひも4本，力学台車と同じ質量のおもり(3個)，輸ゴム，車止め，ものさし

方法

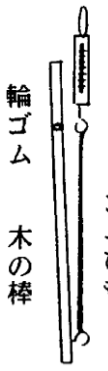
実験を始めるに当たって

① 長いゴムひも1本を結び輪を作る。図のように，ゴムひもの一端を木の棒に取り付けたフックに，他端をばねばかりのフックに掛け，全体が鉛直方向を向くようにする。

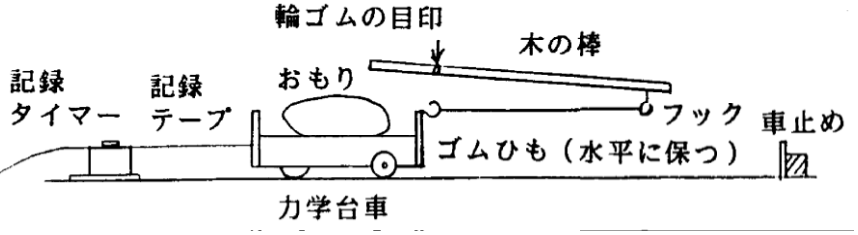
② 次に，ばねばかりの指標が40gwを示すようにゴムひもを伸ばす。このとき，棒上のゴムひもの端の位置に輪ゴムで目印をつける。

③ 続いて，ゴムひも2本を用いて80gw，3本で120gw，4本で160gwの位置にそのつど，輪ゴムで目印をつける。

④ 図のように，ゴムひもを力学台車の前部に掛け，その位置に輪ゴムの目印がくるようにゴムひもを伸ばし，その位置がずれないように，台車と共に体を動かす。よく練習をしてから，台車の運動を記録タイマーでテープに記録する。



（図－１）



（図－２）

１．力学台車の質量を一定(力学台車におもりを1個のせる。)にし，引く力の大きさを変える。

① ゴムひも1本を用いて40gwの力で台車を引き続ける。この運動をタイマーで記録する。

② ゴムひもを2本にし80gwの力で，さらに3本にし120gwの力で，最後に4本にし160gwの力で台車を引き，これらの運動をタイマーで記録する。

２．引く力の大きさを一定にし，力学台軍の質量を変える。

① ゴムひもを2本にし80gwの一定の力で台車を引き続ける。初めは，台車におもりを3個のせて引く。次におもりを2個にし，さらには1個にし，最後にはおもりをのせないで引く。このときの台車の運動をタイマーで記録する。

結果　記録テープの打点を0.1秒毎に区切って，この間の変位を測定し，これから平均の速さを求め，表を完成させる。次に表をもとにして$v-t$グラフを作成し，これから加速度aを求める。

1．力学台車の質量を一定にし、引く力の大きさを変える。

引く力40gw
おもり１個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			0.05
0.1			0.15

引く力80gw
おもり１個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			0.05
0.1			0.15

引く力120gw
おもり１個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			0.05
0.1			0.15

引く力160gw
おもり１個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			0.05
0.1			0.15

2．引く力の大きさを一定にし，力学台車の質量を変える。

引く力80gw
おもり３個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			
0.1			0.05
			0.15

引く力80gw
おもり２個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			
0.1			0.05
			0.15

引く力80gw
おもり１個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			
0.1			0.05
			0.15

引く力80gw
おもり0個

時刻t［s］	変位［cm］	速さv［m/s］	中央時刻 t［s］
0			
0.1			0.05
			0.15

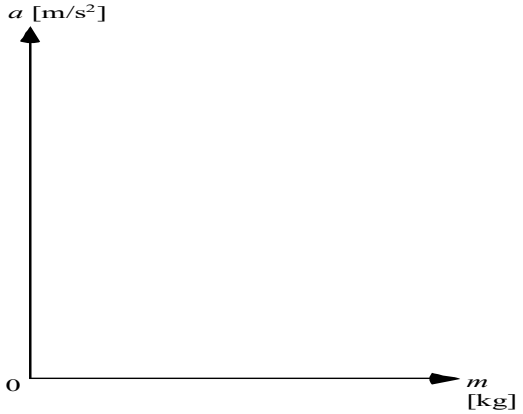
3．力学台車とおもり１個の質量の和　m＝＿＿＿＿＿kg

F［gw］				
a［m/s^2］				

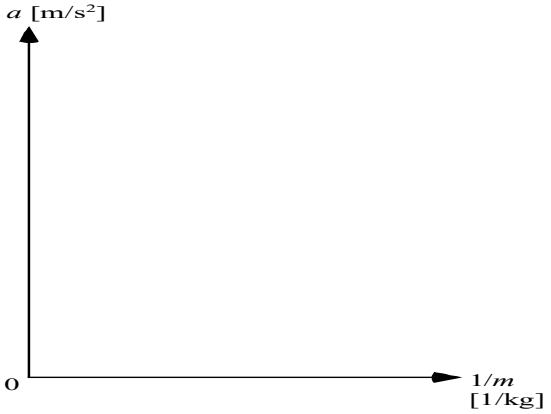
4．引いた力の大きさ　F＝80gw

おもりの個数	3	2	1	0
m［kg］				
1/m［1/kg］				
a［m/s^2］				

5．a－Fグラフを作成する。



6．a－1/m グラフを作成する。



考察　１．物体の質量が一定のとき，a－Fグラフは，どんなかたちになったか。
このことから加速度aと加えたカFとの間にはどんな関係があると言えるか。

２．物体に加えた力が一定のとき，a－1/mグラフは，どんなかたちになったか。このことからから加速度aと質量mとの間にはどんな関係があると言えるか。

３．加速度aは，カFおよび質量mとどんな関係があると言えるか。式を用いてまとめてみよう。

研究　１．１のa－Fグラフの傾きk_1を求めてみよう。F＝0gwのときのaの値としては実験Ａでの結果を用いて，40gw，80gw，120gw，160gwの各点を通る直線を引きその傾きを求めるのが良い。

２．k_1に台車とおもり1個の質量の和mをかけて$K_1 = m \times k_1$を求めてみよう。

３．２．のa－１／mグラフの傾きk_2を求めてみよう。

４．k_2を力の大きさFで割って$K_2 = k_2 / F$を求めてみよう。

５．K_1，K_2の値が共に9.8kg･m/s^2･1/gwに近いことからどのような結論が得られるか。

６．慣性質量と重力質量について調べてみよう。

（　）組（　）番　　氏名（　　）

12. 運動の法則（プロペラ付き自動車を用いた方法）

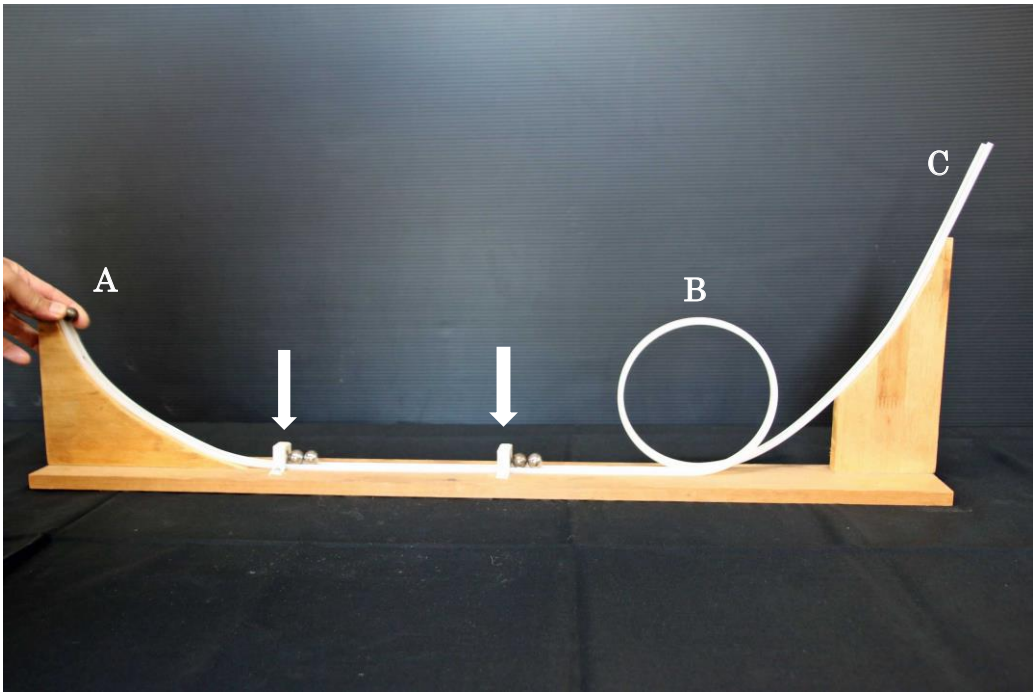
YouTube 「Law of motion」

実験机の上に 30 ㎝の距離を隔ててガムテープを貼る。スタート地点に 100g のプロペラ付き自動車（乾電池式）を手で支え、プロペラを回した状態で静止させる。手を離すと同時にストップウォッチをスタートさせ、ゴールを示すガムテープを通過するまでの時間を計測する。次に、50g の重りを乗せ 150g の質量になった自動車を同じように 30 ㎝の距離を等加速度運動させる。同様に 100g の重りを乗せた 200g の自動車、150g の重りを乗せた 250g の自動車についても 30 ㎝を等加速度運動する時間を計測する。それぞれ 3 回程度計測し平均する。次にそれぞれの時間を $x=(1/2)\,a\,t^2$ の式に代入（$x=0.3$）して加速度を計算する。次に横軸に $1/m$、縦軸に a をとったグラフを書く。車の質量を変えても、プロペラが空気を押し出す力(空気がプロペラを押す力)は一定であるので、傾きは一定となる。この傾きを求めると、力を求めることもできる。

13. ガウス加速器（演示実験）

YouTube 「Gauss accelerator」

ネオジム磁石の磁力を利用し、鉄球を加速することで、あたかも運動量保存則が成立していないかのように見せる事ができる装置である。図はＢがネオジム磁石。動かないように固定する。A、C、Ｄは鉄球である。Ａを転がすと、Ｂに近づくにつれてＢの磁力で加速される。Ｂにぶつかる直前の加速が大きいが、人の目には早すぎて、この加速に気がつかない。転がし始めてＡの速度が目に焼き付いているので、はじき飛ばされたＤの速さに驚く。Ｂの存在によって、Ａは最初の状態で磁力による位置エネルギーを持ち、Ｂに接近することで運動エネルギーに転化される。

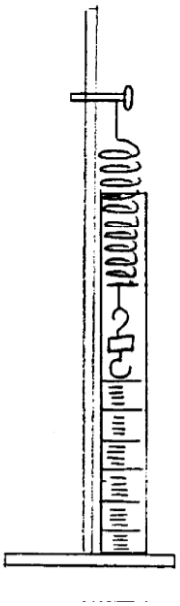


写真は、２段式のガウス加速器である。矢印の２カ所にネオジム磁石が固定されている。ループの最上部Ｂを鉄球が通過するためには、ループの半径の 2.5 倍の高さから落下させる必要がある。摩擦や空気抵抗の影響で、実際には写真のＣ点あたりから落下させないとＢを通過できない。ガウス加速器を使うと、Ｂと同じ高さのＡより低い点から放しても、Ｂを無事通過することができる。

14. フックの法則（生徒実験）

目　的　ばねの伸びと加えた力の間の関係を調べる。

器　具　つるまきばね，おもり5個程度，目盛り付き鏡(または，ものさし)，
スタンド



方　法

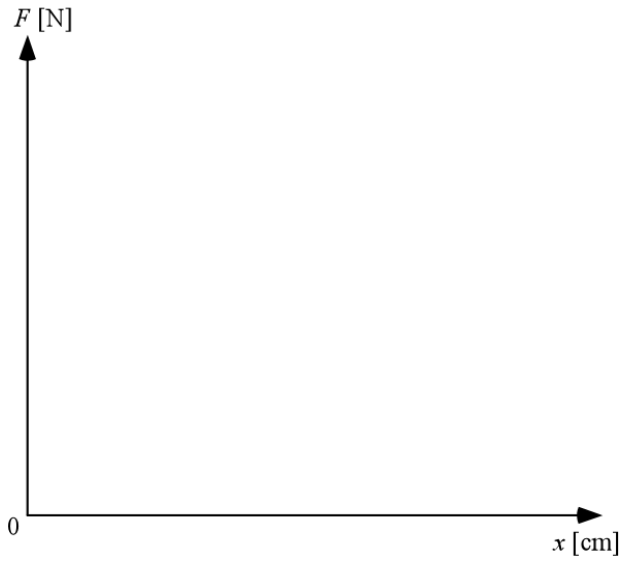
1．図のように，スタンドにばねと目盛り付き鏡を固定し，最初のばねの下端の位置x_1を読む。

2．ばねにおもり1個をつるした後のばねの下端の位置x_2を読む。

3．以下同様におもりを増やしてゆき，その都度ばねの下端の位置を読む。

結　果　表を完成し，$F-x$グラフを作成する。

おもりの質量 m [g]	ばねに加えた力 F [N]	後のばねの位置 x_2 [c	最初のばねの位置 x_1 [c	ばねの伸び x [cm]



考　察

1．ばねの伸びxとばねに加えたカFとの間には，どのような関係があるか。

2．ばね定数k[N/m1を求めよ。

研　究

1．ばねを2本用意し，直列または並列につないだとき，ばね定数はどうなるか試してみよう。

2．おもりを取り除くと，ばねはもとの長さに戻る。おもりをさらに増やして実験をし，おもりを取り除いたとき，ばねがもとの長さに戻るかどうか確かめてみよう。

（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

参考文献　「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪府高等学校理化教育研究会 1994）

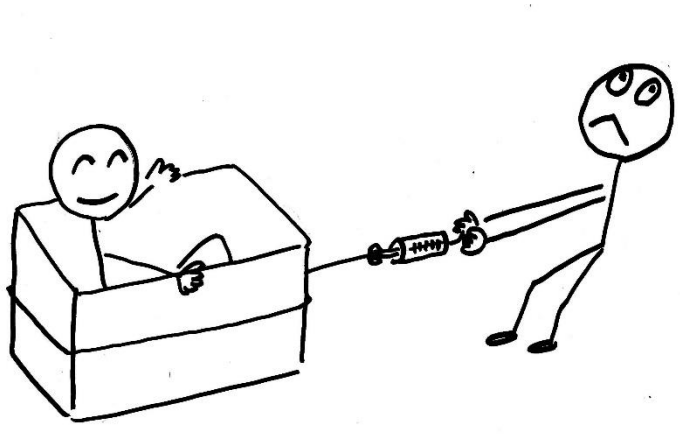
15. 摩擦係数の測定（生徒実験）

YouTube 「coefficient of static friction」

「物体がすべり始める」「物体は動き出した」といった表現が問題ではよく使われる。最大静止摩擦力が生じ、2 物体は相対的に静止しているのだが、これを教室で効果的に演示できるのが「ダイナミックな摩擦実験」である。

教室の真ん中を花道にするため少し生徒に移動してもらう。写真のようにガムテープとひもで補強した段ボール箱（生徒が中に座れる大きさ）とバネばかり（20kg）を用意し、適当な男子に中に座ってもらう。バネばかりをひもに引っかけて、水平に徐々に大きな力を加えてもらう。動き出す直前の目盛りをもう一人の生徒に見てもらう。このとき動いた後のメモリが小さくなることも確認してもらう。

男子生徒の体重を聞いて、服の分を 1kg ほど加えて質量 m とし、 $f_{max}=\mu mg$ より、静止摩擦係数を割り出す。次に体重が明らかに異なる別の男子に中に入ってもらい、同じ実験を行う。あらかじめ体重を聞かずこすり合う 2 物体が段ボール箱と教室の床で変化しないため、静止摩擦係数が一定と考え、この生徒の体重を当てる。荒っぽい実験だがよく当たる。



参考文献　愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.54（新生出版 1988）

「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会 1994）

Coefficient of static friction & coefficient of kinetic friction

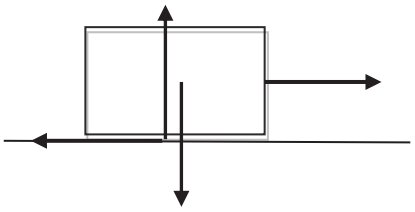
最大摩擦力の公式 ＿＿＿＿＿＿＿＿　動摩擦力の公式 ＿＿＿＿＿＿＿＿

目的：静止摩擦係数を求める
動摩擦係数を求める
静止摩擦係数と動摩擦係数の関係を調べる

準備：バネばかり(200g、20kg)、段ボール箱、発泡ポリスチレンの皿、斜面用分度器付きの板、おもり、長い紙

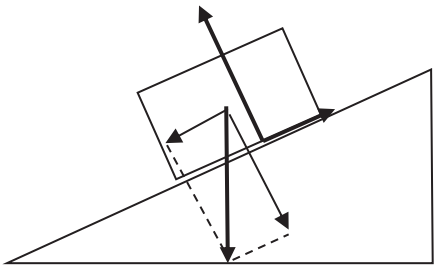
実験１　段ボールの中に友だちに入ってもらい、バネばかりでゆっくり水平に引く。引く力を徐々に大きくしていって動き出す直前のバネばかりの目盛りを測定して静止摩擦係数 μ を求める。

① (　　)が段ボールに入り座る。
② 引く力を徐々に増加し滑りはじめの目盛りを読む。
(　　)kg　→　(　　)N　←　最大摩擦力
③ 公式(　　)より静止摩擦係数 μ 求める。
(　　)の質量を聞く　→　(　　)kg
∴ μ =(　　)



実験２　斜面上においた物体が滑り出す角度を測定することで静止摩擦係数 μ を求める。

① 質量 20g のおもりを皿にのせ、斜面の傾斜を徐々に大きくし、皿が滑り出す角を測る。
② 質量を 50g、70g と変えて同様に実験する。
③ 班のメンバー全員が同じ実験を行い平均をとる。
④ 裏面の三角関数表を利用し μ の値を求める。



名前	20g	50g	70g
平均値			
μ の値			

考察　①　静止摩擦係数についてわかったこと

実験 3　物体が滑っているときの動摩擦係数を求める。擦り合うものは、実験 2 と同じ発泡ポリスチレンと紙に統一する。

① 皿の上に 50g のおもりをのせ、長い紙の上にのせる。

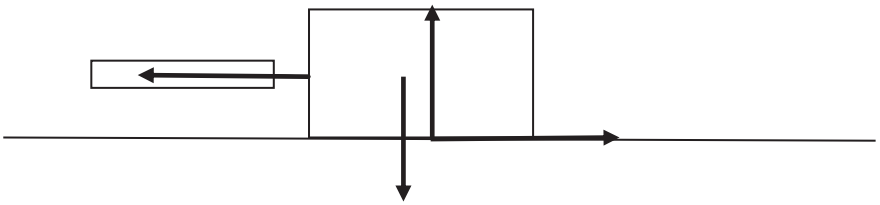
② 長い紙を等速で引くときのバネばかりの目盛りから動摩擦力を求める。

＊動摩擦力の求め方　目盛りは g なので kg に換算してから 9.8 倍して（N）の単位にする。

③ 載せるおもりを 70g、90g に変えて同様に測定する。

④ 班のメンバー全員が同じ実験を行い平均をとる。

＊ 物体を等速で引くよりも、紙を等速で引く方が、安定した実験値が得られます。



名前	50g	70g	90g
平均値			
μ’の値			

考察　② 動摩擦力についてわかったこと

③ 静止摩擦係数と動摩擦係数のついてわかったこと

感想　実験について　班のメンバーとの協力について　自分の役割について

(　　)組(　　)番　氏名(　　)

16. 摩擦力の性質（生徒実験）

目的　　摩擦力の性質を調べ，静止摩擦係数，動摩擦係数を求める。

器具　　台ばかり，本(数冊)，たこ糸，クランプ付き滑車，やかん，ばねばかり

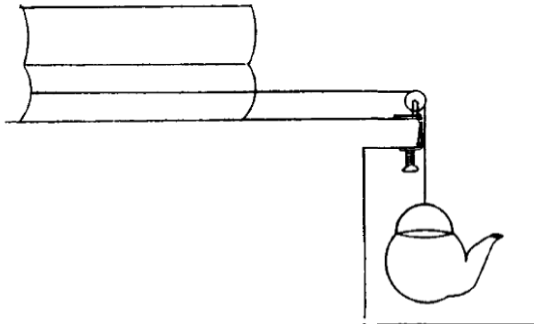
方法

A．静止摩擦力

1．図のように，たこ糸の一端に本を結び，他端にはクランプ付き滑車を通してやかんを結ぶ。本が動き出すまで，やかんに水を少しずつ注ぐ。

2．本が動き出したとき，本の重さとやかんの重さをそれぞれ測る。これを繰り返し，3回測定する。

3．もう1冊本をのせて同様の実験を行う。本を2冊，3冊のせて，同様の実験を行う。

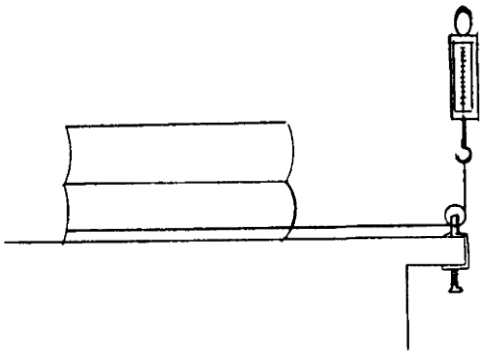


B．動摩擦力

1．図のように，たこ糸の一端に本を結び，他端にはクランプ付き滑車を通してばねばかりを結ぶ。ばねばかりを引くとやがて本が動き出すが，一定の速度で引き続ける。

2．このとき，ばねばかりの目盛りを読む。これを繰り返し3回測定する。

3．もう1冊本をのせて同様の実験を行う。本を2冊，3冊のせて，同様の実験を行う。

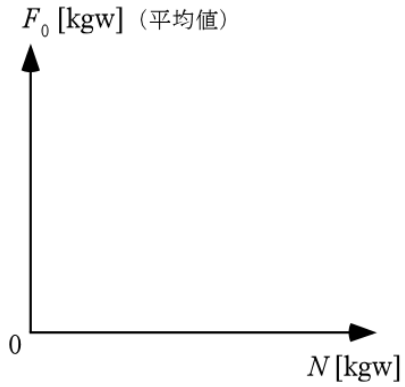


結果

1．本の重さと，やかんの重さを記録し，F_o–Nグラフを作成する。

N：垂直抗力(＝本の重さ)　　F_o：最大摩擦力(＝やかんの重さ)

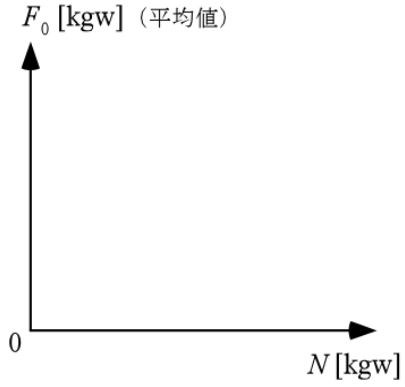
N[kgw]	F_o[kgw]			
	1回目	2回目	3回目	平均値



2．本の重さと，ばねばかりが引く力を記録し，F'－Nグラフを作成する。

N：垂直抗力(=本の重さ)　　F'：動摩擦力(＝ばねばかりが引く力)

N[kgw]	F_o[kgw]			
	1回目	2回目	3回目	平均値



考察

1．①F_o–Nグラフから何が分かるか。

②F_o–Nグラフから静止摩擦係数μを求めてみよう。

2．①F'–Nグラフから何が分かるか。

②F'–Nグラフから動摩擦係数μ'を求めてみよう。

研究

1．面を傾けて本が滑り出すときの角度θを測って，$\tan\theta$とμを比べてみよう。

2．摩擦力を減らすにはどんな工夫をしたら良いだろうか。また，摩擦力はどんな所に利用されているだろうか。

（　）組（　）番　　氏名（　　）

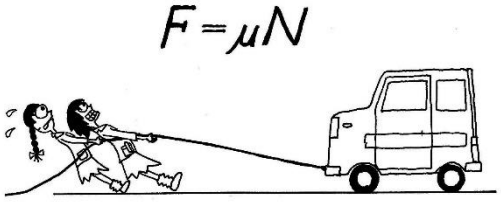
参考文献　「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪府高等学校理化教育研究会 1994）

17. 自動車の綱引き（自動車の牽引力を決めるのは何か）

YouTube 「Tug of War by Cars」

横綱と、１対１で綱引きをしてみる。どうしたら勝てるだろう？　少しずるい方法を考えると、すぐに勝つ方法は見つかる。横綱にローラースケートを履いてもらい、自分はスパイクの付いた靴を履けば勝つことができるだろう。生徒たちの多くは、力のあるものが勝つと信じている。勝敗は摩擦力の大小によって決まる。この実験は、教室を飛び出して大空の下で摩擦を体感する実験である。

自動車２台が綱引きをするとき、その勝敗が自動車の駆動力に依存するのではなく、タイヤと路面の摩擦力によって決まることを体感的に理解させる目的で実施した。路面は、体育館前の滑りやすいと考えられるタイル張りの場所で、雨が降った後のぬれた状態で行った。

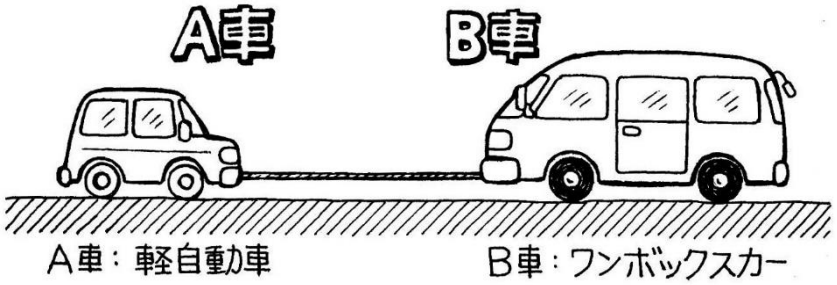


参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」p.22（黎明書房 2001）

自動車の牽引力は何によって決まるか？

体験　サイドブレーキをかけた軽自動車を引っ張って動かします。何人で引くと動かすことができましたか？

予想　４WD のワンボックスカーと前輪駆動の軽自動車が引き合います。どちらが勝つと思いますか。その理由を以下のデータから選びなさい。

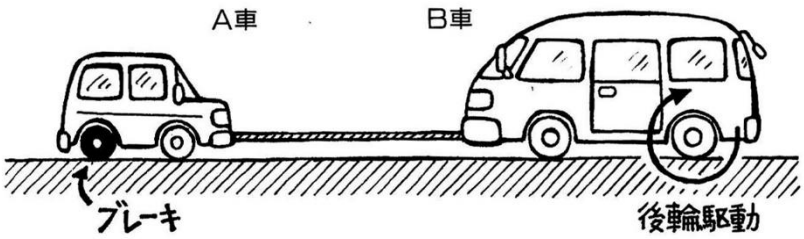


勝つのは

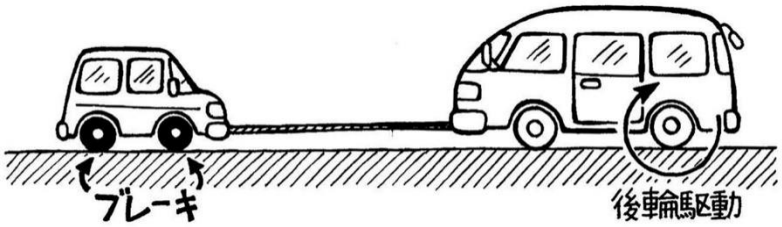
A	最高出力	３５（ps）	７６（ps）
B	排気量	５５０（cc）	２０００（cc）
C	車両重量	６００（kg）	１５００（kg）
D	燃料	ガソリン	軽油

理由は

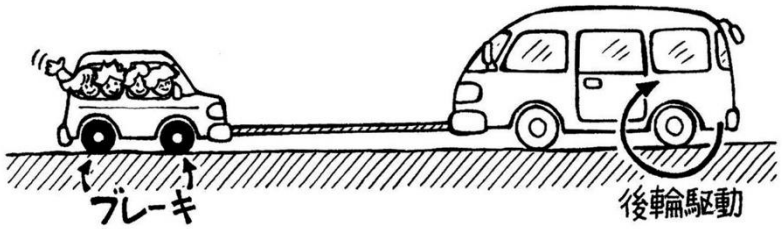
実験-1　サイドブレーキをかけた軽自動車を、後輪駆動のワンボックスカーでひくとどうなったか。
（どのタイヤが回っている、空回りしている、自動車が移動している、等を観察）



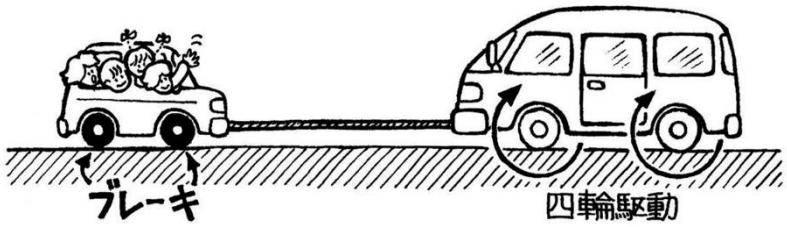
実験-2　フットブレーキをかけた軽自動車を、後輪駆動のワンボックスカーでひくとどうなったか。
（どのタイヤが回っている、空回りしている、自動車が移動している、等を観察）



実験-3　３人乗せてフットブレーキをかけた軽自動車を後輪駆動のワンボックスカーでひくとどうなったか。
（どのタイヤが回っている、空回りしている、自動車が移動している、等を観察）



実験-4　３人乗せてフットブレーキをかけた軽自動車を４輪駆動のワンボックスカーでひくとどうなったか。
（どのタイヤが回っている、空回りしている、自動車が移動している、等を観察）



考察　考察を容易にするため、前輪と後輪に均等に荷重がかかっているものとする。軽自動車は、前輪後輪ともに 300kg の荷重がかかっており、ワンボックスカーは、前輪後輪ともに 750kg の荷重がかかっているものとする。また、２台の車のタイヤは同じもの（路面との静止摩擦係数＝μ）とする。

実験-1

軽自動車の最大静止摩擦力は　$F_{軽}=\mu\times300\times g=300\mu g$

ワンボックスカーの最大静止摩擦力は　$F_{ワ}=\mu\times750\times g=750\mu g$

$F_{軽}<F_{ワ}$　のため、軽自動車は引きずられた。

実験-2　軽自動車の最大摩擦力は前輪にも受けることに注意して、実験-1 を参考に考察せよ。

実験-3　３人合計の体重を 200kg として同様に考察せよ。

実験-4　ワンボックスカーの最大摩擦力は前輪にも受けることに注意して、参考に考察せよ。

感想

（　）組（　）番　　氏名（　　）

18. BB 弾とピンポン球の浮力実験（演示実験）

YouTube 「Buoyancy -molecular motion-」

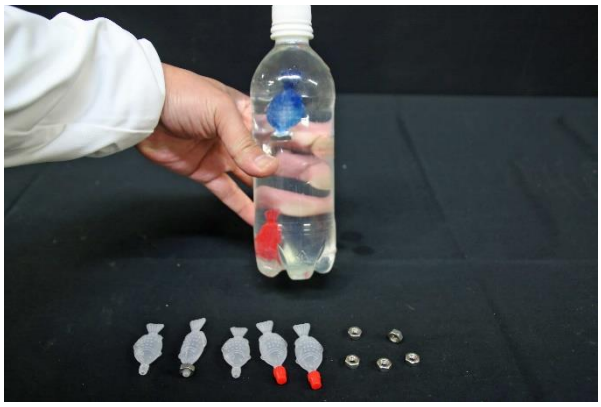
密度の小さなものは密度の大きなものに浮く。木は水に浮かぶが、木を水に浮かべ凍らせてから、上下を逆さまにしても木は浮かんでくることはない。木が水に浮くことを説明するためには、水の分子が運動していることが必要である。昔は米粒を使っていたが、近年では、食べ物を無駄に使うことに抵抗ががあるようなので、BB 弾を使用した。ピンポン球が浮かび上がるには、ピンポン球が受ける重力よりも浮力が大きくならなくてはならない。ここでは、ピンポン球上部の BB 弾の運動よりも、ピンポン球下部の BB 弾の運動が激しくなるように振動を与える必要がある。

地震で発生する液状化現象は、砂粒が地震により運動することで、水に浮力を与え、水分を上へ移動させることで発生する。運動場の砂に水を入れ、段ボール箱の上に置き振動を与えると、水が浮き上がり建物が倒壊する様子を見せることができる。

愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.171（新生出版 1988）

19. 浮沈子（体験）

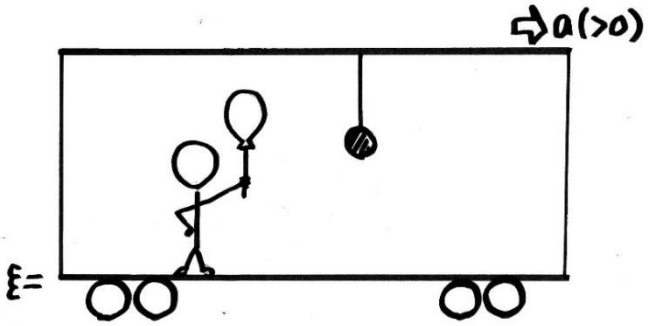
YouTube 「BUOYANCY」



炭酸飲料用のペットボトル（500ml）に浮沈子を入れ、水をいっぱいにしてふたを閉める。生徒にばれないように指でペットボトルを押すと、浮沈子は沈む。醤油入れの金魚の水の量を少し変えておくと、片方だけを沈ませたり（容器を弱く押す）、両方同時に沈ませたり（容器を強く押す）できる。浮力 $F=\rho Vg$ の金魚の体積 Vが小さくなることで浮力 Fが小さくなり、重力とのつり合いが保てなくなり沈む現象がわかりやすい。M6ナットはステンレス製が錆びなくてよい。

20. 加速する列車内のヘリウム風船の動き（演示実験）

YouTube 「Inertial force and buoyancy」



図の様な右向きに加速中の列車の中で、天井から吊されたおもり、子どもが持っているヘリウム風船はどのように傾くだろうか。列車の中で観察すると、おもりは列車の後方へ傾き、ヘリウム風船は前方へ傾く。列車の中では、質量のあるものは、列車の加速度と反対向き（図では左向き）に慣性力を受ける。おもりも、ヘリウム風船も左向きに慣性力を受ける。それだけであればすべて左へ傾くのであるが、実は列車内の空気も慣性力を受ける。その結果、列車内の空気の密度は左の方が大きくなる。軽いヘリウム風船は、列車内の空気から受ける右向きの浮力がヘリウム風船の受ける慣性力よりも大きくなり右へ傾く。これを確かめるには、図のように大きめのフラスコに糸をつけた発泡スチロール球を浮かべた装置を用意する。空気より密度の小さなヘリウム風船を浮かす代わりに、水より密度の小さな発泡スチロール球を浮かせる。このフラスコを水平に右へ加速させると、発泡スチロール球は左向きの慣性力より大きな右向きの浮力を受けて、右へ傾く。

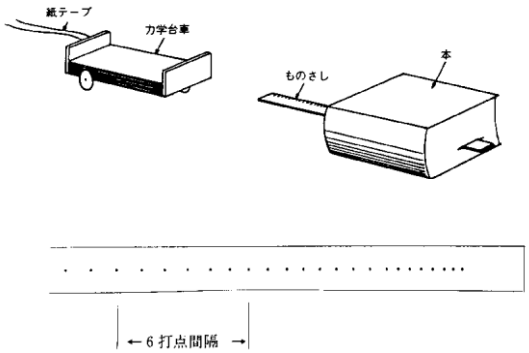
21．仕事と運動エネルギー（生徒実験）

目的　　仕事と運動エネルギーの関係を理解する。

器具　　力学台車，本(数冊)，ものさし(30cm)，記録タイマー，クランプ，記録テープ

方法

図のように，本の間にものさしをはさみ，ものさしの初めの目盛りs_1 を読む。力学台車をものさしに衝突させたのちに，ものさしの後の目盛りs_2 を読む。このとき，力学台車に記録テープを取り付けタイマー(60Hz) に通して運動を記録する。次に力学台車の速度を変えて，同様の測定を行う。
記録テープの打点を見て，衝突直前の６打点間隔を測定しx [cm]とすると，衝突直前の速度vは，　$v=10x$ として求められる。



結果　　力学台車の質量 m ＝ （　　）[kg]

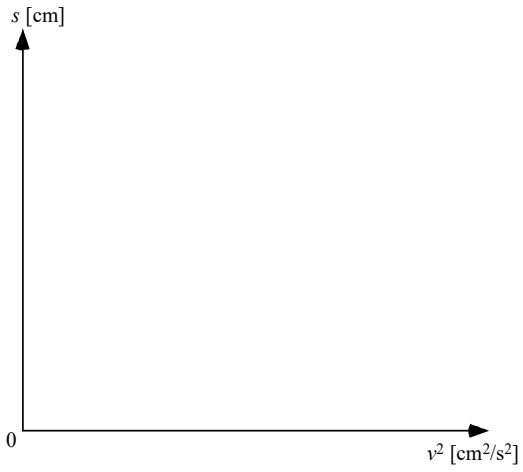
後の目盛り s_2[cm]	初めの目盛り s_1[cm]	移動距離 s [cm]	衝突直前の速度 v [cm/s]	速度の平方 v^2 [(cm/s)^2]

移動距離 s と速度の平方 v^2 から $s-v^2$ グラフを作成し，原点を通る直線を引いてみよう。

考察

１．s － v^2 グラフから，力学台車の運動エネルギーと台車がものさしにした仕事との間にどのような関係があると言えるか考えてみよう。

２．運動エネルギーと仕事が等しいものとして，ものさしと本との間の摩擦力を求めよう。このとき，s と v^2 の値は $s-v^2$ グラフの直線上の１点の座標を用いる。



（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

参考文献　「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪府高等学校理化教育研究会 1994）

22. 仕事率（君は何馬力？）（生徒実験）

仕事率は（W）で示すより、馬力（ps）で示す方が、生徒にとって刺激的なようだ。また、教室や実験室から外に出て実験をするのもたまにいい。体重計をいやがる女子対策には、リュックにおもりを入れたものをいくつか用意し、適当なリュックを担いだ状態で体重を量り、実験をさせるとよい。この実験では、自分の体を重力に逆らって４階まで持ち上げる仕事を時間で割って仕事率を求めているが、厳密には、摩擦力の反作用を利用して水平方向にも仕事をしている。感覚的に、人間が何馬力程度の仕事率を持つのか、車のエンジンの仕事率がいかに大きいかを経験させるためによい。

参考文献：岐阜・愛知物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.58（新生出版 1988）

人間は何馬力か？

目的　原付バイクは７馬力、1000cc の自動車は 100 馬力、さてあなたは何馬力？

準備　体重計、メジャー、ストップウォッチ

方法　１．非常階段の４階のフロアーまでの高さをメジャーで測る。

２．服、スリッパ（靴）のまま体重を量る。

３．各自、ストップウォッチを持って、４階に付くまでの時間を計る。

結果　４階までの高さ

体重（質量）

４階に着くまでのかかった時間

考察

１．自分の体を４階まで運ぶ仕事をした。この仕事は何（J）か。

２．あなたが行った仕事の仕事率は何（W）か。

３．１（ばりき）（PS）＝736（W）として、あなたの仕事率を馬力に換算せよ。

感想

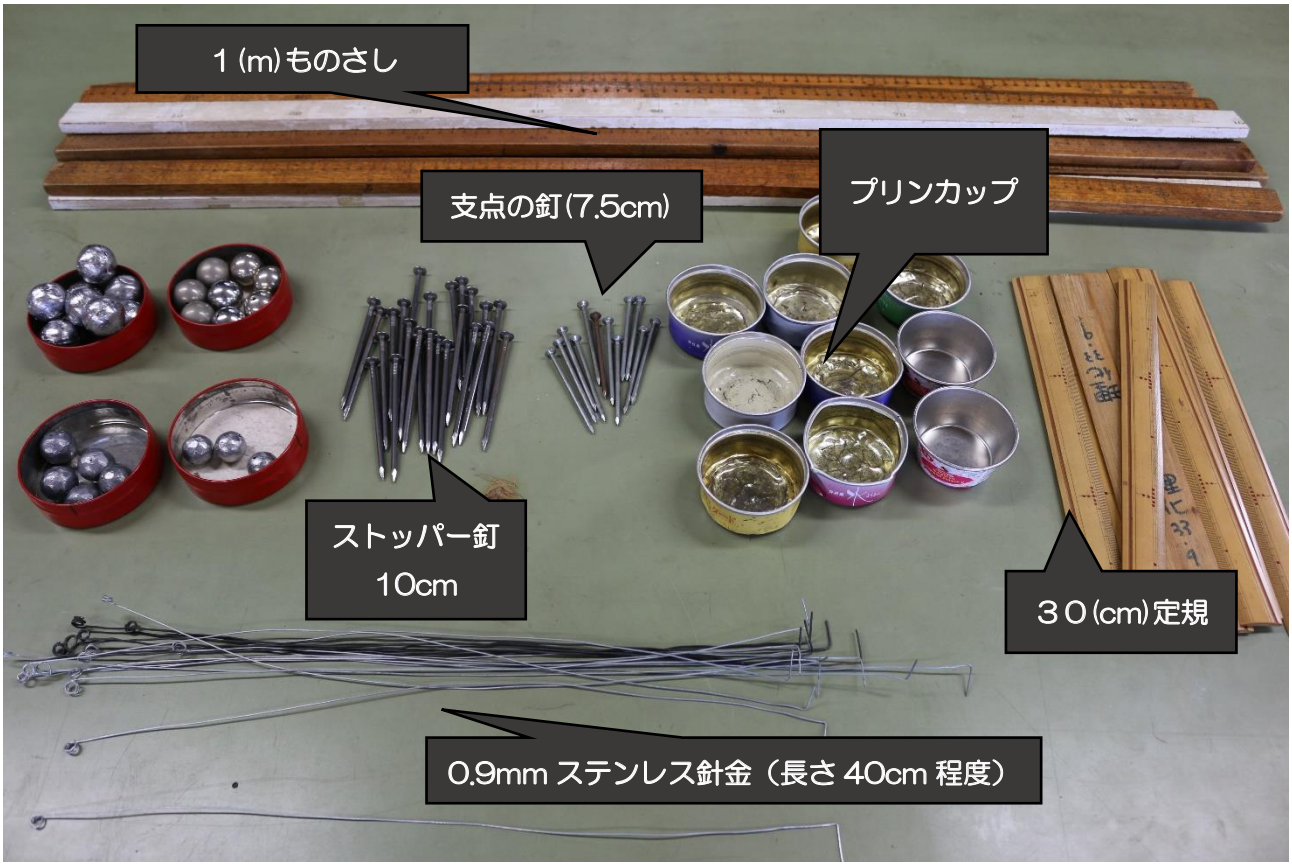
（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

23. 力学的エネルギー保存則（生徒実験）

YouTube 「The conservation Law of Mechanical Energy」

本実験の方法以外によく行われる実験は、OA を糸にし、B 点にカミソリの刃を置き、糸を切ることで水平投射を行わせるタイプである。カミソリの刃の危険性を伝え、振り向いたときなどの注意を喚起することで、緊張感のある実験ができる。糸を使う場合は、O 点を固定し、糸の長さを変えた場合、その長さをいくらにすると最も遠くまで跳ぶことができるかを計算で予想させて、その飛距離を確認する実験もおもしろい。その場合は机の上に紙を置き、カーボン紙をうつぶせにかぶせた上に金属球を落下させると飛距離が測定しやすい。

本実験で使用する器具は以下の通り。



金属球は、鉄球(50g)、鉛球(60g、30g)の穴の空いたタイプがよい。

実験のこつは、

1．出発点の高さ（H＋h）を腰を落として目の高さを水平にして 1mm まで正確に測ること。そのために定規を持ってもらう人の協力が必要。
2．ストッパーの釘が金属球の上すれすれの位置になっていること。
3．支点、金属球、ストッパーの釘、プリンカップが同一平面内に並ぶこと。
4．成功率 100%を目指すように指導すること。

The Conservation Law of Mechanical Energy

(ターザン、川を飛び越える!)

ターザンは子どもたちの英雄であった。毛皮のパンツに短剣をさし、豹のように走り、イルカのように泳ぐ。さてこのターザンが図のように川辺の木を利用し目的の地点に飛び降りたい。ターザンは結びつけられた枝の真下で手を放すものとし、落下点を予測し、実験で確かめてみよう。

目的　振り子の運動、水平投射運動において、力学的エネルギーが保存されていることを確かめる。

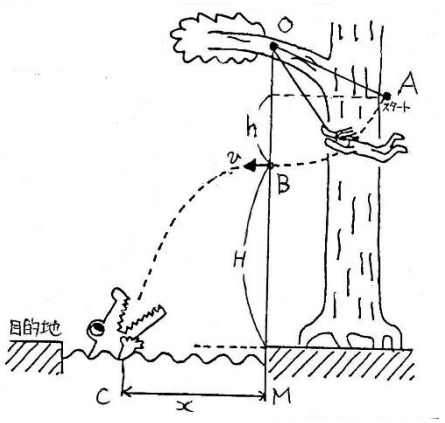


図　1

器具　スタンド、ものさし、針金、穴あき鉄球、標的、電卓

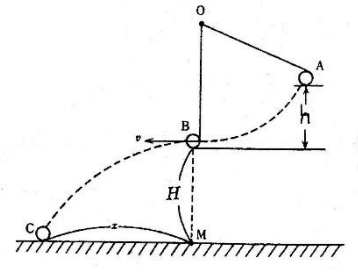
準備　youtube（The Conservation Law of Mechanical Energy）をあらかじめ見ておく。

方法

1　落下点の予測

① 図の B、M は支点 O の真下の点で、針金にかけられた金属球は A から静かに弧を描いて点 B に至る。個々で針金をストッパーで止めると金属球は B 点から水平投射し、放物線を描き点 C に落下する。この運動において、C 点の位置を予測する CM 間の距離 x を予測する)。金属球の質量を m、AB 間の高さの差を h、B 点の高さを H、B 点での金属球の速度を v、重力加速度を g とする。

ア　力学的エネルギー保存則を用いて B 点を飛び出す速度 v を求めよ（h、g で表せ)。



イ　水平投射の式を用いて、x を h と H で表せ。

図　2

② h、Hを定め、xを計算する。

h（m）	０．２	０．３			
H（m）	０．２	０．２			
x（m）					
実施回数	5回	5回	5回	5回	5回
命中回数					
成功率(%)					

表　1

＊ 実際には、カーボン紙などを引いた上に金属球を落下させ、MC 間の距離 x を複数回測定し、平均値を出す方が望ましい。

実施

① 図３のように装置を組み立てる。
② 点Ｏの釘に針金をつるし金属球を取り付ける。
③ Ｂの真下の点Ｍに印をつける。
④ 床から金属球の中心までの距離が H になるようにＯの高さを調節する。
⑤ 金属球をつるしたとき、金属球の上端が、ストッパーとすれすれの距離になるようにストッパーの高さを調節する。
⑥ 計算で予想した点Ｃ（MC＝x）に標的を置く。
⑦ 床から金属球の中心までの高さが H+ h になる点Ａに金属球を保持する。
⑧ 点Ａから静かに（初速度０で）金属球を放す。

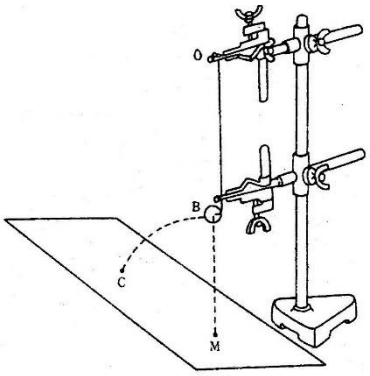


図　３

実験結果

表１を結果として省略する。

考察

成功率が 100%にならない要因がいくつか考えられる。空気抵抗はどうしようもないものとして、どのような点に注意するとよいか。

感想

１年（　　）組（　　）番　氏名（　　）

24. ブランコのエネルギー保存則（体験）

YouTube 「The conservation of mechanical energy」

エネルギーと仕事の関係を示す実験装置として、「プーさんのブランコ」がある。ブランコを次第に大きく揺らすための動きを簡単に示すことができる。木枠で作ったブランコが、スタンドの上部のベアリングの付いた棒で支えられていて、図の前後方向に振り子運動が可能な構造になっている。プーさんのぬいぐるみは頭からおしりを貫通させる穴が空いていて、頭にひもがつながれ、上部から左に曲がり、左向きに引くと、プーさんは上昇する。プーさんのおしりとブランコの下部はバネでつながっていて、ひもを左に引くことをやめると、プーさんは下降する。京都市立藤森中学校の東郷伸也先生はバネの代わりに、プーさんのおしりの部分におもりを埋め込むタイプも作られている。

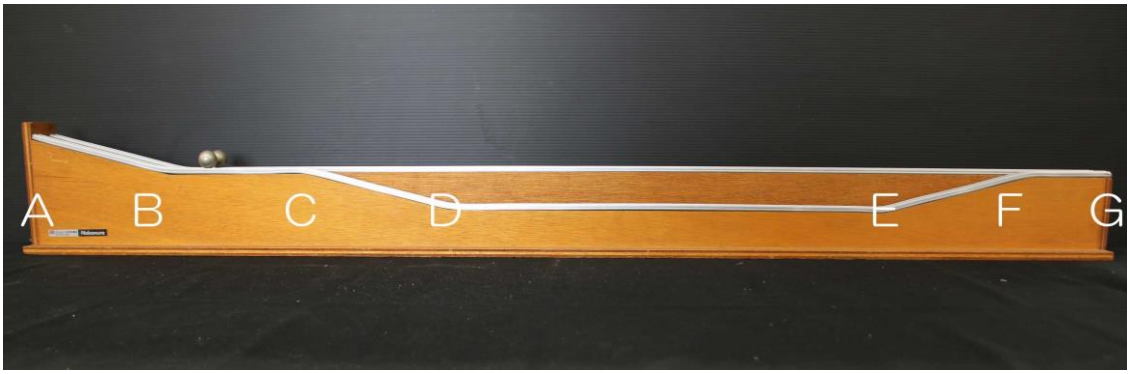
振り子運動が始まると、プーさんは遠心力を受ける。速度は最下点で最大になるため、最下点通過時に最も大きな遠心力を受ける。プーさんは立ち上がる（自分の重心を移動する）という仕事を行うが、最も立ち上がるのがしんどい瞬間は、最下点となる。座るのはその逆の振り子が折り返す位置がよい。この仕事がエネルギーに転化し、振動はどんどん大きくなり、大車輪も可能になる。立ち上がりと座るタイミングを逆にすると、振動が急激におさまる。１台作っておくと、生徒は夢中になって大車輪を達成しようと競い合う。

参考文献　京都市立藤森中学校の東郷伸也先生の実験装置を使用した。

25. 球のレース（体験）

力学的エネルギーを学習した後に、行いたい実験である。ＡからＧに至る２つのコースに、同じ鉄球を同時に転がす。Ｇに到着するのはどちらの鉄球が早いかを聞くと、同時という解答が多い。力学的エネルギーで学んだことは、Ｇ点は両コースともに同じ高さであるので、Ｇ点を飛び出す速さが両コースとも同じであるということである。ＣからＦの間は、低い位置を通過するコースの方が運動エネルギーが大きいので、手前のコースの鉄球がＧ点に早く到着する。Ｃ－Ｄを水平方向に通過する時間、Ｅ－Ｆを水平方向に通過する時間ともに、斜面の方が短いことも教えたい。

これらのコースは、木材とカーテンレールなどを使って様々な形のものを作ることができる。



26. 缶コーヒーの競争（体験）

YouTube 「Conservation law of kinetic energy」

慣性モーメントの知識がなくても、凍らせた缶ジュースと、常温の缶ジュースと競争は説明ができる。大きさのある物体が斜面上を転がり落ちるとき、位置エネルギーは斜面を下る方向の重心の運動エネルギーと重心を中心とする回転の運動エネルギーに転化する。常温の缶ジュースが転がり落ちる場合、短い斜面であれば、内部の液体は缶と同じ角速度に達していない。ところが、凍った缶ジュースの場合、内部のジュース（固体）は常に缶と同じ角速度になる。その結果、回転のエネルギーとなるロスが少ない常温のジュースの方が早く斜面下に到着する。

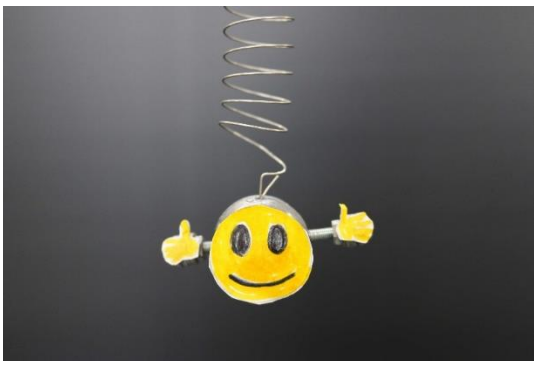
参考文献　松田卓也「間違いだらけの物理学」p.216（学研 2014）

27. 振り子３兄弟、ウィルバーフォース振り子（演示実験）

YouTube 「The conservation of mechanical energy」

YouTube 「The Wilberforce Pendulum」

振り子３兄弟は、周期が同じ（バネ定数と物体の質量が同じ）振り子の上部を輪ゴムでつないだ共振の実験装置である。見方を変えるとエネルギーのやりとりの教材としても利用が可能である。周期の微調整は、バネを引っかける位置を調節（バネを回転）することで可能になっている。



ウィルバーフォース振り子は、上下振動と、おもりの回転運動を交互に行う振り子である。適当なバネと釣り用のおもりをつなぎ、上下運動させて 10 回分の時間を計る。バネをつり合いの状態にして、おもりを回転させ、10 回分の時間を計る。これが一致するようにおもりの両サイドにうで（ネジを切った棒）をつけ、ワッシャーやナットをつけて調整する。この２つの時間がぴったり合うとウィルバーフォース振り子が完成する。重力による位置エネルギーと、上下方向の運動エネルギーと、回転の運動エネルギーの合計は常に保存されている。

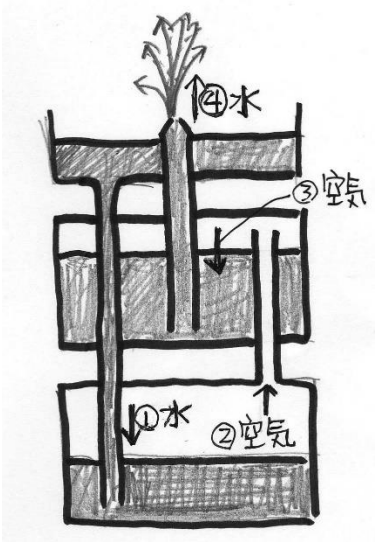
参考文献　振り子３兄弟は、福島県立相馬高校の松岡浩三先生の実験装置を使用した。
ウィルバーフォース振り子は、鳥取大学付属高校の浜崎修先生に指導して頂いた。

28. ヘロンの噴水（演示実験）

YouTube 「Heron’s Fountain」

YouTube 「Heron’s Fountain Ⅱ」メカニズム

力学的エネルギー保存則が成り立つかを考えるために、ヘロンの噴水はおもしろい教材である。水を入れた水槽より高い位置まで噴水が上がるからである。



① あらかじめ中断の水槽に水を入れておく。
② 上段の水槽に水を入れると、左の管を通って、下段の水槽に水が落ちる。
③ 下段に入っていた空気が、右の管を通り、中段に押し上げられる。
④ 中段の容器の空気圧が大きくなり、中段の水面を押し下げる。
⑤ 中段の水が中央の管を通って噴水となる。

29. 運動量保存則の実験（生徒実験）

YouTube 「Conservation of momentum Car」

運動量保存の法則（Law of conservation of momentum）

目的　２物体の衝突前後において、運動量の和が保存されることを確かめる。

器具　力学台車（マジックテープ付き２台）、記録タイマー（１０Hz）、記録テープ、車止め、Ｃ型クランプ、ものさし、おもり、セロハンテープ

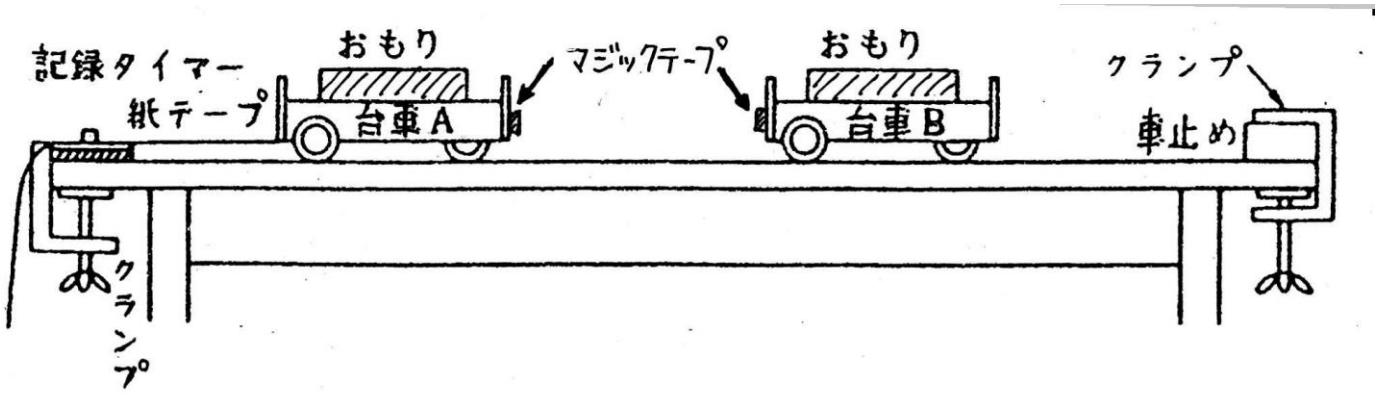
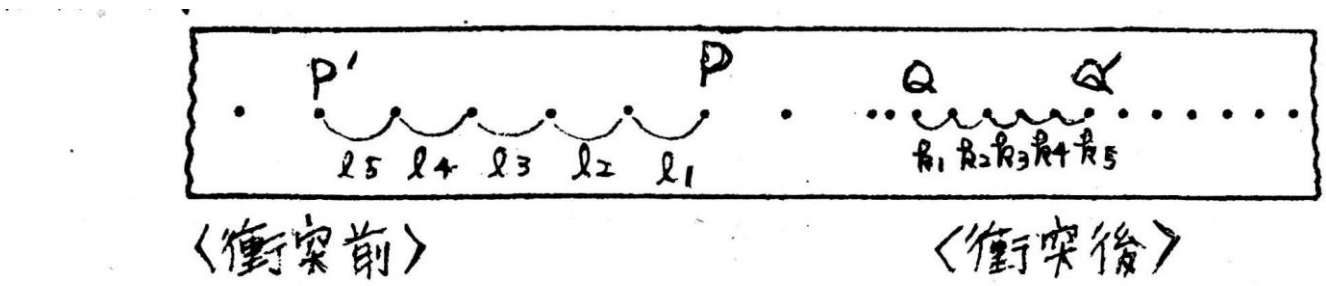


図　1

方法

1．台車 A、B、及びおもりの質量を測定する。
2．各台車に、おもりを１つづつのせ、それらの質量をm_A、m_Bとする。
3．台車 A に記録テープをセロハンテープで取り付け、記録タイマーで運動の様子を記録できるようにする。
4．２台を一直線上に離しておき、タイマーを始動させる。台車 A を突き放し（さっと押す）、台車 B に衝突させる。A、B が一体となって運動した後、適当なときに止める。
5．記録された打点の様子を観察し、明らかに衝突の前の運動を示す部分と、衝突後の運動を示す部分を見つける。
6，衝突前後の５区間（６打点の各間隔）である ℓ_1、ℓ_2、…k_1、k_2…を測定し、平均値を求める。



7，台車 A、台車 B の質量を変えて同じように実験する。

図　2

結果　　〈衝　突　前〉　　〈衝　突　後〉

氏　名	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	平均 ℓ_A	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	平均 k_B

氏　名	m_A(kg)	m_B(kg)	ℓ_A(m)	v_A(m/s)	m_Av_A(kgm/s)	k_B(m)	v_B(m/s)	$(m_A+m_B)v_B$(kgm/s)

考察　1　m_Av_A、$(m_A+m_B)v_B$は何を表すか？

2　$|(m_A+m_B)v_B-m_Av_A| \div m_Av_A \times 100$（%）を計算せよ。

3　2で何がわかるか？

4　図2で、PQ間に何点かの打点を残しているのはなぜか？

感想

（　　）組（　　）番　氏名（　　）

参考文献　「物理実験書ⅠB,Ⅱ」（大阪府高等学校理化教育研究会 1994）

The Law of Conservation of Momentum

Purpose To confirm that momentum is conserved before and after a collision

Hypothesis Momentum will be conserved

Apparatus and materials Two toy carts (with Velcro tape), Recording spark timer (10Hz), Recording tape, Ruler, Weight (1kg), Scotch tape

Procedure

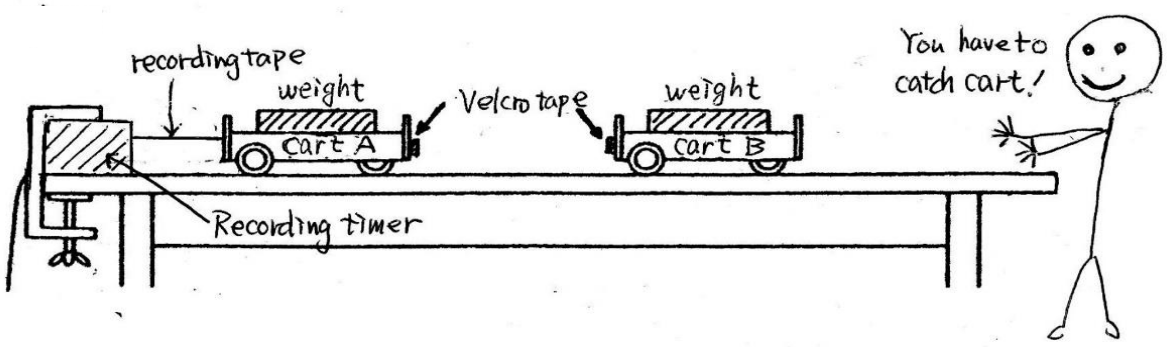
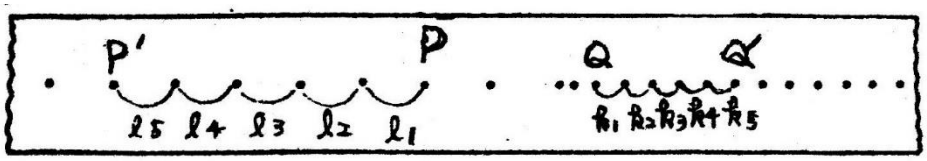


Fig 1

1. Measure the mass of toy carts (A&B) and weight
2. Load each toy cart with a 1kg weight
   Their mass is called m_A and m_B respectively
3. Put scotch tape on to the recording tape and pass the recording tape through the recording spark timer
4. Let the recording timer start and let toy carts collide head-on into each other
5. Measure the velocity before and after the collision using distance of 5 sections
7. Change the amount of weight and do experiment again



〈Before collision〉 〈After collision〉

Fig 2

Result

〈Before collision〉 〈After collision〉

Name	m_A(kg)	m_B(kg)	ℓ_A(m)	v_A(m/s)	$m_A v_A$ (kgm/s)	k_B(m)	v_B(m/s)	$(m_A+m_B)v_B$(kgm/s)

Name	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	Average ℓ_A	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	Average k_B

Conclusion

1　What are the meanings of m_Av_A、and（m_A+m_B）v_B?

2　Calculate |（m_A+m_B）v_B −m_Av_A | ÷ m_Av_A ×100（%）.

3　What does the result of 2 indicate?

4　In Figure 2, why didn’t　you use the data between Point P and Q？

Impressions

Class（　　）Number（　　） Name（　　）

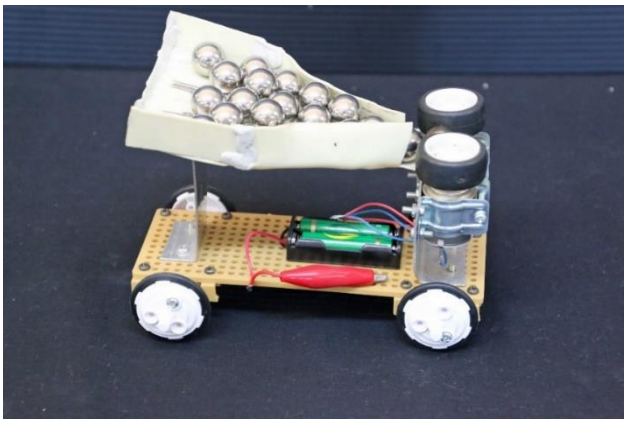
30. 運動量保存則の実験（演示実験）　台と台上物体の運動

YOUTUBE　「The Conservation Law of Momentum」

入試問題に、親亀子亀問題（台と台上物体の運動）がよく登場する。その運動について、理屈はさておきまず見せることが大切である。見た上でなぜそのような動きをするのかを受ける力から解いていく。この現象は、台と床の間に摩擦が働かないという前提であるので、台が床から受ける摩擦の影響を小さくするために台車を用意する。この台車の上に斜面を置いたり、この台上でラジコンカーを動かすと、台がどのように動くかが手に取るようにわかる。

31．運動量保存則カー　（演示実験）

YouTube　「Conservation of momentum Car」



ローラースケートを履いて壁を押すと、壁を押した反作用を受けて後ろ向きに滑る。ホバークラフトに搭載された大きな送風機は、空気を押した反作用で前に進む。この運動量保存カーは、車体に搭載された鉄球を後ろに飛ばすことでその反作用を受けて前に進む。宇宙空間に放り出され、宇宙船に帰れなくなったとき、宇宙船と逆方向に手持ちの質量あるものを投げると、宇宙船に戻ることができる。

32．跳ね返り係数・ワンバウンドで着地（演示実験）

YouTube　「Coefficient of Restitution」

写真は「ZeeBeeZ」という商品で、ある高さから自由落下させると、天井まで跳ね上がる。左側の緑色の写真が通常の状態で、ゴムの本体を裏返したのが右の黄色の状態である。中央のつまみを上にして、水平を保つために少し回転を与えて自由落下させると、机に当たる瞬間に裏返したゴムの本体が元に戻るときに机を押し、最初の高さより遥かに上まで跳ね上がる仕組みである。

スーパーボールとハネナイトボールをそれぞれ半分に切って接着し、スーパーボールを下にして 30cm ほど自由落下させる。机で一度跳ね返った後、ハネナイトボールの方が重いので空中で上下が逆転し、２バウンド目で机上でピタッと止まる。

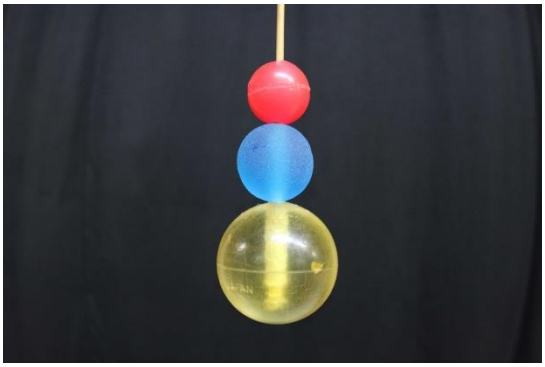
33．跳ね返り係数の測定（授業）

YouTube　「Parabolic Motion and Coefficient of Restitution」

実験室の教卓上で、ピンポン球を自由落下や、水平投射または斜方投射させ跳ね返る様子を動画撮影する。その映像をプロジェクターを使って黒板に投影する。再生の際コマ送りにして、一定間隔の時間ごとにポーズし、ピンポン球の位置をチョークで印をつける。ワンバウンド目の最高点 h_1 と、ツーバウンド目の頂点の机からの高さ h_2 を黒板上でメジャーを用い測定する。最高点の高さの比は、自由落下の場合も水平投射の場合も変わらず $e=\sqrt{(h_2/h_1)}$ となる。ワンバウンドする間の滞空時間 t_1 と、ツーバウンドする間の滞空時間 t_2 を比べると $e=t_2/t_1$ であることも確かめられる。ワンバウンドする間の水平移動距離 x_1 と、ツーバウンドする間の水平移動距離 x_2 を比べると $e=x_2/x_1$ にはならず、机とピンポン球の間に摩擦が生じたことが想像できる。

34. すっ飛びボール（体験）

YouTube 「Stacked Ball Drop」



ある高さより、軸が鉛直を保つように落下させると、机上で跳ね返り、一番上の小さなスーパーボールは教室の天井まで跳ね上がる。エネルギー保存則が打ち破られたかのように見せる実験装置である。最初は３つのボールの位置エネルギーがある。机に衝突した後、下の２つのボールはほとんど跳ね上がらない。つまり３つのボールの位置エネルギーの一部が衝突の際失われるが、残りのエネルギーは一番上のボールの運動エネルギーとなる。

35. 等速円運動の実験（生徒実験）

YouTube 「Uniform Circular Motion」

Uniform Circular Motion

目的　等速円運動する物体に働く向心力と回転の半径、回転周期との関係を調べる。

準備　ガラス管、たこ糸、消しゴム、おもり（ワッシャー）、ストップウォッチ

実験１　回転半径（ r ）と周期（ T ）の関係はどうなるだろうか？

- おもりの質量は一定にする（5 個）。
- 図のように、消しゴムを水平面内で等速円運動させる。このとき、回転半径が一定に保たれているかどうかわかるように、たこ糸に見印をつけておく。物体を数十回、回転させてその間の時間 t（s）を測定する。
- 同様に回転半径 r を変えて行う。

実験２　向心力（ F ）と周期（ T ）の関係はどうなるのだろうか？

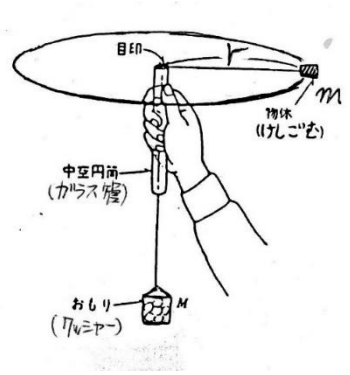
- 回転半径を一定にする（30cm）
- おもりの質量を変えて（3 個、6 個、9 個、12 個）、回転時間 t（s）を測定する。

予測　公式から実験 1、実験 2 の結果を予測してみよう。

向心力　F＝ ［　　］

周期　　T＝ ［　　］

2 式より ω を消去すると ［　　］



おもりの質量を変えないとき ＿＿＿＿＿＿＿＿

回転半径を変えないとき ＿＿＿＿＿＿＿＿

結果

実験 1

r（cm）	20	30	40	50
t（s）				
T（s）				
T^2（s）				

おもりの質量（5 個）M＝＿＿＿＿　物体の質量 m＝＿＿＿＿　回転回数 N＝＿＿＿＿

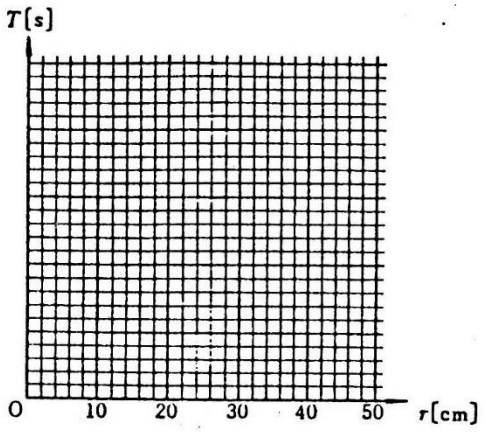
実験 2

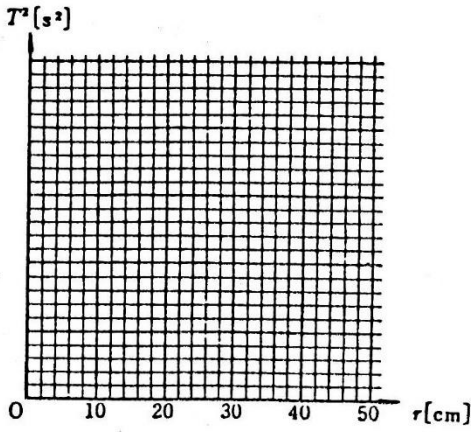
F（kgw）	（3 個）	（6 個）	（9 個）	（12 個）
t（s）				
T（s）				
T^2（s）				
$1/T^2$（s^{-2}）				

回転半径 r＝30 cm　　物体の質量 m＝＿＿＿＿　回転回数 N＝＿＿＿＿

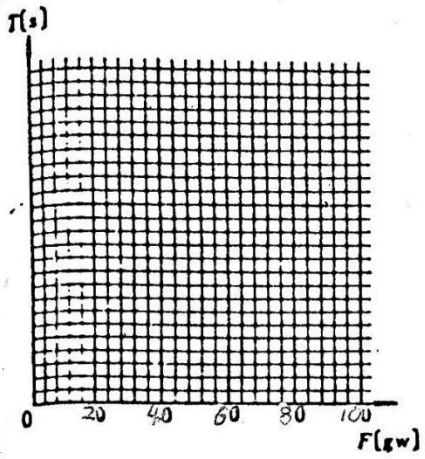
考察

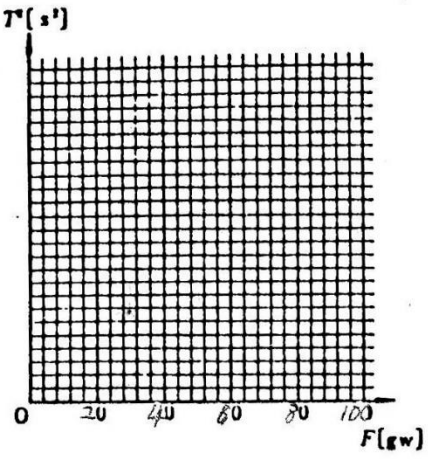
実験１のグラフ

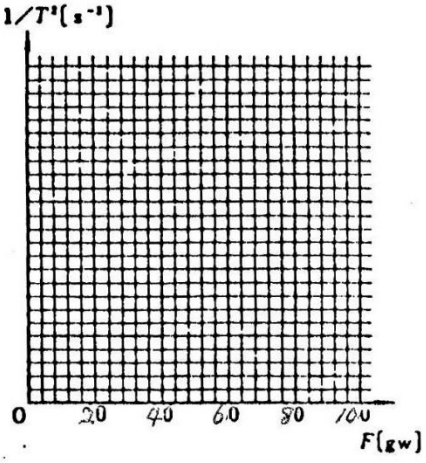




実験２のグラフ







１．実験１のグラフからどのようなことがわかるか。

２．実験２のグラフからどのようなことがわかるか。

感想

(　　)組 (　　)番　　氏名(　　)

相関係数（Correlation coefficient）

1. 各データ群の平均値 $\bar{x}$, $\bar{y}$ を求める

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{n-1} + x_n}{n} \qquad \bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_{n-1} + y_n}{n}$$

（x_i：データ群 x の i 番目のデータ（$i = 1,2,\ldots n$），y_j：データ群 y の j 番目のデータ（$j = 1,2,\ldots n$））

実験 1

$\bar{r}$ (cm)（以下 $r = x_1$）		$\overline{T^2}$ (s)（以下 $T^2 = y_1$）	

実験 2

$\bar{F}$ (kgw)（以下 $F = x_2$）		$\overline{1/T^2}$ (s^{-2})（以下 $1/T^2 = y_2$）	

2. 各データと平均値の差（偏差）を求める

$$x_i - \bar{x}\ (i = 1,2,\ldots,n) \qquad y_j - \bar{y}\ (j = 1,2,\ldots,n)$$

実験 1

$x_1 - \overline{x_1}$				
$y_1 - \overline{y_1}$				

実験 2

$x_2 - \overline{x_2}$				
$y_2 - \overline{y_2}$				

3. 偏差の 2 乗の平均値（分散）S_x^2, S_y^2 を求める

$$S_x^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_{n-1} - \bar{x})^2 + (x_n - \bar{x})^2}{n}$$

$$S_y^2 = \frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \cdots + (y_{n-1} - \bar{y})^2 + (y_n - \bar{y})^2}{n}$$

実験 1

$(x_1 - \overline{x_1})^2$				
$(y_1 - \overline{y_1})^2$				

$S_{x_1}^2 =$ $\qquad$ $S_{y_1}^2 =$

実験 2

$(x_2 - \overline{x_2})^2$				
$(y_2 - \overline{y_2})^2$				

$S_{x_2}^2 =$ $\qquad$ $S_{y_2}^2 =$

4. 分散の正の平方根（標準偏差）S_x, S_y を求める

$$S_x = \sqrt{S_x^2} \qquad S_y = \sqrt{S_y^2}$$

実験 1

$$S_{x_1} = \qquad S_{y_1} =$$

実験 2

$$S_{x_2} = \qquad S_{y_2} =$$

5. 2 つのデータ群の偏差の積の平均値（共分散）S_{xy} を求める

実験 1

$x_1 - \overline{x_1}$				
$y_1 - \overline{y_1}$				
$(x_1 - \overline{x_1})(y_1 - \overline{y_1})$				

$$S_{x_1y_1} =$$

実験 2

$x_2 - \overline{x_2}$				
$y_2 - \overline{y_2}$				
$(x_2 - \overline{x_2})(y_2 - \overline{y_2})$				

$$S_{x_2y_2} =$$

6. 相関係数 r を求める

実験 1

実験 2

Uniform Circular Motion

Purpose To observe the relation between centripetal force and rotational radius / rotation period

Hypothesis Let's predict experimental results using formulas

Formula of centripetal force F = ☐

Formula of period T = ☐

If you clear the ω from the two equations

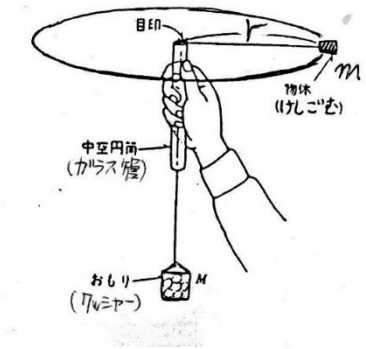
F = ☐

When the mass of the weight is not changed, T^2 is proportional to r.

When the rotation radius is not changed, $1/T^2$ is proportional to F.

Apparatus and materials A glass tube, Kite string, Eraser (as an object), Washers (as centripetal force), Stopwatch

Procedure



Experiment 1 (Relation between T and r)

- Connect five washers
- As shown in the figure, rotate the eraser in the horizontal plane
- Keep the rotation radius constant by paying attention to the mark attached to kite thread
- Measure the time that it takes the eraser to rotate 10 times
- Change the rotation radius and do the experiment again

Experiment 2 (Relation between T and F)

- Keep the rotation radius constant (30 cm)
- As shown in the figure, rotate the eraser in the horizontal plane
- Measure the time that it takes the eraser to rotate 10 times
- Change the number of washers (3, 6, 9, 12) and do the experiment again

Result

Experiment 1

r (cm)	20	30	40	50
t (s)				
T (s)				
T^2 (s)				

Number of washer (5) M=_____ Mass of eraser m=_____

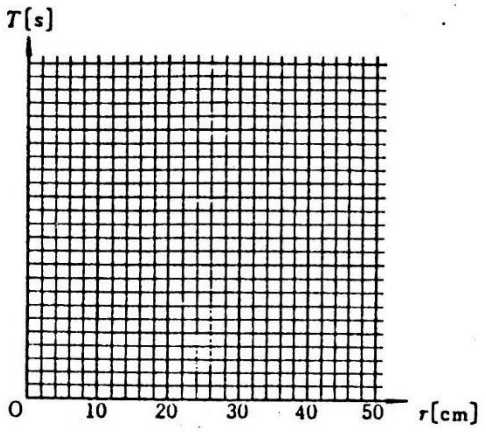
Experiment 2

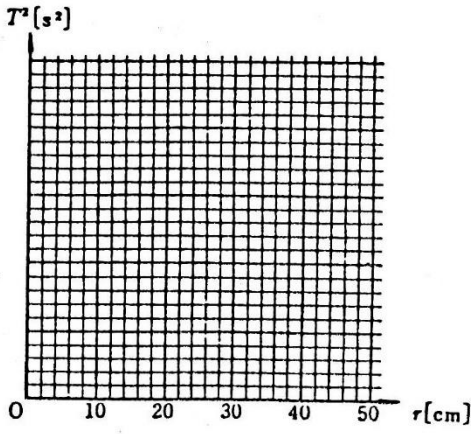
F (kgw)	(3個)	(6個)	(9個)	(12個)
t (s)				
T (s)				
T^2 (s)				
$1/T^2$ (s^{-2})				

Rotation radius r=30 cm Mass of eraser m=_____

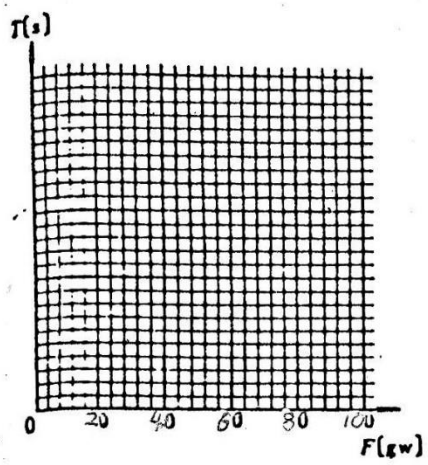
Conclusion

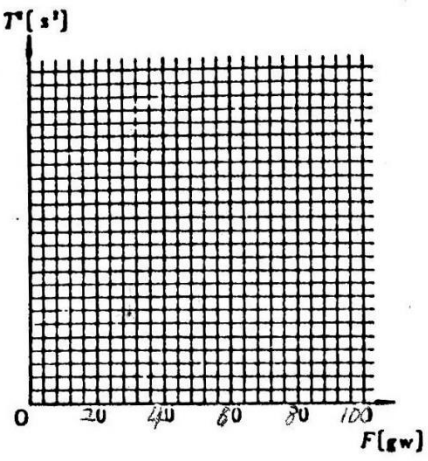
Graph of Experiment 1

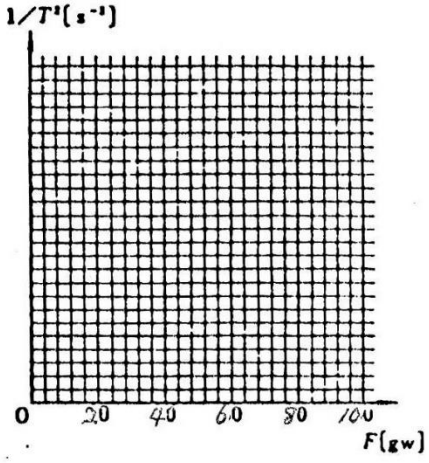




Graph of Experiment 2







1. What can be learned from the graph of Experiment 1

2. What can be learned from the graph of Experiment 2

Impressions

Class( ) Number( ) Name( )

36. ケプラーの第３法則の実験（生徒実験）

YOUTUBE 「NASA 主催の SEEC2021 でケプラーの第３法則の実験の開発について発表してきました」

YOUTUBE 「ケプラーの第３法則の生徒実験」

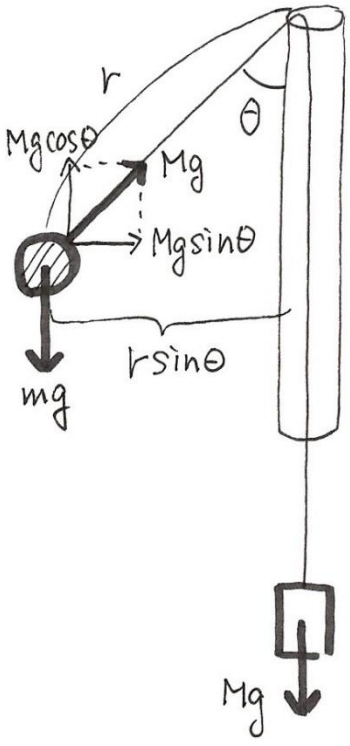
コロナ禍による休校期間に、ひもの長さと、回転する物体の質量、ひもを引くおもりの質量を太陽系惑星の公転半径と、惑星質量、太陽から受ける万有引力の比になるようにすると、ケプラーの第３法則を実感できる実験ができるのではないかと考えていた。ちょうどその時、NASA が募集する SEEC（宇宙を教育に利用するためのワークショップ）2021 に出場する日本代表を JAXA が募集していることを知り、急いで生徒実験を行い、うまくいくことを確かめ応募してみた。そして 2021 年の日本代表に選考された。

理科年表のデータから、試行錯誤を繰り返し、地球の質量は 100g 軌道半径を 45cm、万有引力 270g とした。これにより水星は 5.53g、17.4cm、99.1g、火星は 10.7g、68.5cm、12.5g となった。木星まで実験したかったが、この比では、木星質量 31800kg、軌道半径 430cm、3180g となりあきらめた。実際にこの値で実験しても、水星の公転周期はきわめて短く、逆に火星の公転はゆっくりで、極端な円錐振り子になってしまった。

遊びも含めて、地球の半分の質量の惑星 X を地球と金星の間におき、公転させた。

惑星は、樹脂粘土で作成した。万有引力に当たるおもりは、当初はつり用の鉛を用いたが、安全面から鉄球（パチンコ玉用）に変更した。

本実験では、火星の公転実験の際、円錐振り子になるため、正確な実験ができないのではないかという疑問が残るが問題ない。



左図で、物体の角速度をω(rad/s)とすると、円運動の運動方程式により

$$m r \omega^2 \sin\theta = Mg \sin\theta$$

$$\therefore \quad \omega = \sqrt{Mg/mr} \quad \text{となり、} \omega \text{は} \theta \text{に依存しない。}$$

ただし、実際に実験してみると、火星の公転では糸の張力が小さく、それに比べるとガラス管と糸の摩擦力の影響が大きい。印をつけた糸の位置で円運動を維持する角速度の値に幅が生じるので、実験回数を多めに行い平均する方がよい。

ケプラーの第３法則の検証のほか、水星の公転の早さや質量の軽さ、火星の公転の遅さや質量の軽さを実感できる。また、エクセルでの実験処理の方法も学ぶことができる。

惑星、公転半径の印のついた釣り糸、ガラス管、万有引力のおもりはあらかじめ惑星の数だけセットしておく方がよい。

ケプラーの第３法則の実験

目的：等速円運動の実験を応用して、ケプラーの第３法則が正しいことを確認する。

準備：惑星球(粘土)、釣り糸、おもり(鉄球)、ガラス管、ストップウォッチ

実験方法：

１　次の資料(理科年表)を基に、地球の質量を 100g、公転半径を 0.45m、太陽から受ける万有引力を 270gw としたときの、他の惑星の質量、公転半径、万有引力を求める。ただし惑星Ｘは、地球と金星の中間位置にあり、質量は地球の半分であると想定する。

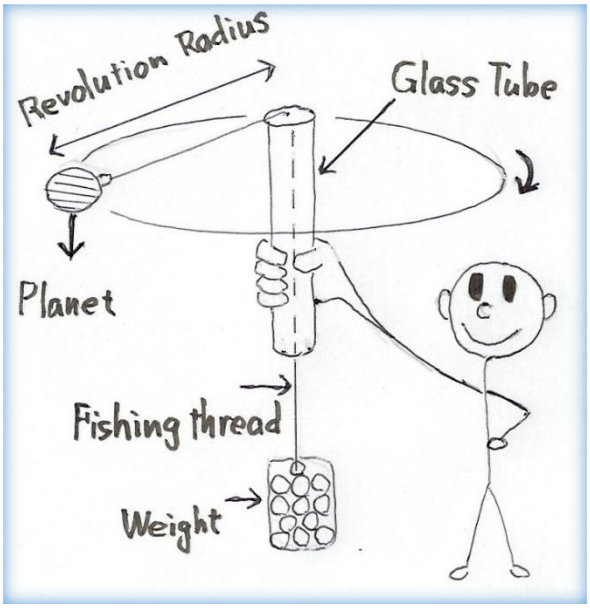
	mass($\times 10^{21}$kg)	Revolition radius($\times 10^{4}$km)	Universal gravitation（N）
Mercury	330.2	5790	9.85×10^{7}GM
Venus	4868.5	10800	4.17×10^{8}GM
PlanetX	2986.8	12880	1.80×10^{8}GM
Earth	5973.6	14960	2.67×10^{8}GM
Mars	641.85	22790	1.24×10^{7}GM

G;Gravitational constant　M;mass of the sun

	mass(g)	Revolition radius(m)	Universal gravitation(gw)
Mercury	5.53	0.174	99.1
Venus	81.5	0.325	422
PlanetX	50	0.388	182
Earth	100	0.45	270
Mars	10.7	0.685	12.5

２　図のように、ガラス管を鉛直に持ち、釣り糸についている公転半径の印(マジックで印をあらかじめつけている)がちょうどガラス管の上部と一致するように、惑星を水平面内で等速円運動させる。周りの人にぶつからないように注意する。印の位置が出たり引っ込んだりするが、安定するまでしばらく回転を続ける。このとき、手は糸に触れてはいけない。安定後、回転させている人が回転数のカウントを行い、（よーいスタート、１，２，…）10 回転にかかる時間を別の人がストップウォッチで測定する。

班の全員が実験を行い、大きく値の異なる人は再度実験を行う。



結果：　班のメンバーの測定結果を 10 で割ったものを平均する。
下の表の惑星の周期 T、周期の２乗 T^2、公転半径の３乗 a^3を完成する。

惑星	周期 T	公転半径 a^3	周期 T^2
水星			
金星			
惑星X			
地球			
火星			

表のデータをエクセルに入力し、a^3と T^2の散布図を作る。プリントアウトして下に貼りなさい。

考察：万有引力の法則と円運動の運動方程式からケプラーの第３法則を導け。

この実験で、惑星の公転がガラス管と釣り糸が９０度にならなくても、実験結果に影響がないことを示せ。

感想：

(　　)組(　　)番　氏名(　　)

37．人間金床大実験（演示実験）（体験）

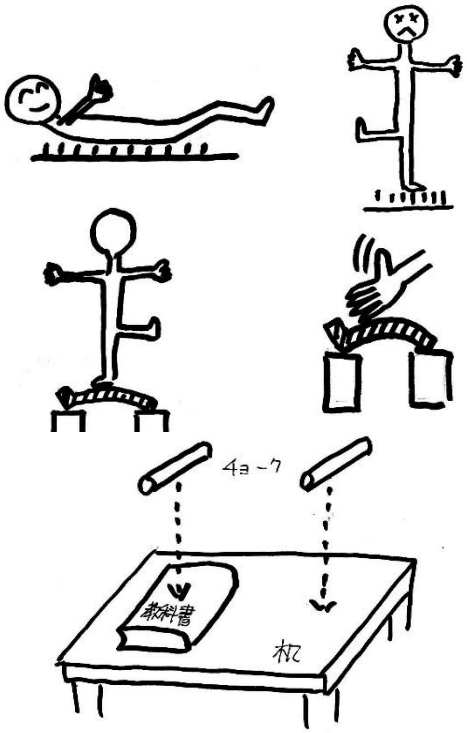
YouTube 「The Bed of Nails」
YouTube 「The Bed of Nails」
YouTube 「The Bed of Nails 1992」

現在使用しているクギ山は、下のクギ山が 1.3mm 間隔で約 3000 本、上のクギ山が同じく約 1500 本打ち付けたものである。初代のクギ山は鉄クギを使用していたが、錆びてしまったためステンレスクギに変更した。ハンマーは 2.5kg で、写真より大型のものを使用している。

おなかの上に、基本ブロックを２個のせるが、間に箸を挟まないと割れにくくなる。ブロックの破片が頭部に当たらないようにするよう注意が必要である。

１．クギ山に片足で立つことはできないが、背中をつけて寝ることは可能である。これは人の体重を小さな面積の足の裏で支えると、圧力が大きくなるため立てないが、大きな面積の背中で支えると力が分散されるためである。クギの本数が多いほど痛くない。

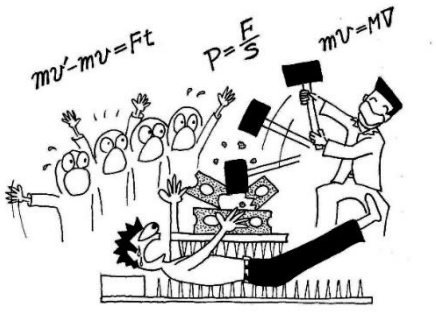
２．瓦の上に全体重をかけても割れないが、手を勢いよくぶつけると割ることができる。700g の手が 10m/s でぶつかり瓦と 5ms 接触して止まったとすると、運動量の変化と力積の関係式から瓦が受ける力は 1400N となる。これは体重が 140kg の人が乗ったのと同じ力になる。ブロックを割るには早くぶつけ接触時間を短くすることが必要である。



３．チョークを机の上に落とすと割れるが、教科書の上に落としても割れない。これも、力を受ける接触時間の問題でクッションがないと接触時間が短くなり受ける力が大きくなり割れる。人間の体には弾力があり、衝突時間を長くすることで力を小さくすることができる。

４．オートバイとトラックが衝突すると、トラックはそれほどはね飛ばされないが、オートバイは激しくはね飛ばされハンマーと衝突するブロックは、ハンマーに比べて質量が大きいほど人間は衝撃を受けない。

５．ブロックは割れるときに、エネルギーを消費する。ハンマーの運動エネルギーはブロックが割れることで、少し小さくなって人間に伝わる。



参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」p.9
（黎明書房 2001）
Paul.G.Hewitt 氏のデモンストレーションも参考になる。

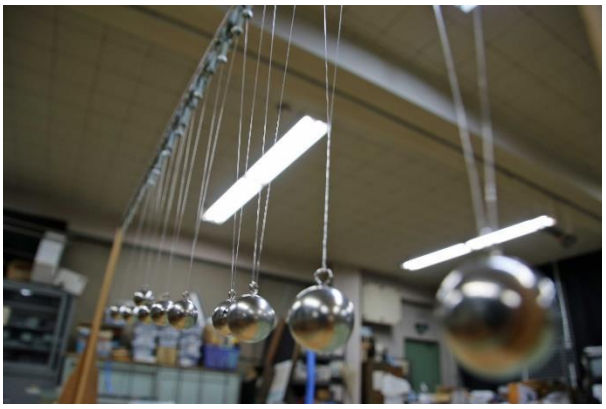
38. ニュートンのゆりかご（演示実験）

YouTube 「Newton’s Cradle」

運動量の保存、エネルギー保存を示す教材として、生徒の大好きなおもちゃである。１個を持ち上げてはなす。２個持ち上げてはなす。３個持ち上げてはなす。４個持ち上げてはなす。両側の１個ずつを持ち上げて同時にはなす。両側の２個と１個を同時に持ち上げてはなす。両側の１個を持ち上げて少し時間をずらしてはなす、などたくさんのバリエーションを楽しめる。１個を v でぶつけるとなぜ２個が 0.5 v ではじき飛ばされないのかと言う問いかけも面白い。

39. 長さの違う振り子（演示実験）

YouTube 「Pendulum waves」



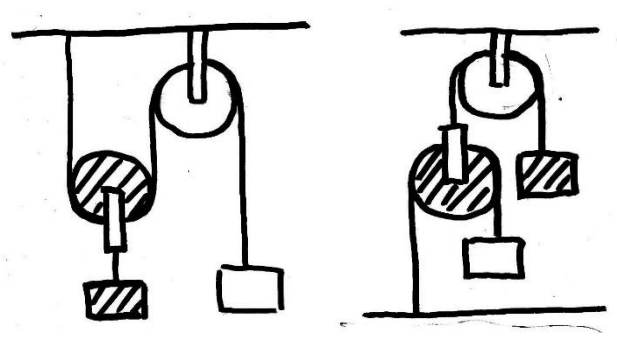
１番短い振り子が 60 回振動する間に、２番目に短い振り子は 59 回、３番目に短い振り子が 58 回振動するように長さを計算し、15 個程度の振り子を並べる。振り子の長さを微調整できるように、ネジをうまく使って作るとよい。一斉に振動を始めると、15 個の振り子が、興味深い振動を行う。

参考文献　岐阜物理サークルニュース No. 140

40. 動滑車（演示実験）

YouTube 「Running block & Fixed pulley」

YouTube 「Running block & Fixed pulley 2」



動滑車は実物を見せることが大事である。動滑車と糸でつながっている物体（動滑車と移動距離が同じ、速度が同じ、加速度が同じ物体）を見つけることが大切である。どちらの図も、斜線物体が斜線の動滑車とつながっている物体である。

41．３層液体と遠心力（演示実験）

YouTube　「Contrifugal force & viscosity」

回転台の中心に容器を置き、容器を回転させると、内部の液体は遠心力を受け、外側がもりあがる。
下層にコーンシロップ、中層に水、上層にコーン油を入れた容器を回転させると、中層の水が凸レンズのような形になる。これは、コーン油とコーンシロップの粘性が強く、水に比べて早く容器と同じ回転速度に達するため、先に遠心力を受けるために起こる現象である。

参考文献　1999 年青少年のための科学の祭典札幌大会で加藤誠也先生に指導していただいた。

42．遠心力とコインの取り出し（体験）

YouTube　「Contrifugal Force」

アウトコインパズルという商品名で発売されている。コインは、10 個の小さなベアリングによって取り出せないようになっているが、上部のリングを持って、回転させるとベアリングが遠心力を受けて両側に移動し、コインが落下する仕組みである。遠心力の教材として優れている。

43．ホバークラフト（体験）

YouTube　「Hovercraft」

人が乗れるホバークラフトは、1 台は作っておきたい。黒板消しクリーナーか送風機、洗濯機のドレーンホース、バイクのタイヤチューブなど身近な材料で廊下を摩擦力をほとんど受けずに滑るホバークラフトを作ることができる。

参考文献　飯田洋二「理科おもしろ実験・ものづくり完全マニュアル」（東京書籍 1993）

44. ピンポン球キャノン砲（演示実験）

YouTube　「Ping pong ball cannon」

長さ 2m、内径 40mm の塩化ビニル管の一部に排気のための穴を空け、真空ポンプとつなぐ。ピンポン球を内部に入れ、塩ビ管の両側の穴をニチバン社のセロテープ（No.405）を貼って密閉する。内部を真空にした後、片方のセロハンテープを鉛筆などで穴を空け破裂させると、流入する空気が内部のピンポン球を押し、理論上音速を超えた速度で、ピンポン球はもう一方のセロハンテープを突き破って飛び出す。この塩ビ管の出口に、コカコーラの空き缶（アメリカ製が缶が薄い）を固定すると、ピンポン球が貫通する。

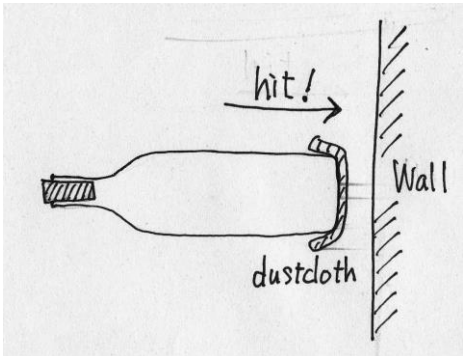
空気がピンポン球を押す力は、圧力×断面積であるので、$1\times10^5\times0.02^2\times\pi\fallingdotseq126$N となる。運動方程式にこの力とピンポン球の質量を代入すると、加速度は 4.85×10^4m/s^2 となり、ピンポン球が飛び出す速度は 440m/s となる。

参考文献　小河原康夫「ピンポンキャノンの製作と理論的検討」（物理教育 55 号 2007）

45. キャビテーション（演示実験）

YouTube　「Cavitation」

液体が急激に圧力変化を起こす際、短時間だけ低温沸騰が起こる現象をキャビテーション（空洞現象）という。ワインボトルの底にぞうきんなどを当てて、壁に強くたたきつけると、徐々にコルクが抜ける。コルクに慣性の法則を当てはめると、コルクが刺さっていくはずであるが、コルクはボトル内部から押されて抜ける。ワイン製造キットが販売されているため、空ボトルや、コルク、コルクの栓を閉める装置が手に入るようになった。生徒に手軽に見せてやることができるおもしろい物理現象である。



46. 棒の重心（演示実験）

YouTube 「the center of gravity」

準備 １m程度の棒（バット、ほうき等）

方法 １．棒の両端を人差し指で水平に支える。
２．棒を水平に保ったまま、両方の人差し指をゆっくりと近づけていく。
３．両人差し指がぶつかるところまで近づける。
４．指がぶつかった位置が重心である。

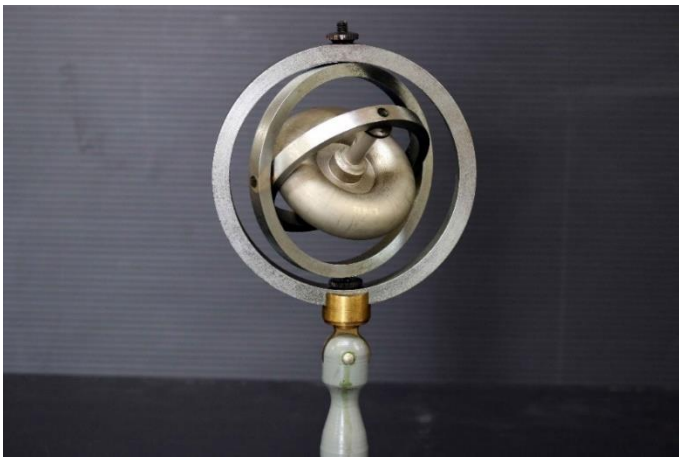
注意 棒と指の間の摩擦係数が等しい状態にすること。
ほうきの柄に節があったり、バットのグリップにロジンを塗ってあるとうまくいかない。

考察 垂直抗力、最大静止摩擦力、動摩擦力の大小関係を考えて説明する。

最大静止摩擦力や動摩擦力を利用すると、バットや、ラケット、ほうきなどの重心を求めることができる。

47. ジャイロスコープ（体験）

YouTube 「Gyroscope Inertial Guidance System」



角運動量保存則に従って、回転する軸の方向を維持する様子を示す装置である。上の写真は、学校に眠っていたもの。かつては慣性モーメントや角運動量保存を教えていた時代があった。下は、CD 板とモーター、電池で製作したもの。

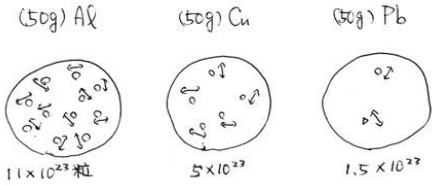
48. グラム比熱とモル比熱（生徒実験）

YouTube 「Specific heat & Molar heat」

身近な金属であるアルミニウム(1 円玉)、銅(50 円玉)、鉛(釣り用のおもり)を使用する。各班に必要な金属は、1 円玉 50 枚、10 円玉 14 枚、鉛のおもり(50g、207g)である。鉛のおもりは釣り道具屋に出向き、適当な質量のものをそろえる。(本校では、たまたま 2 種類のおもりの組み合わせで行ってきたが、パチンコ玉サイズのおもりを組み合わせた方が結果はよくなると思われる)。紙コップは想像以上に断熱性がよい(近年のカップ麺の容器は紙製である)。金属を 50g ずつ、または 1 モルずつ入れるためのネットは、適当なサイズがなかったため、ナイロン製の流しのごみかご用水切りネットを切り、端の部分をライターであぶって溶着して製作した。とって付きの小型の茶こしのようなものがないか探している。100℃のお湯で温めた金属を素早く水に入れることができるかがこの実験のポイントである。水の比熱は大きいので、金属やネットについたお湯をしっかりきることも重要である。ラーメン屋さんが、ゆがいた麺のお湯をきり、さめないうちにすばやく丼に入れる要領である。箸は金属の入ったネットをつかむためのものである。鍋に入れた具をつまむ感じだ。箸の使い方が下手な生徒は、しっかりつかまずネットを落としてしまい、床にお金をばらまいてしまう。

実験の手順+ポイント

1. お湯は大量に沸かしておく。500ml ビーカーの水を常温から湧かすためにはかなりの時間を要する。
2. お湯の中に同じ質量(50g)の 3 種類の金属をつけた後、温度上昇の大小を予想させる。経験上、鉛＞銅＞アルミニウムという生徒が多い。密度の大小と同じような感覚で比熱をとらえている。
3. 水温の上昇は熱電対の温度計を利用し測定しているが、正確すぎるため小数点以下は四捨五入させてよい。
4. 結果は、温度上昇の大きい順に、アルミニウム＞銅＞鉛、となる。つまり多くの生徒の予想が外れる。
5. この結果から、グラム比熱の大小を考察させる。ここが意外と難しい。比熱が大きいと暖まりにくい。比熱が大きいとさめにくい。金属の失った熱エネルギーと水が得た熱エネルギーは等しい。比熱の大きい金属のほうが、少し温度が下がるだけで多くの熱エネルギーを水に与える。つまり比熱の大きい金属のほうが水をより大きく温度上昇させる。このあたりの説明を生徒がどのようにするかが、興味深い。
6. モル比熱の前に 3 種類の金属の 1 モルの質量を確認する。ネットに入れた 1 モルの金属を比べ、全て同じ数(アボガドロ数)の原子が入っていることを確認する。
7. 多くの生徒は、実験 2 では温度変化がほぼ同じになるのではと予想し始める。実験結果は、鉛が少し小さくアルミニウムが少し大きくなる傾向があるが、実験 1 に比べると差が無くなる。鉛のモル比熱が小さめになるのは、おもりの体積が大きいため、内部まで均一に冷やせていないことが原因として考えられる。アルミニウムのモル比熱が大きめになるのは、27 枚の 1 円硬貨の間にお湯が残ったまま水に入れられたことが原因として考えられる。
8. モル比熱が同じ値になることは、分子運動論から理解させたい。50g はアルミニウム 1.85 モル、銅 0.79 モル、鉛 0.24 モルに相当する。つまり 50g 中にはおよそ、アルミニウム原子 11×10^{-23} 個、銅原子 4.7×10^{-23} 個、鉛原子 1.4×10^{-23} 個が存在する(図)。金属はおよそ 100℃であるから、これらの原子は全て同じ運動エネルギーを持っている(振動している)。正しくは、$\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}kT$ より、およそ 7.7×10^{-21}(J)の運動エネルギーを持つ。つまりアルミニウム 50g にはこの運動エネルギーを持った原子が鉛 50g よりはるかに多いため、水の温度を上昇させる。一方、3 種類の金属を同じ物質量(1 モル)にした実験 2 では、等しい運動エネルギーを持つ原子数が同じであるので、水温の上昇は等しくなる。



9. 考察 3 では、グラム比熱と質量数をかけてモル比熱を計算する。単原子分子が $\frac{3}{2}R$、2 原子分子が $\frac{5}{2}R$、金属が $3R$ になる。

参考文献　愛知･岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.174　(1988 新生出版)

Specific heat(J/g·K)

Purpose: Understanding specific heat and molar heat

Equipment: Gas burner, Tripod, Beaker(500ml&300ml), Thermometer(alcohol & thermocouple), Chopsticks, Net(3), 1 yen coin(50), 10 yen coin(14), Lead weight(2), Paper cup(3)

Experiment1

(1) Put all 50 1 yen coins (made of Aluminum) (50g) into a net.
(2) Put 11 of the 10 yen coins (made of Copper) (50g) into another net.
(3) Put Lead weight no.15 (50g) into another net.
(4) Put all three nets into the 500ml beaker.
(5) Warm the water to 100℃.
(6) Put each of the metals into 50ml of cold water.
(7) Stir the water in the cup, then measure the temperature with the thermometer.

Expectation1:

Guess which water's temperature will become higher, Aluminum in a cup or Copper or Lead?

[ ] > [ ] > [ ]

Results1:

[ ] > [ ] > [ ]

Consideration1:

In view of the results of the experiment, arrange them in descending order by their specific heat.

[ ] > [ ] > [ ]

Why do you think so?

[ ]

Molar heat(J/mol·K)

Experiment2:

(1) Put27 of the 1 yen coins (made of Aluminum) (1mole) into a net.

(2) Put all of the 10 yen coins (made of Copper) (1mole) into another net.

(3) Put both lead weights (no.15+no.40) (1mole) into another net.

(4) (5)(6) Do the same operation as in Experiment1 except that the amount of water is 100ml.

Results2:

Which water's temperature became higher, Aluminum in a cup or Copper in a cup or Lead in a cup?

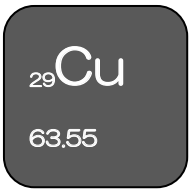
Consideration2:

In view of the results of the experiment, arrange them in descending order according to their molar heat.

Consideration3: Calculate the molar heat.

		S. heat	g/mole	M.heat
Monatomic molecule	He	3.14(J/gK)	4.00(g)	
Monatomic molecule	Ar	0.314(J/gK)	39.9(g)	
Diatomic molecule	H_2	10.1(J/gK)	2.02(g)	
Diatomic molecule	N_2	0.737(J/gK)	28.0(g)	
metal	Cu	0.381(J/gK)	63.6(g)	
metal	Al	0.880(J/gK)	27.0(g)	
metal	Pb	0.126(J/gK)	207.2(g)	

Reference



Impressions:

Class( ) Number( ) Name( )

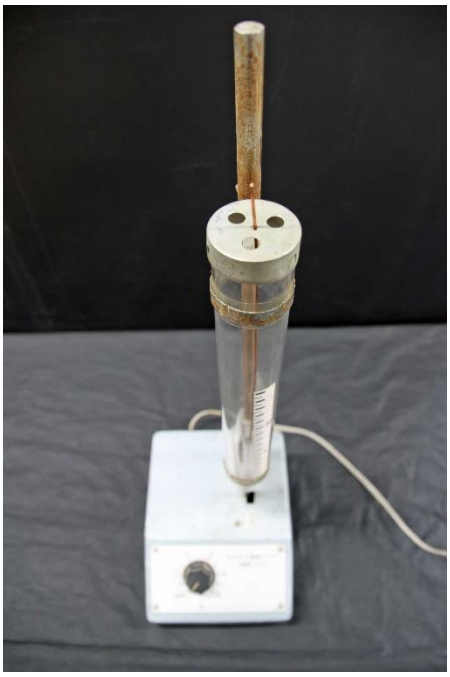
49. ラジオメーター（演示実験）

YouTube 「Crookes Radio Meter」

ラジオメーターは薄い空気を入れたガラス容器内の４枚羽根のすすを塗った黒い面が熱を吸収し、気体分子の運動が激しくなることでそれに押され回転する様に作られている。窓際におき光を当てると回転するが、ろうそくやアイロンの熱でもよく回転する。ガラスから４枚羽根を出して実験すると、空気が濃すぎるため回転しない。

50. 気体の分子運動観察装置（演示実験）

YouTube 「Boyle’s Law & Charles’s Law」



左図の装置は、ガラス製のシリンダー内に、鉄球を入れ、下部にあるピストンを振動させることで鉄球を運動させることができる。鉄球の持つ運動エネルギーの平均値が温度を表している。上部にも軽いピストンのふたがあり、おもりをのせることができる。温度を一定にし、おもりを変化させ体積の変化を調べることでボイルの法則が理解できる。また、おもりを一定（圧力一定）にし、温度変化と体積変化の関係を調べることでシャルルの法則が理解できる。
下の写真のように、鉄球の運動で気体分子の運動をイメージできるところが優れている。

51．ドラム缶つぶし（演示実験）

YouTube 「crush a drum using atmospheric pressure」
YouTube 「The atmospheric pressure」

ドラム缶をガソリンスタンドでもらってきて、中を洗う。２個のブロックの上に置き、ふたを外し１リットル弱の水を入れ、下から加熱する。薪がよい。口から水蒸気が勢いよく出たらふたをのせ、ふたがパタパタ動く状態になれば、一気にふたを閉め（ねじり）、火を消す。完全にドラム缶内が水蒸気で満たされ、しっかりふたをするところが成功の秘訣である。後はホースを使って冷たい水をかけ冷やすと充満していた水蒸気が凝結し、ドラム缶内は真空となり、外部の大気圧を受けて大音響とともに一気にへこむ。ドンとへこむ瞬間を待つ緊張感がこの実験の醍醐味である。経験上、天候の悪い低気圧の日は少し時間がかかる。また、新品に近いきれいなドラム缶は丈夫で少し時間がかかる。しかし、手順を間違わなければ、必ずつぶれてくれる。使用後のドラム缶はふたを開けて、中身を空にして粗大ゴミ（有料）として処分する。写真は前任校の８クラスでつぶしたドラム缶である。

教室で行うには、オイル用の 20 リットルのペール缶がよい。ただし、最近はふたではなく、上部すべてを外してオイルを取り出す店が増えていて、ふただけを開けて使い切ったものをゆずってもらえるように頼んでおくとよい。

一斗缶（ブリキ製の四角い 18 リットル缶）や、炭酸飲料のアルミ缶、珈琲の粉が入った丸い缶（結構丈夫）などでも代用は可能であるが、一度くらいはドラム缶つぶしで大気圧の大きさを実感してみたい。

大気圧の大きさを実感させるのに、ゴムピタ君（左の写真）という商品がある。教室机の天板に置き上に引くと机から離れることなく机ごと浮き上がる。実験室の机であれば持ち上げることはできない。

52. 自転車の空気入れで排気ポンプを作る方法

YouTube 「Concave Mirror」

準備 自転車用空気入れ、ゴム栓（３号）、金属パイプ（外径 8mm）、水道管またはアクリルパイプ

方法

① 空気入れのピストンについているポンプパッキンを逆向きに付け替える。（ネジ式になっている）

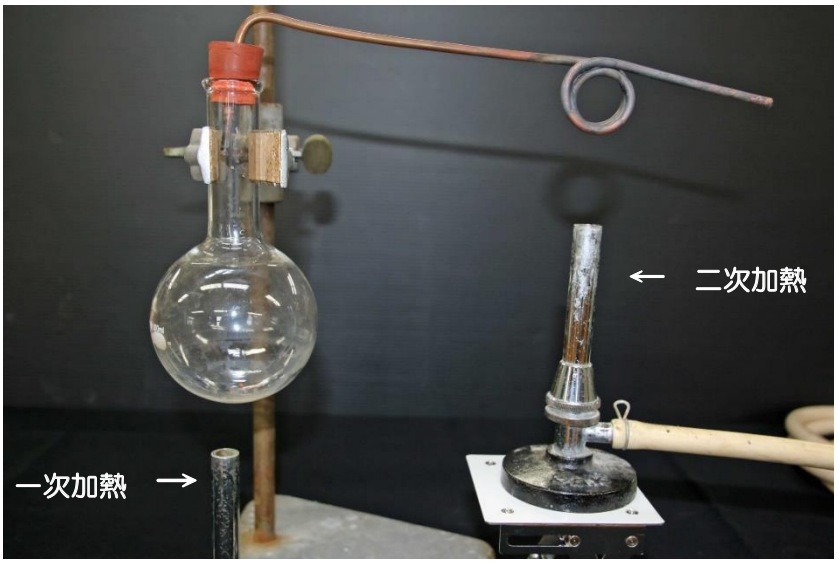
② ホースの根元に高圧バルブがついている場合は取り除く。

③ ２個のゴム栓、２本の金属パイプ、１本の水道管を使って空気弁（空気だめ）を作る。
ゴム栓は、ピストン側は貫通させ、反対側は貫通させずに弁（写真上側のゴム栓）にする。

参考文献 この実験は大阪教育大学付属高校の本菅正嗣先生に指導頂いた。

53. 水でマッチに火をつける（演示実験）

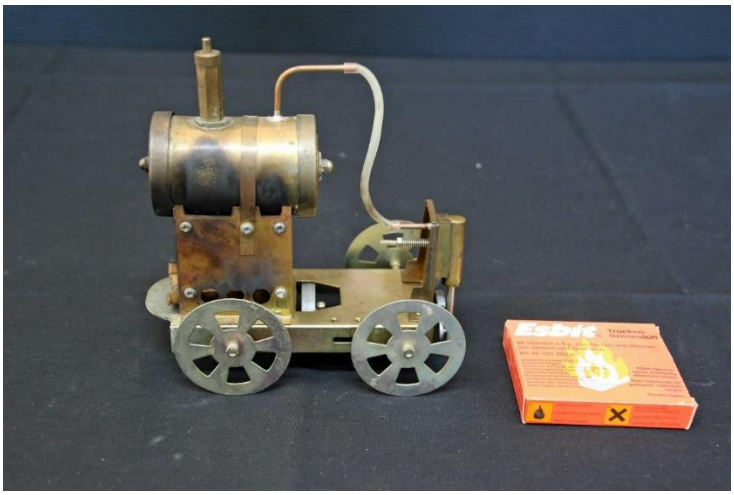
YouTube 「How to get the fire using H_2O」



生徒は湯気を水蒸気であると思っている。湯気は水蒸気が凝結して粒子が大きいため白く見えている。水蒸気は水分子が離れているため白くは見えない。水を温めた水蒸気を再度暖めると 200℃以上の水蒸気を作ることができる。もちろん透明である。マッチを近づけると、水蒸気で火をつけることができる。

54. 蒸気機関車（首振りエンジン）（演示実験）

YouTube 「Oscillating steam engine」



熱エネルギーで水を沸騰させると、体積は 1600 倍になる。水蒸気の勢いを回転運動に変える首振りエンジンは、構造が単純で熱エネルギーを力学的エネルギーに変換させる装置として興味深い。写真は「ベビーエレファント号」で、組み立てキットが現在でも販売されている。

55. 断熱変化・圧気発火器（体験）

YouTube 「Adiabatic change」
YouTube 「Fire Syringe」作り方

断熱圧縮により、紙を発火させる実験装置は、各教材会社から販売されている。破損が多く、ガラス製のシリンダーのものは割れて手を怪我することも多かった。写真の装置は、シリンダーに熱伝導率の低いポリカーボネート製パイプを使用することで、シリンダー容積を小型化することに成功した大阪大谷女子高校の豊田將章先生が開発された圧気発火器である。ピストンの行程はわずか 5cm で、ティッシュペーパーやトイレットペーパーが発火する優れものである。台にはゴムを使用し、シリンダーの破損が、ゴムの弾性とシリンダーの傾きの可動域の拡大によって減少している。力を加える部分を大きくし、小さな子どもでも成功する。材料を入手すれば、安価に自作も容易である。

なお、市販の圧気発火器の演示効果を高めるには、脱脂綿や、紙の代わりにフラッシュペーパー（ニトロセルロース）を使用するとよい。ただし、大きなものを発火させると火力が大きく、シリンダー内の空気の膨張が激しく危険である。

参考文献　この実験は大阪大谷女子高校の豊田將章先生にご指導頂いた。

56. 炭酸抜けません（演示実験）

YouTube 「Adiabatic change」

断熱膨張を示すには、炭酸飲料の保存用のキャップが便利である。容器は小さな炭酸飲料用のペットボトルがよい（かつてはチビレモンという炭酸飲料の容器があった）。容器に数滴のエチルアルコールを入れておくと演示効果が高い。ふたをして 10 回ほどポンピングをして中の空気圧を高める（容器が大きいとこの回数が増える）。ふたのロックを外して急激に空気を膨張させると、断熱膨張により気体の温度が下がり、内部に含まれていたエチルアルコールが凝結し、雲が生じる。

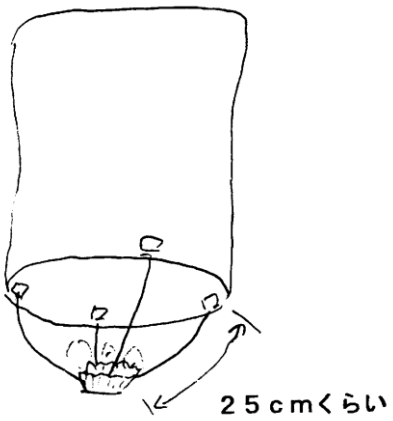
この雲を電灯に照らして観察すると、最初は白いが、次第に黄色くなる。エチルアルコールの粒が大きくなるために生じる現象である。

57. 熱気球（ランタン飛ばし）（体験）

YouTube 「Hot air balloon」

海外旅行でランタン飛ばしは流行しているが、ゴミ袋を利用して簡単に作ることができる。空気の温度を上昇させることで、空気の密度を減少させ、浮力が重力に勝つことでランタンは上昇する。ゴミ袋の厚みと、火をつける脱脂綿の面積を大きくして火力を大きくすることがポイントである。最近は中国製の紙で作ったランタンもネットで販売されている。

準備　ポリエチレン製ゴミ袋(0.015㎜厚以下，650×800㎜)，細い針金(0.2～0.3㎜)，セロテープ，アルミ皿，エタノール，脱脂綿，マッチ，濡れ雑巾



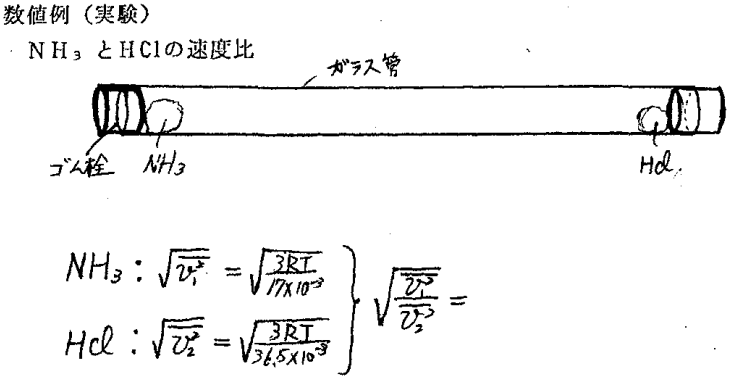
★注意★
- 火力が小さいとうまく飛ばない。脱脂綿を広げて燃焼する面積を大きくするとうまくいく。
- 火事とやけどに注意すること。必ず濡れ雑巾を用意しておき，火が床にこぼれたときは，濡れ雑巾をかぶせて消火すること。
- 天井に設置されている熱探知機の近くで行わないこと。

参考文献「物理実験書ＩB、Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会1994）

58. 気体の分子運動論の実験（演示実験）

YouTube 「Kinetic Theory of Gases」

濃塩酸とアンモニアを脱脂綿に染みこませて，１m長のガラス管(30φ位)の両端に置きゴム栓をします。しばらくすると２：３の距離のところ(2 乗平均速度が２：３)の塩化アンモニウムの白煙が見える。温度が等しいと、気体分子の運動エネルギーは等しい。運動エネルギーが等しいと、分子の 2 乗平均速度の比と質量の逆比が等しくなる。つまり、濃塩酸とアンモニアは、2:3 の位置で出会う。



$$NH_3 : \sqrt{v_1^2} = \sqrt{\frac{3RT}{17\times10^{-3}}}$$
$$Hcl : \sqrt{v_2^2} = \sqrt{\frac{3RT}{36.5\times10^{-3}}}$$
$$\Rightarrow \sqrt{\frac{v_1^2}{v_2^2}} =$$

参考文献　四天王寺高校の川内正先生にご指導頂いた。

59. ブタメン容器の膨張（演示実験）

YouTube 「圧力鍋にブタメン容器を入れてみる」

かつては、カップヌードルの容器を深海に沈めると、水圧のために圧縮され小さくなる実験が行われた。カップヌードルの容器は発泡スチロール製から紙に変わりこの実験はできなくなった。しかし、ブタメンの容器は、まだ発泡スチロールを使っているため可能である。写真の右２つは、東京海洋大の協力を得て、578m、1308m まで沈めて頂いたものである。さて、圧力鍋の内部も高圧なので、ここにブタメンの容器を入れるとどうなるか。使用した圧力鍋のゲージ圧は 80ｋPa なので、およそ 1.8 気圧になる。 空の容器がお湯につからないように針金の台を入れその上にのせる。水を少量入れふたをし、圧力鍋から蒸気が激しく出だしたら火を止め、一気に圧を抜く。ふたを開けると写真の一番左端のような膨らんだ容器となる。左から２番目が普通の状態である。これは、ポン菓子ができるのと同じ原理で、圧縮されていた空気が急激に膨張して、発泡スチロールの粒の間を押し広げるからである。

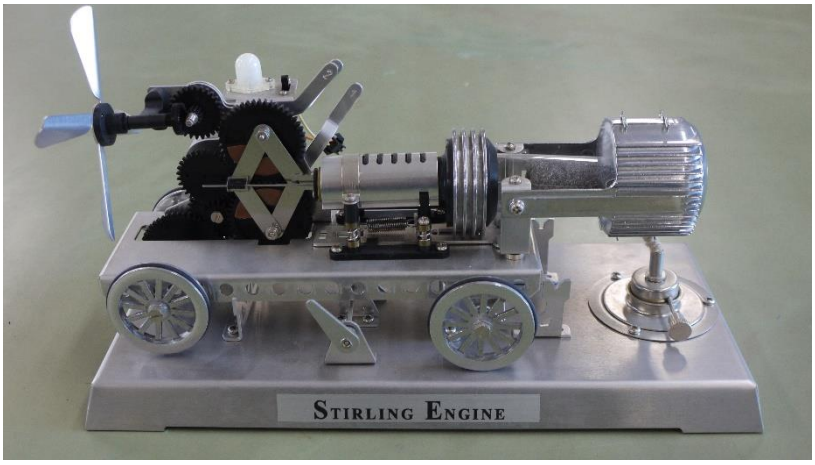
参考文献　高杉強「ふくらむ容器」（横浜物理サークル例会報告 2007）

60. スターリングエンジン（演示実験）

YouTube 「Stirling engine」

試験管と注射器をシリコンチューブでつなぎ、ビー玉を入れると簡単なスターリングエンジンができる。スターリングエンジンはガソリンエンジンやディーゼルエンジンのような内燃機関ではなく、外部から熱を与える外燃機関である。試験管の空気を暖めると膨張し、注射器のピストンが出て試験管の傾きを変える。ビー玉が移動し、空気を冷やすため注射器のピストンが容積を縮ませる方向に移動する。

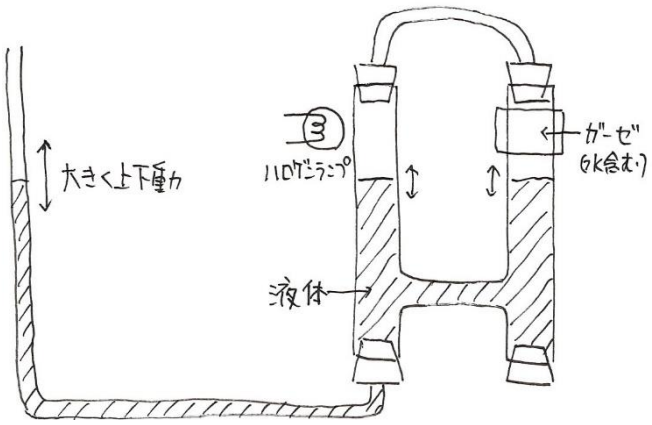
学研「大人の科学」のスターリングエンジンは、大変高性能で、教材会社のものより安価に組み立てられるので使うとよい。



61．水スターリングエンジン（演示実験）

YOUTUBE　Water Stirling Engine

H管を用いて、水スターリングエンジンを作ることができる。H管の左側をハロゲンランプで熱し、右側を水をしみこませたガーゼで冷やす。管内の空気の膨張と収縮により液面の振動が起こる。H管の左右の液面の上下運動が、逆位相より少しずれて起こる。つまり、H管内の水の量は一定でなく、少なくなったり、多くなったりする。共鳴管の長さをうまく調整すると、共鳴管内の液面は大きく上下運動する。

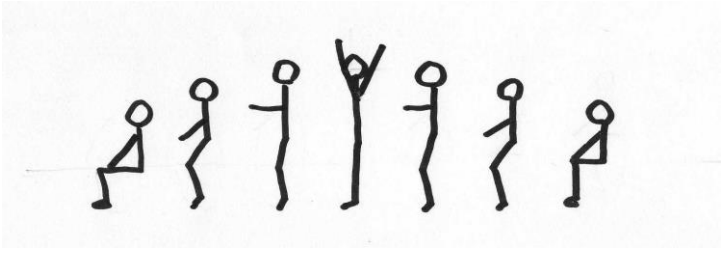


＊本実験は創価大学の桐山信一先生の指導のもと再現しました。

62．縦波と横波（演示実験）（体験）

YouTube　「Transversal wave & longitudinal wave」
YouTube　「Student’s Wave Machine」自由単反射と固定単反射

横波はゴム管、縦波はバネ（スリンキー）が定番であるが、教室でクラスの生徒全員でやっておきたい。教室の前から後ろに波が伝わるとき、横波は媒質の動きが波の伝わる方向と直角であるので上下に振動させる。媒質である生徒は、立ったり座ったりし、その動きを少し遅らせて後ろの生徒がまねる。縦波は、座ったまま、前に倒れたり後ろに倒れたりという振動をさせ、その動きを後ろの生徒が少し遅らせてまねる。
後日、自由端反射と固定端反射をやってみたいというクラスが現れたので挑戦してみた。



63. 屈折率の測定（生徒実験）

YouTube 「Measurement of index of refraction」
YouTube 「Refractive index of the light」

物理実験『屈折率の測定』measurement of index of refraction

屈折率（index of refraction）とは、光が媒質中を伝わるときの［　　］のことで、真空の屈折率を基準の１とする。

目的：プラスチックの屈折率を測定する
　　プラスチックの臨界角を求め、全反射を理解する。

準備：半円状プラスチック板、分度器、レーザー光源、電卓

実験：①　入射角を変えて(10°、20°、30°、40°)屈折角を求める。
　　②　それぞれの入射角における、空気に対する屈折率を求める。
　　③　平均を求める（３桁でよい）。
　　④　屈折角が 90° となる入射角（臨界角）を求め、実際に確かめてみる。

入射角（プラ側） Angle of Incidence	10°	20°	30°	40°	臨界角
屈折角（空気側） Angle of Refraction					90°（全反射）
$N_{空プ}$＝sin 空/sin プ Value of the ratio					平均

角 度	角 弧度[rad]	正弦 (sin)	角 度	角 弧度[rad]	正弦 (sin)
0°	0.0000	0.0000			
1°	0.0175	0.0175	46°	0.8029	0.7193
2°	0.0349	0.0349	47°	0.8203	0.7314
3°	0.0524	0.0523	48°	0.8378	0.7431
4°	0.0698	0.0698	49°	0.8552	0.7547
5°	0.0873	0.0872	50°	0.8727	0.7660
6°	0.1047	0.1045	51°	0.8901	0.7771
7°	0.1222	0.1219	52°	0.9076	0.7880
8°	0.1396	0.1392	53°	0.9250	0.7986
9°	0.1571	0.1564	54°	0.9425	0.8090
10°	0.1745	0.1736	55°	0.9599	0.8192
11°	0.1920	0.1908	56°	0.9774	0.8290
12°	0.2094	0.2079	57°	0.9948	0.8387
13°	0.2269	0.2250	58°	1.0123	0.8480
14°	0.2443	0.2419	59°	1.0297	0.8572
15°	0.2618	0.2588	60°	1.0472	0.8660
16°	0.2793	0.2756	61°	1.0647	0.8746
17°	0.2967	0.2924	62°	1.0821	0.8829
18°	0.3142	0.3090	63°	1.0996	0.8910
19°	0.3316	0.3256	64°	1.1170	0.8988
20°	0.3491	0.3420	65°	1.1345	0.9063
21°	0.3665	0.3584	66°	1.1519	0.9135
22°	0.3840	0.3746	67°	1.1694	0.9205
23°	0.4014	0.3907	68°	1.1868	0.9272
24°	0.4189	0.4067	69°	1.2043	0.9336
25°	0.4363	0.4226	70°	1.2217	0.9397
26°	0.4538	0.4384	71°	1.2392	0.9455
27°	0.4712	0.4540	72°	1.2566	0.9511
28°	0.4887	0.4695	73°	1.2741	0.9563
29°	0.5061	0.4848	74°	1.2915	0.9613
30°	0.5236	0.5000	75°	1.3090	0.9659
31°	0.5411	0.5150	76°	1.3265	0.9703
32°	0.5585	0.5299	77°	1.3439	0.9744
33°	0.5760	0.5446	78°	1.3614	0.9781
34°	0.5934	0.5592	79°	1.3788	0.9816
35°	0.6109	0.5736	80°	1.3963	0.9848
36°	0.6283	0.5878	81°	1.4137	0.9877
37°	0.6458	0.6018	82°	1.4312	0.9903
38°	0.6632	0.6157	83°	1.4486	0.9925
39°	0.6807	0.6293	84°	1.4661	0.9945
40°	0.6981	0.6428	85°	1.4835	0.9962
41°	0.7156	0.6561	86°	1.5010	0.9976
42°	0.7330	0.6691	87°	1.5184	0.9986
43°	0.7505	0.6820	88°	1.5359	0.9994
44°	0.7679	0.6947	89°	1.5533	0.9998
45°	0.7854	0.7071	90°	1.5708	1.0000

結論：入射角が 10°～40° の４つの屈折率を平均して、空気に対するプラスチックの屈折率 $N_{空プ}$ を求めよ。

考察：臨界角を計算から求め、確かめよ。

感想

（　　）組（　　）番　氏名（　　）

64. 赤外線リモコンの実験（演示実験）

YouTube 「Infrared rays」

赤外線はスマートホンやデジタルカメラの CCD がとらえる。太陽電池で受光した信号をオシロスコープでその波形を見ることができる。しかし最もおもしろいのは太陽電池をアンプ付きスピーカーにつないで音としてとらえる方法だ。チャンネルによる音の違いはとらえられないが、メーカーによって音程やリズムが変わる。

65. 定在波実験装置（演示実験）

YouTube 「Standing wave」

黒板に磁石でひっつけるタイプの定常波観察装置は、定常波の理解に大いに役立つ。最近の生徒は、ストロボがなくても手のひらを目の前にかざし「フリフリ」することによって、コマ送りの動画を見る技を持っている。

66. 魚洗鍋（演示実験）（体験）

YouTube 「Resonance Pan」

料理用のボウルでも可能だが、この魚洗鍋の定常波は迫力がある。取っ手をこすって低い音が出るようにするのがこつである。鍋が滑らないようにゴムの敷物の上にのせること。手を少しふやかせること。４箇所に噴水が上がる絵が描かれているが、その場所が激しく振動する部分となり、しぶきが跳ね上がる。

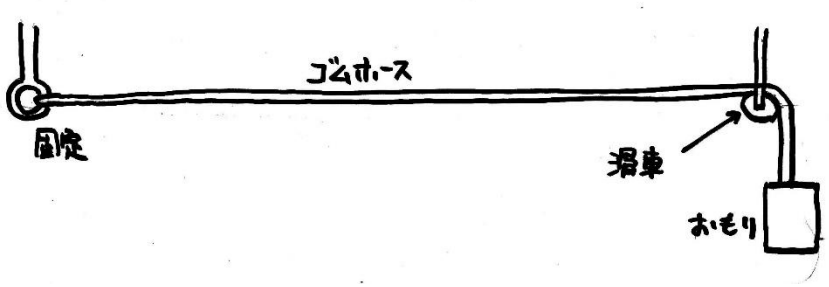
67. チョコレートを用いたマイクロ波の波長測定

YOUTUBE 「Microwave Oven and Chocolate」

ターンテーブル式の電子レンジ（フラットテーブル式は使用できない）の、ターンテーブルを外して、セロハンテープの芯などを中央に設置し、その上にお皿を置く（お皿は回転しない）。お皿の上に板チョコを置き、500W の出力で 40 秒ほどレンジを作動させる。板チョコを取り出すと、6cm 程度ごとに、溶けている部分と、溶けていない部分が交互に現れる。これは電子レンジ内にマイクロ波の定在波が生じたためにおこったもので、溶けた部分の間隔（腹と腹の間隔）を求め２倍すると、マイクロ波の波長が求められる。λ=0.12mとすると、$v = f\lambda$ の vに 3×10^8 を代入して 、ｆ＝2500MHz（およそ 2450Hz）が求められる。

68. 線密度の測定（生徒実験）

YouTube 「Linear density」



実験室の前方の端から端まで、約 7m ほどゴムホース（直径６mm程度）を滑車を介して張り、端にビニール袋を吊し、その中におもり（1kg～2kg）を入れて張力を与える。ホースの端を指でたたきパルス波を発生させる。数名の生徒にストップウォッチを持たせ、３往復の時間を計らせる。最も時間が長かった者、最も短かった者のデータを捨て残りのデータを平均する。３往復の距離を時間で割ると波の伝わる速さが求まる。さて、おもりの質量がわかっているため、張力がわかるので、線密度が計算できる。おもりを吊した状態で、ホースを１m 分切断し、はかりで質量を計る。多くの生徒の協力で、短時間でできるこの実験の精度はかなり高い。

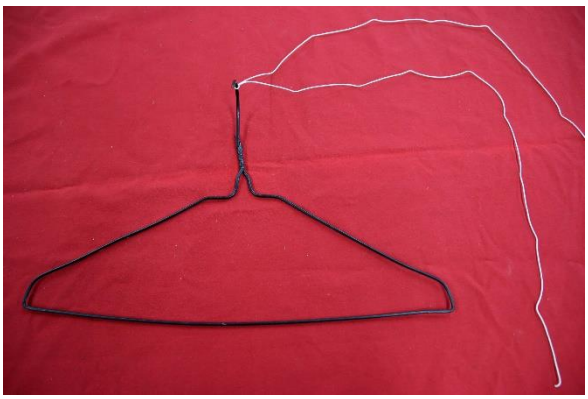
69. ウェーブマシーン（演示実験）

YouTube 「Standing wave on an aluminum rod」

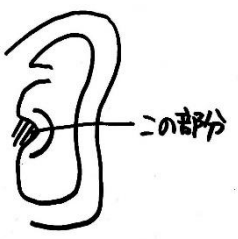
よく使われるウェーブマシーンは左図のタイプで横波をゆっくりと見せることができる。このマシーンの最大の魅力は、波が伝わる速度がゆっくりであることだ。それでも、動画で撮影してさらにゆっくり進ませるとよりわかりやすい。波源が 1 回振動する間に 1 波長波が進むことは、スローモーションで撮影して見せておきたい。自由端反射と固定端反射、自由端で定常波が腹となること、固定端で定常波が節となることはこの装置が一番わかりやすい。

かつては、左図の写真のようなウェーブマシンがあった。横波はもちろんバネにつながれることによって縦波を見ることができる。縦波の定常波を見るには優れもので、節の部分が密になったり疎になったりする様子がよくわかる。

70. ハンガーでお寺の鐘（体験）



ハンガーを糸で結ぶ。両耳の図の斜線部分を耳の穴に押しつけその上に糸を当てて指で押す。糸が耳以外に当たらないようにハンガーをつり下げて、揺らして机に当てる。ゴーンというお寺の鐘の音のような荘厳な響きが聞こえる。スプーンを吊しても聞こえる。糸が高い音を伝えにくいために、低い音が聞こえるらしい。



参考文献　愛知岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験 2」p.22（新生出版 1999）

71．グラスハーモニカ（演示実験）

YouTube　「Glass harmonica」

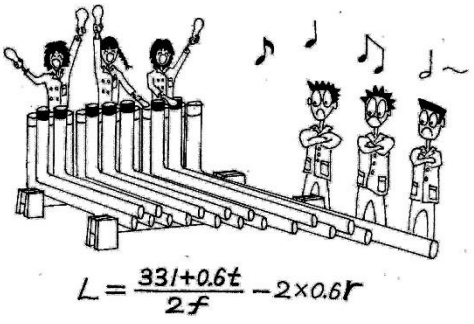
フランクリンが考案したグラスハーモニカは、悪魔の楽器アルモニカとも呼ばれている。足の部分に柄が付いたワイングラスやビールグラスがなりやすい。グラスの縁をぬれた指でこすると高いきれいな音が鳴る。グラスに入れる水の量で音程を変えることができる。水を多く入れると低い音になる。つまり、気柱が共鳴しているのではなくグラスそのものが鳴っている。注意深く観察すると水の振動の様子から、４つの節と腹が並んでいることがわかる。魚洗鍋と同じ定常波である。鳴りにくい場合は指に酢酸をつけると指がふやけ鳴りやすくなる。

72．パイプホン（体験）

YouTube　「The pipe horn」

ベトナムにクロンプットという楽器がある。これによく似たパイプホンを最初に考案したのは札幌在住の音楽家、河辺幸吉さんである。物理の教材として優れていると思い、使わせて欲しいとお願いしたところ、快くかまわないという返事を頂いた。塩ビ製水道管（VU75）を切って組み立て、ビーチサンダルでたたくと管内の気柱に定常波ができ心地よい音が鳴り響く。実験室の前に常設してあり、生徒は自由に演奏している。

参考文献　宝多卓男「AERA MOOK 物理がわかる」p.24（朝日新聞社 2002）

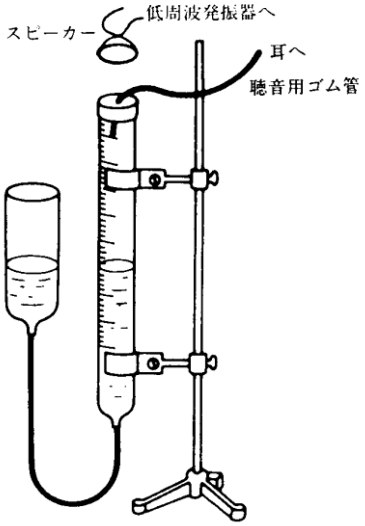


73. 気柱共鳴の実験（生徒実験）

目的　スピーカー(または、おんさ)を振動させ，それに気柱を共鳴させてスピーカー(または，おんさ)の振動数を測定する。

器具　気柱共鳴装置(目盛りつきガラス管，ゴム管，水だめ，支持台)，スピーカーと低周波発振器(または，おんさとたたき棒)，温度計，聴音用ゴム管

方法



気柱共鳴装置

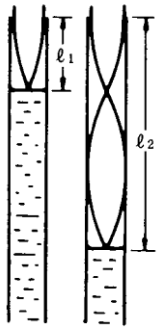
1．温度計ではじめの管内の気温t_1[℃]を測る。

2．図のように気柱共鳴装置に水をそそぎ込む。

3．水だめを高く持ち上げ，管内の水面を管口近くまで上げておく。

4．スピーカーを鳴らし，(おんさをたたき棒でたたき)管口近くへ持っていく。

5．水だめを下げて管内の水位を静かに下げ，管が発する共鳴音が最大になるおよその位置をさがし目印をつける。その付近でさらに水面を上下させて，正確に共鳴点を求め，管口からその点までの距離l_1[m]を測る。（共鳴点が求めにくいときは，聴音用ゴム管を用いるとよい。）



たて波を横波表示している

6．それからさらに水位を下げて再び共鳴音が最大になる位置を求め，管口からの距離l_2[m]を測る。

7．上の5．と6．の操作を数回くりかえして測る。

8．温度計で終わりの管内の気温t_2［℃］を測る。

結果

はじめの管内の気温t_1 =＿＿＿＿℃　　終わりの管内の気温t_2 =＿＿＿＿℃

回	管口からの距離		半波長
	l_1[m]	l_2[m]	(l_2- l_1) [m]
1			
2			
3			
4			
		平均	

管内の気温 ； $t = \frac{t_1 + t_2}{2} =$＿＿＿＿ ℃

音の速さ ； $v = 331.5 + 0.6\,t =$＿＿＿＿＿＿m/s

音波の波長 ； $\lambda = 2(l_2 - l_1) =$＿＿＿＿＿＿m

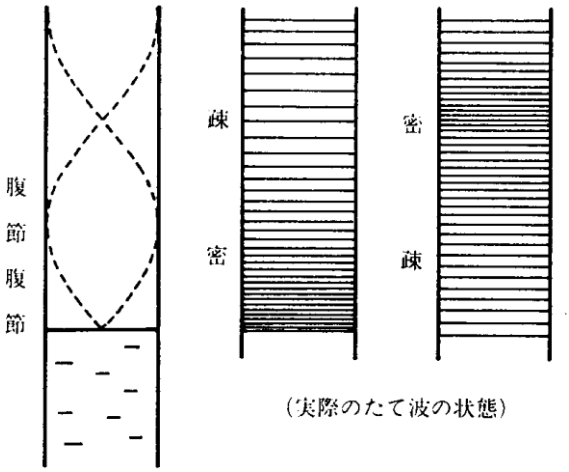
スピーカー(おんさ)の振動数； $f = \frac{v}{\lambda} =$＿＿＿＿＿＿Hz

考察

1．波長を求めるのに共鳴点を２か所探したのはなぜか。

2．ガラス管の上端に生ずる定常波の腹は，管口よりどれくらい上になっているかを求めてみよう。

3．気柱が共鳴しているとき、聴音用ゴム管を差し込んだ差し込んで，腹の部分か、節の部分かどちらが音が大きいか観察してみよ。



（実際のたて波の状態）

研究

第３の共鳴点 l_3があれば，この値を用いて振動数を求めてみよう。

（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

参考文献　「物理実験書ⅠB、Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会 1994）

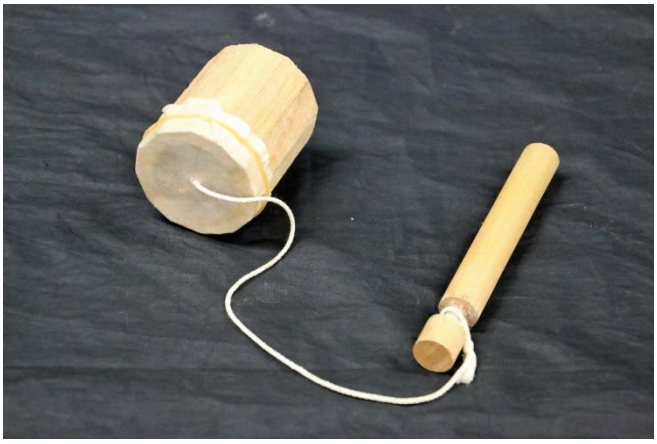
74. 振動板（体験）

YouTube 「Diaphragm」

バドミントンラケットに幅の広いスコッチテープを貼ると、シャトルが当たったときに小鼓をたたいたときのようなおもしろい音が鳴る。普通にガットにコルク部分が当たるだけでは、カンという甲高い音がするだけだが、面積の広い振動板が多くの空気に振動を伝えるので、大きな音が鳴る。写真はわかりやすくするため、スコッチテープに着色を施した。

75. 虫笛（体験）

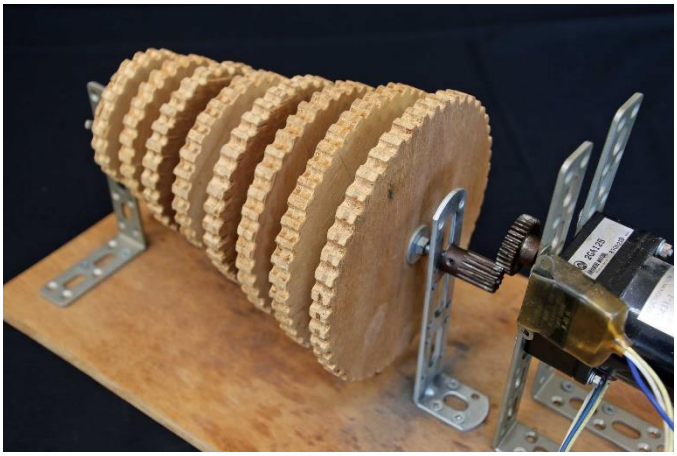
YouTube 「The sound of friction」



たこ糸が棒をこするところに、松ヤニを塗っておくと摩擦により糸が振動する。これだけでは音が小さいが、糸の先に振動板をつけると、振動板が振動し、空気に触れる面積が大きいため、大きな音を空気に伝える。蛙の鳴き声や蝉の鳴き声に似た音が響く。音が振動であること、振動板が音を大きくすることがわかる。

76. 歯車楽器（演示実験）

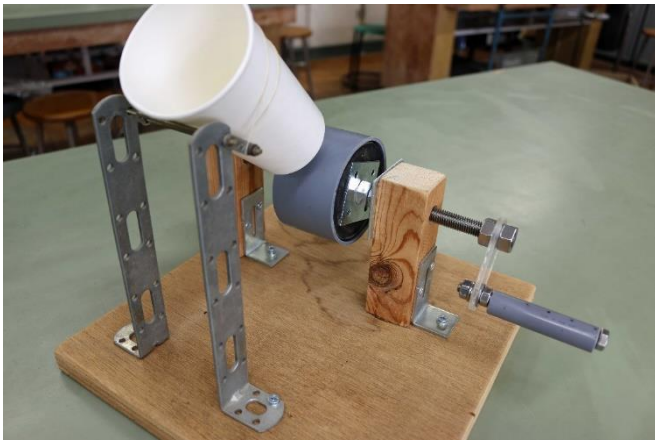
YouTube 「Gear wheel musical instrument」



８つの歯車を同じ角速度でまわるようにし、回転する歯の部分に名刺等を当てると、歯の数によって音程が変わる。歯は、円周に添って必要な歯の数だけ先にドリルで穴を空けてから、円周をジグソーできると楽に作ることができる。

参考文献　「いきいき物理わくわく実験」p。109（新生出版 1988）

77. エジソンの蓄音機（演示実験）



図のような装置を作り、塩ビ管の筒の部分にステンレステープを貼る。油を少し塗って紙コップにつけた針のすべりをよくする。筒を回転させながら紙コップに向かって大声でしゃべると、しゃべった声の波形がステンレステープに刻まれる。筒を巻き戻して、針を刻まれた溝に当て再度回転させると再生される。針が溝にきっちり当たるように工夫すれば、意外と簡単にできる。

参考文献　この実験は広島文教大学の原田正治先生にご指導頂いた。

78. メルデの実験（生徒実験）

YouTube　「弦の振動」

YouTube　「How to make Melde’s experimental equipment」

目的　定常波の理解、線密度の測定

準備　電磁石式記録タイマー（60Hz）、水糸、バネばかり、メジャー、C 型クランプ（2 個）、滑車、電卓

方法　1．およそ、図のように装置をセットする。 f＝＿＿＿＿（Hz）

2．限の長さℓを測定する。　　ℓ＝＿＿＿＿（m）

3．バネばかりを支える手で張力を調節し、腹の数が 2 個になるようにし、そのときのバネばかりの目盛りを読む。

4．同様に、腹の数が 3 個、4 個、5 個になるようにし、そのときのバネばかりの目盛りを読む。

結果

腹の数n（個）	バネばかりの目盛り（ｋｇW）	糸の張力（N）	線密度（ｋｇ／m）
2			
3			
4			
5			
		平均値　→	

考察　1．弦の固有振動数の公式に代入して、結果の表の線密度の欄を埋め、平均値を求めよ。

2．電子天秤で水糸の質量を計り、長さで割って線密度を出して実験結果と比較し、誤差を%で示せ。

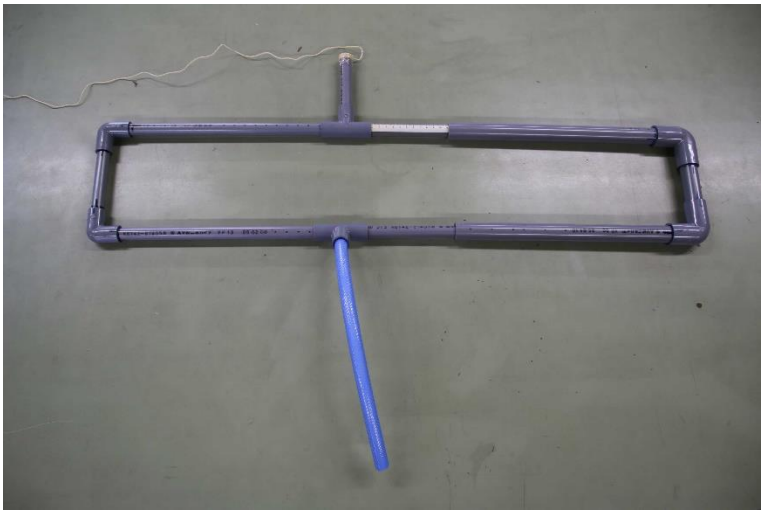
感想

（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

79. クインケ管で音速測定（生徒実験）

YouTube 「Mesurement of sound velocity」

物理の実験室の生徒机には、左の写真のようなコンセントがある。教師用の実験机もよく探してみると、同じコンセントがある。これらはつながっていて、教師用の机から生徒用の机に音波が送れるようになっている。低周波発信器があれば、すべての生徒用机に一斉に音波を送ることができる。メルデの実験でスピーカーを波源に使う場合や、クインケ管で音速をはかるときに便利である。



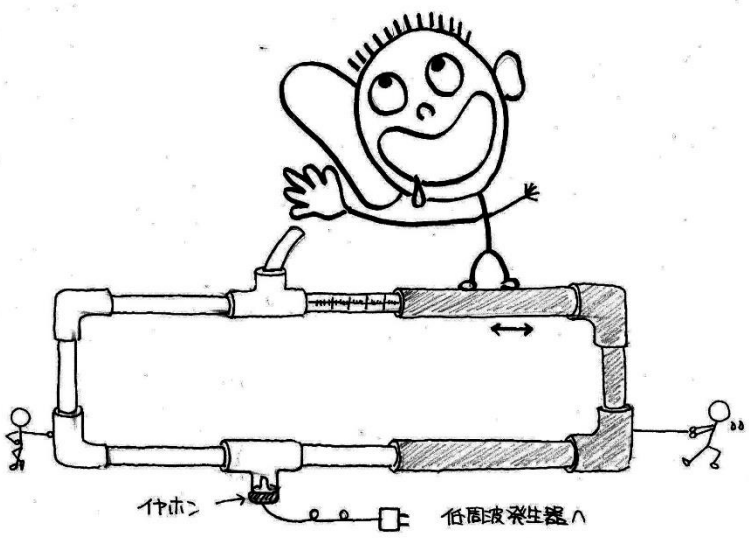
クインケ管は、10 班分をそろえると大変高価になるので、水道管で自作する。水道管の規格は VP20 と VP13 を組み合わせて作成した。スピーカーは大きいので、クリスタルイヤホンを使用する。音を聞くための水道ホースをつないでおくと、小さな音を聞くのに便利である。

各班で測定した 4 つの音速を平均したものを発表させ、各クラスごとの標準偏差を出し、クラス対抗で競わせている。音の強弱は、他班の音も聞こえて測定しづらいが、クラス対抗にすると生徒は張り切って実験をする。

クインケ管を用いて音速を測定する

目的　クインケ管を用いて、音の干渉を観測する。
　　クインケ管を用いて、音波の波長を測り、音速を測定する。

準備　クインケ管、クリスタルイヤホン、低周波発信器、アンプ、温度計、電卓



方法　１　はじめの室温を測る。
　　２　下の口（イヤホン側）より音を入れ、管を出し入れしながら音波が干渉して、音が大きくなったり小さくなったりする様子を確かめる。
　　３　管を出し入れしながら、音が最も小さくなる位置 x(cm)を記入する。
　　４　振動数を変えて同じことを行う。
　　５　波長と音速を求める。
　　６　終わりの室温を測定する。

結果　　はじめの室温　　(℃)　　終わりの室温　　(℃)

	２５００（Hz）	３０００（Hz）	３５００（Hz）	４０００（Hz）
x_1(cm)				
x_2(cm)				
x_3(cm)				
λ(cm)				
v(m/s)				

参考　○　波長の求め方　x_2-x_1とx_3-x_2の平均を求める。この値を２倍すると λ になる。
　　○　音速の求め方　$v=f\lambda$ に代入する。

考察　４種類の振動数の音波の速度の平均値から、音速は　→

室温から求めた音速と比べ、一致しない場合、その原因を考えよ。

感想

全班のデータから（　）組の「標準偏差」を求めよう

複数のデータを集めたとき、平均からどの程度散らばりがあるのかを示すものが標準偏差です。３つのデータがあり、（0，5，10）で平均が５の場合と、（4，5，6）で平均が５の場合では標準偏差（平均との散らばり）が異なります。

Procedure１　10 班のデータ X（音速）の平均 $\bar{X}$ を求める。

１班	２班	３班	４班	５班	６班	７班	８班	９班	10 班

$\bar{X}$ ＝

Procedure２　Xと$\bar{X}$の差（$\Delta X = X - \bar{X}$）（偏差）を求める。

１班	２班	３班	４班	５班	６班	７班	８班	９班	10 班

Procedure３　偏差（$\Delta X = X - \bar{X}$）の２乗（偏差平方）を求める。

１班	２班	３班	４班	５班	６班	７班	８班	９班	10 班

Procedure４　偏差平方の平均 V_x（分散）を求める。

Vx＝

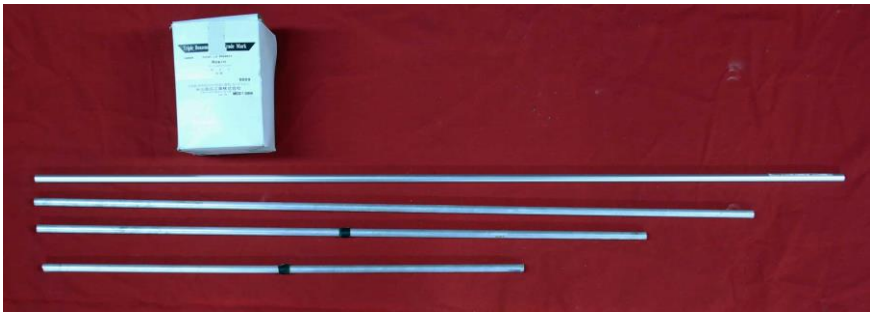
Procedure５　分散 V_xの平方根 Sx（標準偏差）を求める。

Sx ＝

(　　)組(　　)番　　氏名(　　)

80. シンギングロッド（体験）

YouTube 「Standing wave on an aluminum rod」

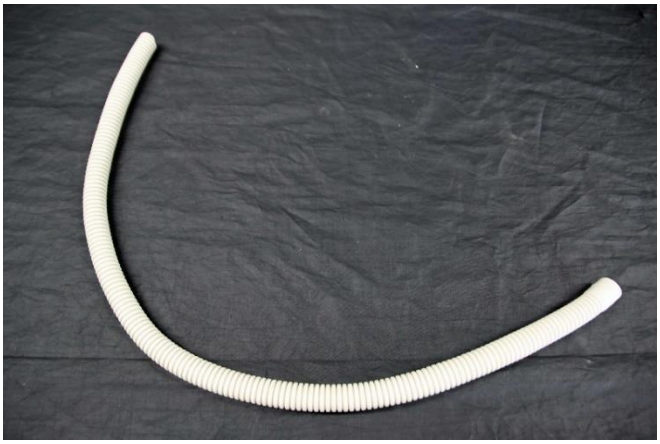


気柱の共鳴現象のモデルとして、アルミ棒の定常波実験は興味深い。気柱共鳴においては両開口端の気柱とアルミ棒に生じる定常波が一致する。ロジンを指につけこすって音を出すが、音を出すこつをマスターすると、２倍振動や３倍振動まで作り出す生徒がいる。節の部分を指で支えても音は減衰しないが、腹の部分を触るとすぐに音は消える。音波が縦波であるイメージもつかみやすい。

参考文献：「物理実験書ⅠB、Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会 1994）

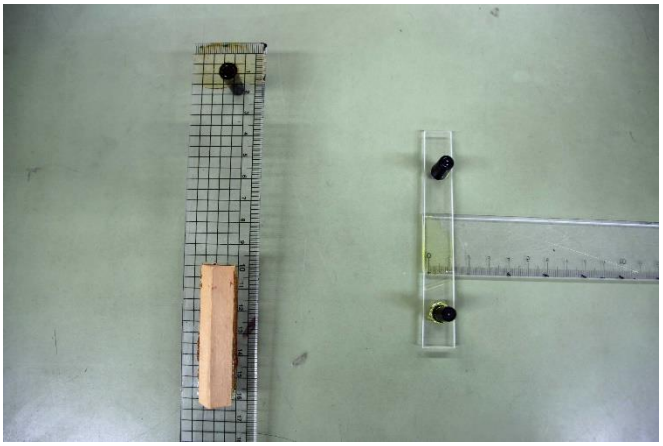
81. ドレーンホース楽器（体験）

YouTube 「Standing wave in the Drain hosepipe」



エアコンの室外機に使われるドレーンホースは、その一方の先端を持って図上で振り回すと音が鳴る。中心から外に向かう向きに風がながれ、ホースのでこぼこによって渦ができる。口をつけて吹いても鳴るが、ホースの長さを変えても音程は変わらない。ホースに刻まれたでこぼこが定常波を決める要因になっているものと考えられる。

82. 蛇腹干渉器（演示実験）



初任校が新設校だったため、実験装置がなく水波投影機を簡単に作る方法を教えてもらい、大変重宝したことを覚えている。OHP の上に乗るサイズの四角く浅い水槽をアクリル板で作る。反射波を押さえるために縁の内側にスポンジをはる。ドア用のクッションテープがよい。震動源は 30cm の定規と三角の角材、ボールペンのふたで作る。この定規に振動を与えるものが、丸棒を刺した灯油ポンプの蛇腹である。円形波、円形波の干渉の他、振動を与えながら移動するとドップラー効果も見える。

参考文献　この実験方法は北海道の斎藤孝先生にご指導頂いた。

83. クラドニー図形（演示実験）

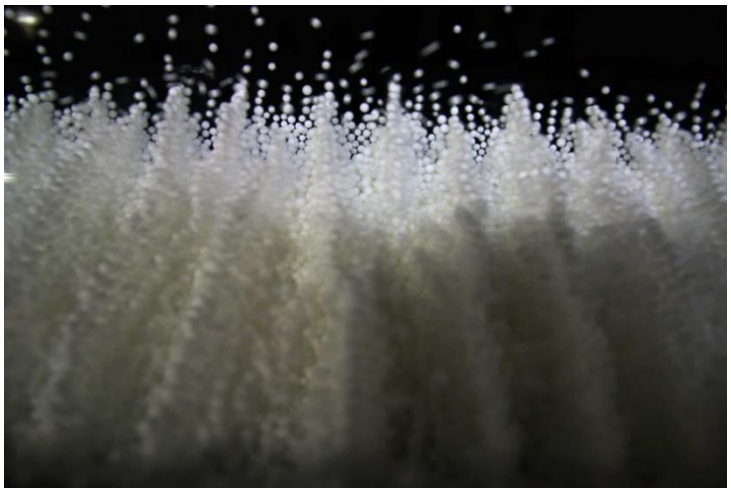
YouTube 「Chladni figures」

スピーカーのコーン紙にプラスチックの薄いコップの底を木工ボンドで止める。コップの内側からボルトを固定しておき、このボルトに下敷きなどを両側からナットで止める。このスピーカーに低周波発信器から音を送ると、クラドニー図形を見ることのできる装置となる。食塩をまくと、ある振動数ごとに、同心円の定常波の波形が現れる。残念ながら、音波の波長より短い倍音の定常波のようだ。

84. クントの実験（演示実験）

YouTube 「Kundt’s Tube」

YouTube 「Kundt’s Tube2」

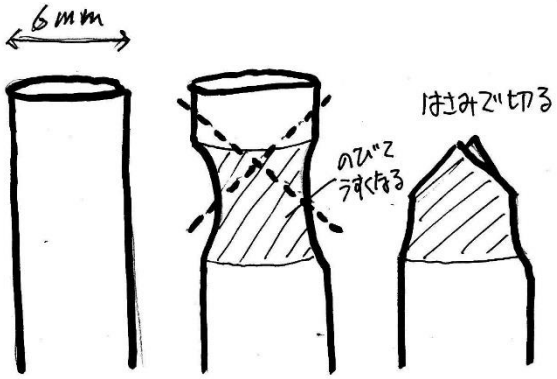


音波の定常波を見せる実験として、クントの実験は欠かせない。市販のものは音量が小さいので、オーディオアンプ、スピーカーを用いて低周波発信器の音を大きくするのがよい。できれば、直径 15cm ほどのアクリルパイプを使うと迫力が増す。発泡スチロール球は見事に踊り出す。この実験では変位の腹で発泡スチロールが激しく動くが、使用する粒子の大きさが小さくなると変位の節で激しく振動することも知られている。

参考文献　笹川民雄「クントの実験における粒子の運動」（物理教育 57 号 2009）

85. ストロー笛の実験（体験）

YouTube 「Straw flute」

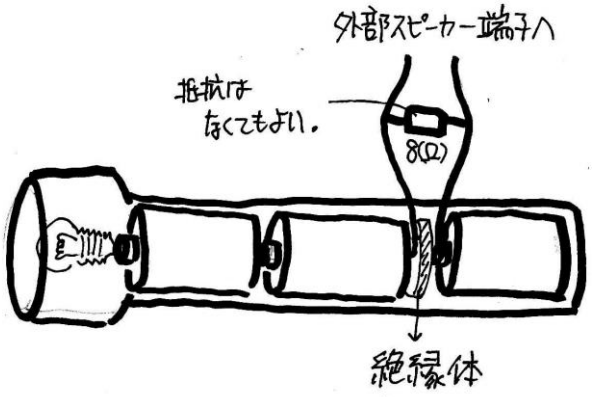


気柱共鳴の最初に、ストロー笛を作らせるとよい。直径が 6mm 程度の（4mm のものは鳴りにくい）ストローを奥歯でかんで少し伸ばす。リード部分は薄い方が振動が起こりやすい。伸びた部分をはさみで三角に切り、リード部分の隙間の距離と吹く息の強さを調節すると音が鳴る。ストローの側面に穴を空け、押さえた指を下から順に離していくと音程を変えることができる。ストロー自体をはさみで短く切っていってもよい。

86. 光通信（演示実験）

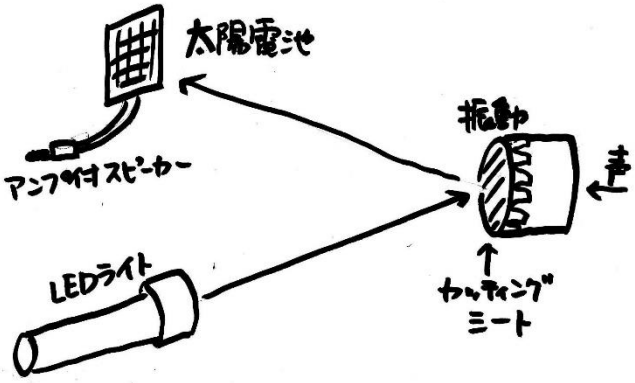
YouTube 「Optical Communication」

YouTube 「Optical Communication 2」



懐中電灯（LED ライトの方が豆電球式より点滅の反応が早く音がよい）の電池の間を 1 カ所絶縁し、そこにリード線をつなぎ音源の外部スピーカー端子（イヤホンジャックしかない場合は、アンプを介すとよい）につなぐ。音声に合わせて光が点滅する様子を見ることができる。これを太陽電池で受光する。太陽電池はアンプ付きスピーカーのマイクジャックに接続する。

この太陽電池は蛍光灯の点滅に反応し、大きな音を出すので、蛍光灯を消し、自然光の状態で行うとよい。



また、このような細工をしなくても、LED ライトの光を、鏡状のシート（カッティングシートなど）を貼った円筒に当て、、その反射光を太陽電池で拾ってもできる。円筒の裏から話してカッティングシートを振動させると、その反射光の振動を太陽電池は再生してくれる。

なお、最近の LED ライトは大変明るいため、少々暗めのものを選んだ方が、音はきれいなようである。

87. 水レンズの屈折（演示実験）

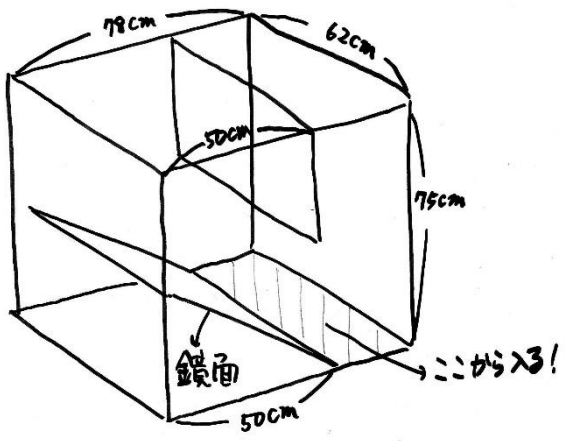
YouTube 「Refraction using water lens」

円柱形のビーカーや丸底フラスコに水を入れそれを通して絵を見ると、ビーカーでは左右反転、丸底フラスコでは上下左右反転した絵が見える。

88. 生首の箱（体験）

YouTube 「Horror Box」

目の前で見てこそ不思議な「生首の箱」。図のようにベニア板を切って組み立てる。両面ともにペンキで黒く塗る。
45°に傾けた鏡を取り付け、もたれかかっても大丈夫なように、鏡の上部はベニヤ板で補強する。さらに取っ手をつけておくとよい。箱の内側の角は白いたこ糸を貼り付けておくと、奥行きがはっきりする。
最初は文化祭のお化け屋敷用に作ったが、これが暗いところに置くより、明るいところでやった方が、怖い。それほどじっと見ても不思議なのだ。

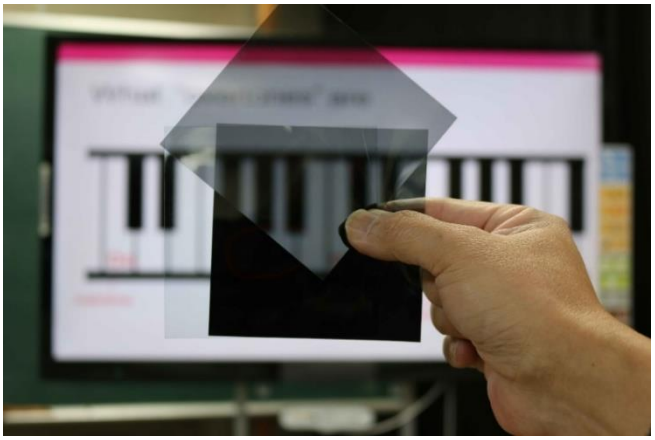


参考文献　この実験は青少年のための科学の祭典八戸大会で青森県の工藤実先生にご指導頂いた。

89. 偏光板の実験　ブラックウォール（体験）

YouTube　「Polarization Light」

YouTube　「Black Wall using polarizer sheets」

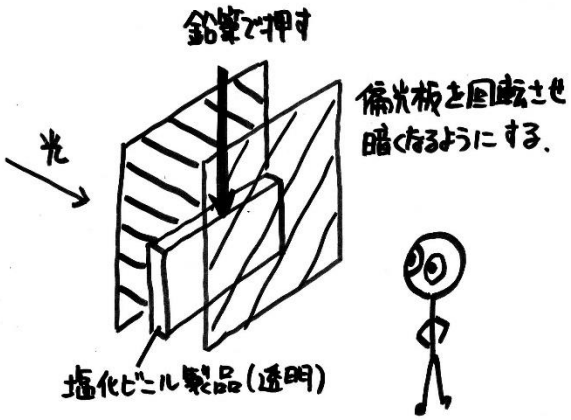


机に反射した光を偏光板を回転させながら見ると、暗くなったり明るくなったりするのが観察できる。反射光は偏光である。テレビの液晶画面を同じようにしてみると偏光板の角度によって真っ暗になる。２枚の偏光板を直角に重ね合わせると真っ暗になるが、もう１枚の偏光板を間に挟み、45°方向になるようにすると見えるようになる。

箱の側面に、上部と下部で偏光板を 90°ずらして貼ると、中央に黒い壁が現れる。実際には壁はないが、上部の偏光板と下部の偏光板が重なるため暗くみえる。

90. 偏光板を使って力を見る（体験）

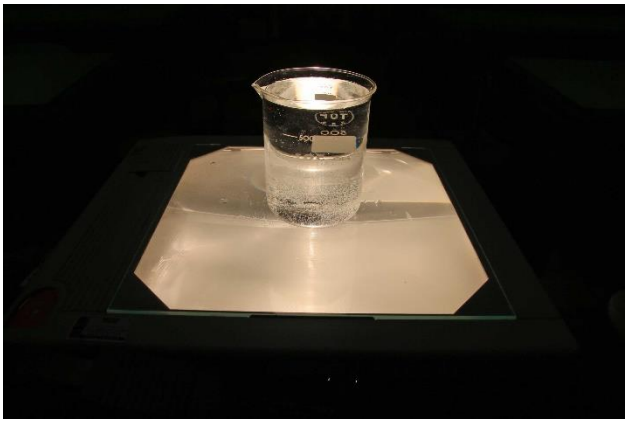
偏光板を2枚重ね、最もくらくなる状態にする。2枚の偏光板の間に透明な厚手の塩化ビニル製品を入れ，指で力を加え，偏光板を通して見てみよう。薄い塩化ビニルシートであれば引っ張って伸ばしてもよい。色々な色が現れます。卵のケース、プラスチックのスプーン、冷凍庫で作った薄い氷セロハンテープを何枚か重ねて貼ったアクリル板もおもしろい。



この実験は横浜の湯口秀敏先生にご指導頂いた。

91. OHP で虹（演示実験）

YouTube 「Rainbow spreading throughout the laboratory」



OHP の上に水を入れたビーカーを置くと、教室の天井いっぱいに円形の虹を見ることができる。フレネルレンズで中心向きに屈折した白色光がビーカーの水に側面から斜め上向きに入るときに、分散して天井に丸い虹を作る。赤が内側に紫が外側に見える虹である。

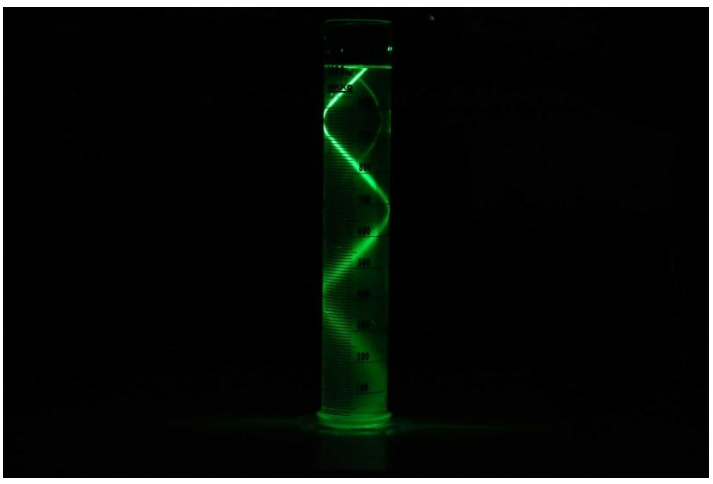
参考文献　愛知・三重物理サークル「いきいき物理わくわく実験 3」p.46（日本評論社 2011）

92. ワックスエマルジョンと夕焼け（演示実験）

YouTube 「Blue sky and Red sunset」

メスシリンダーに水を入れ、フローリング用のワックスを溶かす（実験 93 より多めがよい）。下から白色の LED ライトで照らす。メスシリンダーの下部は日中の青空と同じく水色がかって見える。上部から除くと夕焼けと同じオレンジ色に見える。光の散乱の教材として優れている。

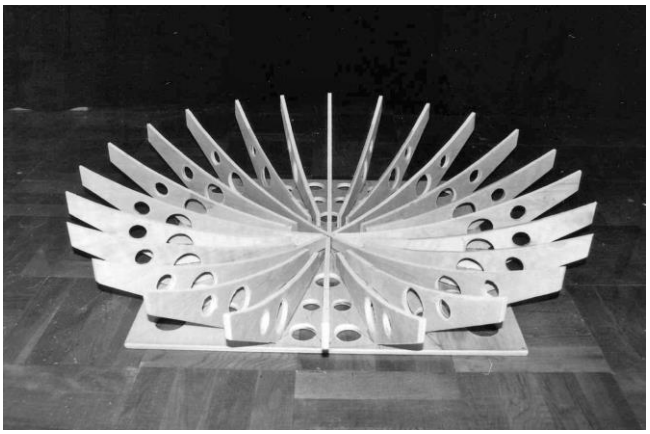
93. メスシリンダーで全反射（演示実験）

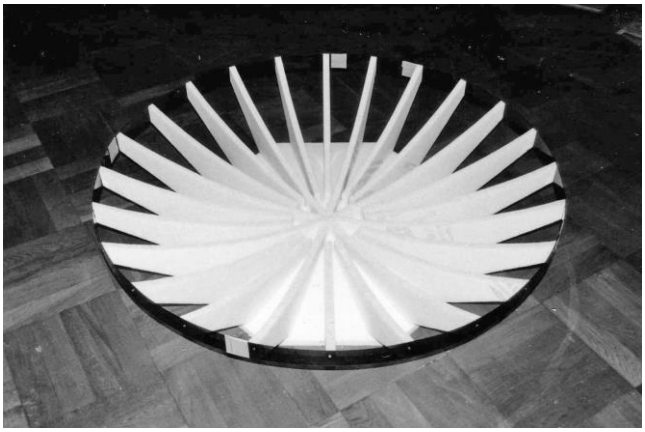


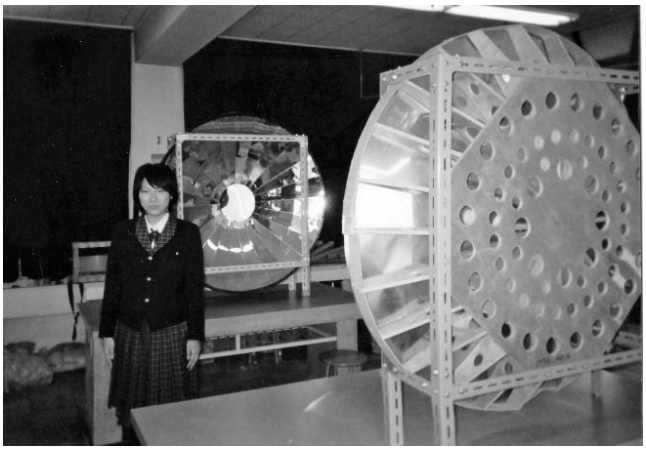
メスシリンダーに水を入れ、フローリング用のワックスをごく少量溶かす。上部から斜めにレーザー光線を照射すると、全反射を繰り返し、底まで達する様子が観察できる。

94. アルキメデスの光線銃（演示実験）

YouTube 「The reflector of Archimedes」
YouTube 「Archimedes' Parabolic Mirror」







チンダルは、王立研究所における講演で、光源からの不可視光線に秘められた熱効果を示すために、目には見えない焦点に葉巻を置いて点火したといわれている。この演示は、光源から発せられた赤外線を放物面を利用して焦点に集めたものと解釈できる。紀元前 230 年頃、ギリシャの数学者ドシオテスは、太陽の光を一点に集めるには、パラボロイド鏡（凹面形の鏡）がよいことを証明した。今では多くの家庭で、衛星放送受信用にパラボラアンテナを使用しているが、この形状が放物面である。アルキメデスは、ローマ軍の軍船のシチリア島への上陸を阻止するために、港を見下ろす崖に鏡を持った島民を集め、太陽光を反射させたといわれている。この島民の持つ鏡の面を連ねた曲線が放物面である。

放物面鏡を 2 台作成し、一方の焦点からの音波や光波を 1 台の放物面鏡で平行に跳ね返し、対面に設置したもう 1 台の放物面鏡で焦点に集める実験を行った。

骨組みは、1 台目は構造用合板で作成したが、重くなり持ち運びに不便なため、2 台目はスタイロフォームで作成した。焦点距離は 50cm に設計した（写真上から 1、2）。鏡面仕上げを施したステンレス板を工場に発注し、これをジグソーで切断し、ビスで留めた（写真上から 3）。棚を組み立てるスチール材で支える台を作り向かい合わせに設置した。

実験 1　焦点から焦点にひそひそ声で会話する。

実験 2　陸上競技用のスターターピストルを焦点でならし、もう一方の焦点のろうそくの火を消す（2 台の放物面の距離は 2m 以内）。

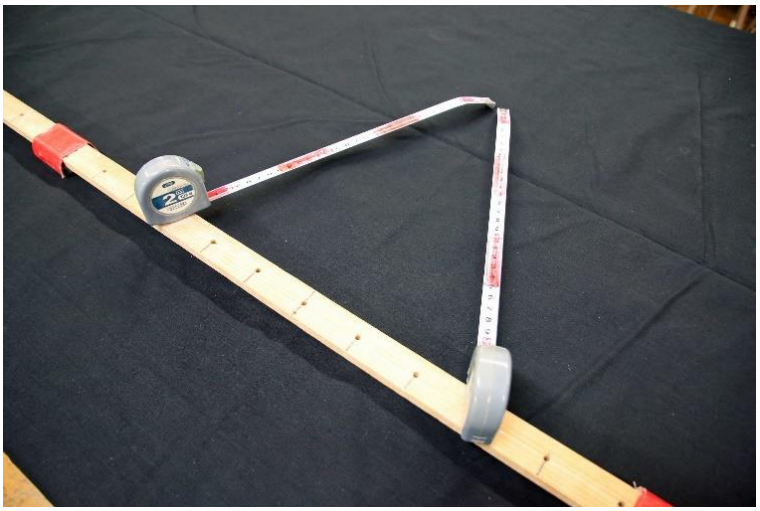
実験 3　一方の焦点の赤外線源（ニクロム線 1kW）で、もう一方の焦点の黒く色を塗った紙（フラッシュペーパーを使用）を燃やす。この紙で船の形を作り、ローマ軍の船という状況を想像させた。

なお、アルキメデスの逸話の再現として 720 名の生徒が鏡を持ち運動場中心の黒く塗装したベニヤ板を炎上させる試みをしたが、失敗に終わった。

参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」p.129（黎明書房 2001）

95. 干渉縞作成定規（演示実験）

YouTube 「Interference Fringes」



2m のメジャーにボルトをつける。木の棒に 5cm ごとに穴を空け、2 個のメジャーを自由に固定できるようにする。メジャーには 5cm 間隔で、赤白の色をつけておくと波長 10cm の波の、赤が山、白が谷という具合に見えやすい。木の棒は磁石で黒板に取り付けられるようにする。通常は二つのメジャーを 30cm はなして半径 10cm の円を黒板に描く。山の線が簡単にきれいに描ける。谷の線はフリーハンドでよい。山と山、谷と谷が交わる点に印をつけ腹線と節線を描く。干渉縞があっという間に黒板上に描ける。腹線上の点の L_1—L_2 が $m\lambda$ になることも、メジャーで簡単に示すことができる。2 つのメジャーの間隔を 25cm にすると、中央のラインが節線に変わる。メジャーを引き延ばしながら説明すると定常波の様子も示すことができる。2 つのメジャー間は定常波になり、メジャーの外側のラインは腹線か節線になる。

参考文献　愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.80（新生出版 1988）

96. 全反射内視鏡（体験）

YouTube 「Optical Fibers」

φ0.5mm、長さ 30cm の光ファイバーケーブルを 331 本結束した構造で、光ファイバーどうしが交差しないように作られている。結束線の一端を本の活字やイラスト、写真に密着させ、反対側から見ると、テレビの画面を見るかのように、活字や絵が浮かぶ。中央部を曲げてもきれいに写る。各ファイバーに入った情報が、全反射を繰り返し、反対側までその情報が送られることで、観察が可能である。

97．凸レンズと凹レンズの焦点距離（生徒実験）

【目　的】

レンズを通してできる像の位置よりの焦点距離を求める。

【器　具】

凸レンズ，凹レンズ、LED光源、スクリーン，光学台、物差し(30cm)、電卓

【公　式】

ガウスの結像公式　$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ ⇒ $f=$　　倍率の式

【方法１】

1．凸レンズの中央を50ｃｍの位置に固定する。

2．物体（ＬＥＤ光源）のレンズからの距離 a が20、25、30、35cmのときのレンズから像までの距離 b と像の大きさを測定する。

3．ガウスの結像公式を利用し平均することにより、凸レンズの焦点距離を求める。

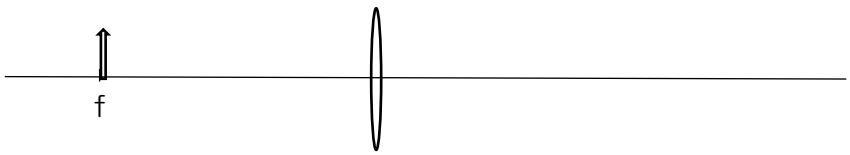
【結果１】

回	a[cm]	b[cm]	像の大きさ [cm]	倍率	f[cm]
1	20				
2	25				
3	30				
4	35				
				平均のf	

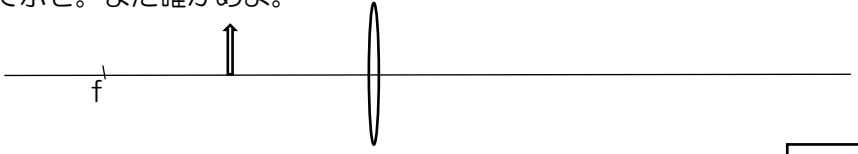
【考察1】

1．　凸レンズの焦点距離はいくらか。

2．　物体（ＬＥＤ光源）を凸レンズから焦点距離だけ離したときに像はどのようになるか。その理由を作図によって示せ。また確かめよ。



3．　物体（ＬＥＤ光源）を凸レンズの焦点距離の手前に置いたとき、その像はどうなるか。作図によって示せ。また確かめよ。



4．　凸レンズの上半分を隠すと、像はどうなるか

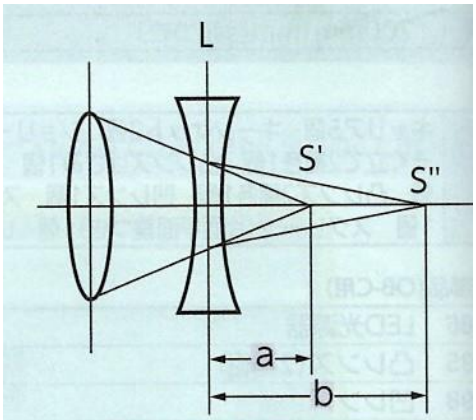
5．　実像は物体と比べたとき、上下左右はどのようになるか。

【方法２】

１．　凸レンズを50cmの位置に固定し、凸レンズから30cmの位置に物体（ＬＥＤ光源）をおく、

２．　これによってできた像S’の位置を記録する。

３．　凹レンズを２のS’から左に a＝10cmの距離におき、この2枚のレンズによってできた像S”と凹レンズの距離 b を測定する。



凹レンズの焦点距離の測定

【結果2】

凸レンズによる像の位置の結果

レンズ物体間A	レンズ像間B	焦点距離Ｆ

凹レンズによる像の位置の結果

レンズ物体間ａ	レンズ像間ｂ	焦点距離ｆ

【考察２】

１．凹レンズの焦点距離を計算せよ。

【問　題】

１．　凸レンズを通った光が実際に集まってできる像を何というか。

２．　凸レンズを通して見える見かけの像を何というか。

３．　物体が焦点距離の2倍の位置より遠い場合、できる像の大きさは物体と比べてどうか。

４．　物体が焦点距離2倍の位置の場合、できる像の大きさは物体と比べてどうか。

５．　物体が焦点距離の2倍の位置より近い場合、できる像の大きさは物体と比べてどうか。

【方法３】凹レンズと新しい凸レンズ２を入れ替え、５０cmの位置に固定する。【方法１】と同様に凸レンズ２の焦点距離を求める。

【結果3】

回	a (cm)	b (cm)	f (cm)
1	15		
2	20		
3	25		

$f =$

【考察3】最初の凸レンズを50cmの位置に固定する。物体(ＬＥＤ)をこの凸レンズの前方5cm(焦点の内側)に固定する。2枚目の凸レンズを最初の凸レンズの後方10cmにおいたとき、像の位置を計算せよ。計算できたら、実験で確かめよ。

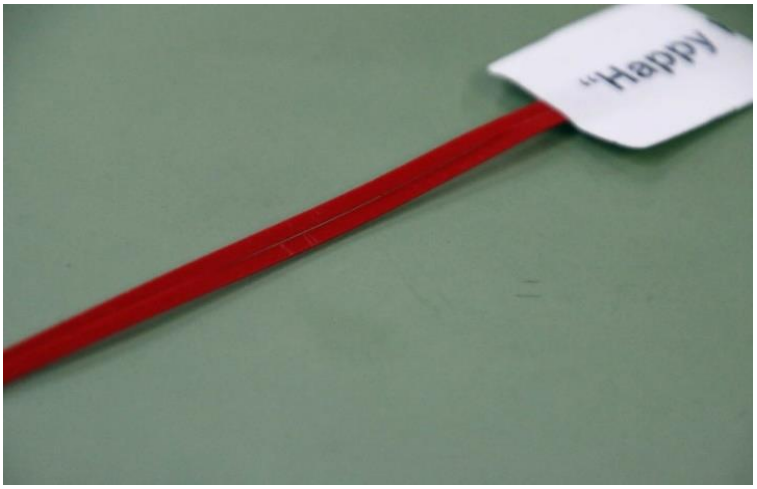
【感　想】

2年（　　）組（　　）番　氏名（　　）

光学台の光源がLEDになって、像がとても見やすくなった。教室を暗くしなくても、そこそこピントを合わせることができるようになった。焦点距離はメーカーの表示と若干異なる結果になることが多いが、組み合わせレンズの学習や、虚像を確認することもでき、生徒の反応はよい。

98. トーキングテープ（体験）

YouTube 「Talking Tape」



プラスチックの細いテープの表面に、ギザギザが刻まれていて、それを親指の爪でこすると、音声が再生される装置である。かつては、日本語版も販売されていたが、今は英語版しか手に入らない。テープの先をバケツなどの振動板につけると音が大きく聞こえる。「Happy birthday」や「Happy New Year!」等の声が聞こえ、音が振動であることが理解できる。音が波であることを示す優れた教材である。波形が音色を示すこともわかる。また、早くこすると高い音になることも示すことができる。

99. オシロスコープで声の波形を見る（体験）

オシロスコープは、多くの学校で眠っている。iPhoneのアプリでも波形は見せることができるが、色々な実験をすることを視野に入れると、オシロスコープは使いこなせるようになりたいものだ。

準備　マイク、シンクロスコープ、（アンプ）

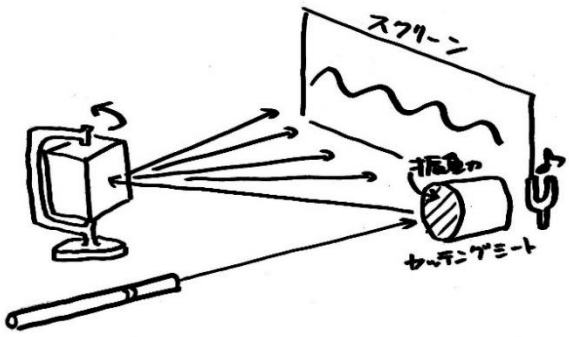
方法
① AC、GND、DC つまみは DC にする。
② VOLTS/DIV は 20mV、TIME/DIV を 0.2ms にする。
② プローブに×１と×10 の切り替えがあれば×1 にする。
③ ストレージ機能があれば、PAUSE ボタンを押すと声紋の違いを比較できる。
④ マイクによっては、出力が小さい場合があります。その場合ははアンプを挟む。

100. 回転鏡で音の波形（演示実験）

YouTube 「Observation of sound waveform using a rotating mirror」

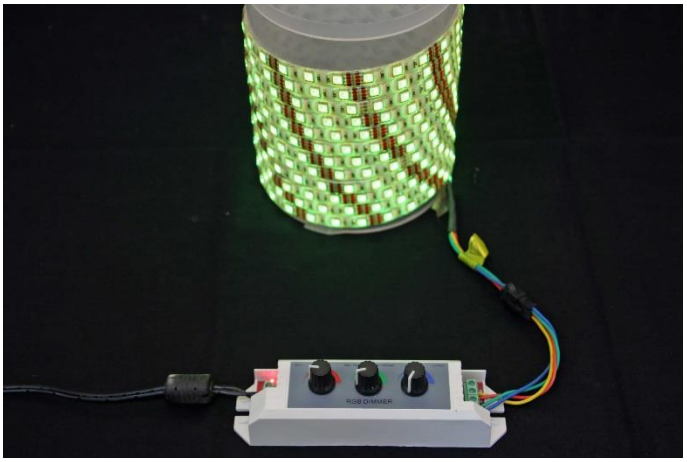
写真のような回転鏡が眠っている学校はないだろうか？　これは、スクリーンいっぱいに音の波形を映し出す装置である。巨大オシロスコープといってもいいだろう。もしなければ、レコードのターンテーブルの上に直方体の木に４枚の鏡を貼り付けて、回転させても代用できる。

レーザー光源と、筒に反射板（カッティングシートがよい）を貼ったものを用意し、図のように配置する。カッティングシートの後ろから音を出し（人の声でもよい）、反射板を振動させる。この反射光を回転鏡に当て、くるくる回転させると、スクリーンに巨大な波形が映し出される。音叉や低周波発信器の音であればきれいな正弦波が映し出され、人の声であれば、人それぞれの特徴ある波形が映し出される。レーザー光を当てる位置はカッティングシートの中央ライン上で、中心から少し上か下にずれた位置が適している。視聴覚室のような広くて暗い部屋が最適である。レーザー光が目に入らないように注意が必要である。



101. 本当の黄色（体験）

YouTube 「2 types of yellow light」



赤の波長は 700nm 前後、緑の波長は 550nm 前後、この二つの波を同時に光らせると、人間の目には黄色に見える。黄色は波長が 580nm 前後であるが、赤と緑の波長を合成すると緑の波長になるのであろうか？人間の目の網膜内にある錐体細胞が吸収する可視光線の割合が色の感覚を生むと考えられている。３種類の錐体細胞とは、L 錐体、M 錐体、S 錐体と呼ばれ、波長の長い可視光を吸収するものが L 錐体である。結論から言うと、赤と緑の光は合成された光波になるのではなく、それぞれ独立して錐体細胞に吸収される。スリットを通した RGB テープの光を回折格子を使って観察すると。赤と緑の干渉縞が観察できる。一方、スリットを通したナトリウムランプの光を回折格子を使って観察すると、黄色の干渉縞しか見ることができない。

写真は、RGB LED テープを DVD ケースに巻き付けたものに、LED 調光器（型番 LED-DIMMER/RGB）をつないだもの。赤、緑、青の光の強さを単独に調整することができる。

102. ホロスペックめがね（体験）

YouTube　「理数物理第 14 話」―25 分 20 秒当たりからー

不思議めがね、ロマンチックめがね、ラブラブめがねなど様々な名称で販売されるめがねで、点光源を見るとその周りに、ハートや、キティーちゃん、スマイル、文字、動物の絵などが現れる。回折格子で起こる干渉の原理を利用したおもちゃである。

103. 凹面鏡（体験）

YouTube　「Concave Mirror」
YouTube　「凹面鏡の作り方」

No.4 Making a Simple Concave Mirror
by Takuo Takarada : J.Phys.Ed.Soc.Jpn.47-4(1999) p190
A 62cm basin is covered with an airtight aluminized cooking sheet of high reflectivity. When the pressure inside is reduced by a hand-made vacuum pump, the sheet becomes a concave mirror.

Fig of No.4: A concave mirror reflecting a vacuum pump

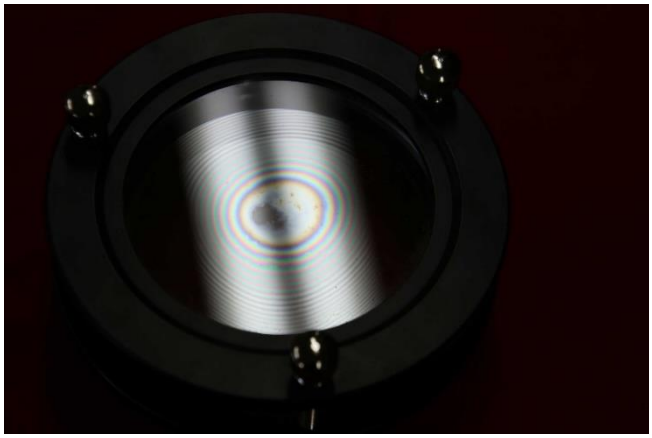
たらいにカッティングシート（シルバー鏡面仕上げ、接着タイプ）を貼り付け、バルブをつけて中の空気を抜いていくと、凹面鏡ができる。大型反射望遠鏡を作るために真空ポンプの性能が向上したという話を聞いて思いついた、直径 68cm のたらいを使用したが、料理用のボウルでもできる。写真の少年は焦点の内側にいるので正立の虚像となるが少年の後ろに倒立実像の車が写っている。

参考文献　宝多卓男「Making a Simple Concave Mirror」（ICWC NEWSLETTER2000）

光を集光し、底にある黒く壁面を塗った箱に集め、箱の中の料理を調理するために作られたキャンプ用の安価な組み立て式の太陽熱オーブンがある。高橋紙器の SUN SHEF である。ゆで卵は水が不要で、ご飯も炊けると書かれているが、今は手に入らないかもしれない。

104. ニュートンリング（体験）

YouTube 「Newton ring」



ニュートンリング、くさび型空気層の干渉縞は、教室の蛍光灯が反射する方向に向けて観察するとよく見える。蛍光灯の光は白いので、虹色の明暗が見える。

105. 共振、共鳴、うなり（体験）

YouTube 「Resonance」

YouTube 「Beat」

近年のおんさのおもりはプラスチック製になり、振動数を微妙に変化させることができるようになった。おもりを下の方につけると音程に影響なく、中程につけると、振動数は少し小さくなり、うなりの振動数は小さい。おもりを上部につけると、振動数がかなり小さくなり、うなりの振動数は大きくなる。

106. 紫外線測定（生徒実験）

紫外線測定器は安価で手に入るので、様々な条件下で生徒に測定させるとよい。本校では、海外のサイエンスツアー（オーストラリア）参加者などに持たせ、自分が住んでいる地域との違いや、時間、季節による違いを測定させている。

107．光の波長測定（生徒実験）　youtube「diffraction grating」

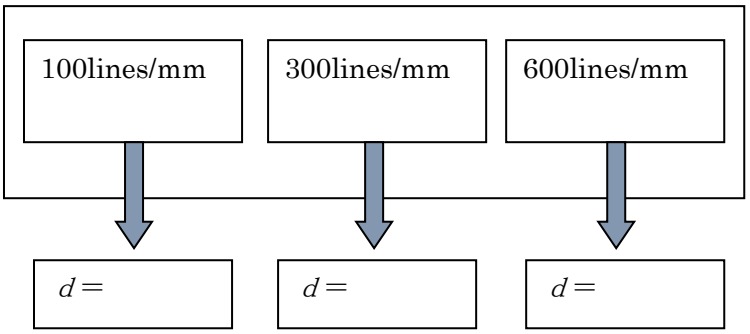
回折格子を用いて光の波長を測定する

目的：①　光が波の性質を持つことを理解する
②　回折格子を用いて単色光の波長を測定する

準備：回折格子（100lines/mm、300lines/mm、600lines/mm）
レーザー光源（赤R、緑G、青B）
ものさし付きスクリーン

方法：①　回折格子からスクリーンまで 2.4m 離して設置する
②　100lines/mm の回折格子の手前からレーザー光線を当て、スクリーンに明点を映す
③　0 次の明点と、1 次の明点間の距離を測定する
④　$x = l\lambda / d$に代入しλを求める

準備：格子定数 dを求める



今日の実験では
100lines/mm を使用

実験：

結果：

	X測定結果１	x 測定結果２	x の平均	λ（波長）の計算結果
赤				
緑				
青				

参考：

380nm　430nm　480nm　530nm　580nm　630nm　680nm　730nm　780nm

考察：回折格子に白色光を通すとどのような干渉模様がスクリーンに映るか、絵を描け

感想：

（　）組（　）番（　　）

measurement of wave length with diffraction grating

Purpose：① understanding that light has the character of wave

② measurement of wave length with diffraction grating

Preparation：Diffraction grating（100lines/mm、300lines/mm、600lines/mm）

Laser light source（Red, Green, Blue）

Screen

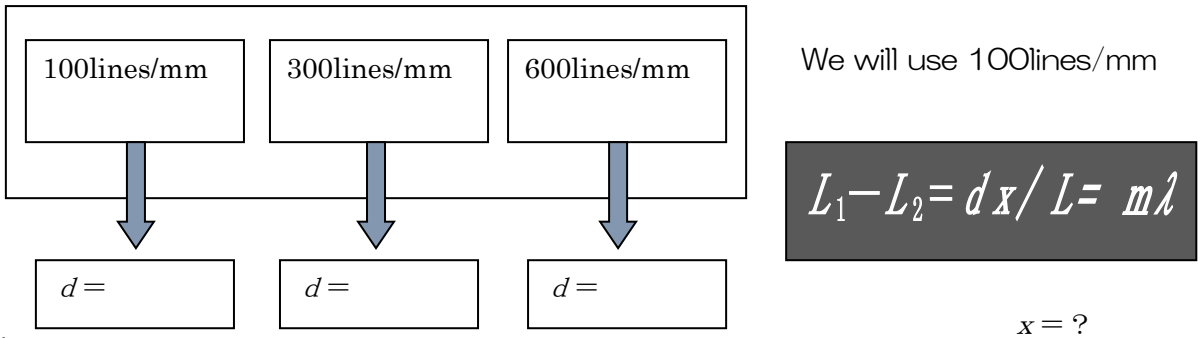
Method： ① Keep away 2.40m diffraction grating from screen

② Reflect on the screen by applying a laser beam from the front of the grating

③ Measure the distance of the lightest point and the next point

④ Calculate the λ using this formula $x = L\lambda / d$

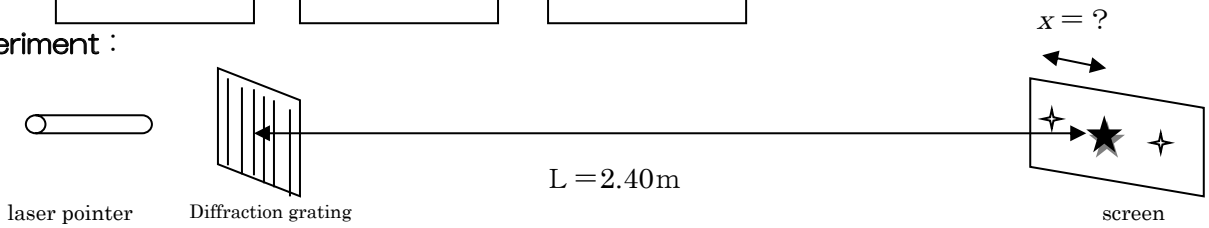
Calculate grating constant



We will use 100lines/mm

$$L_1 - L_2 = dx / L = m\lambda$$

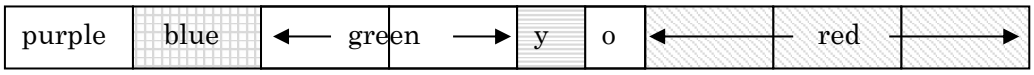
Experiment：



Result：

	x1	x 2	Average of x	Calculation result of λ
Red				
Green				
Blue				

Reference：



380nm 430nm 480nm 530nm 580nm 630nm 680nm 730nm 780nm

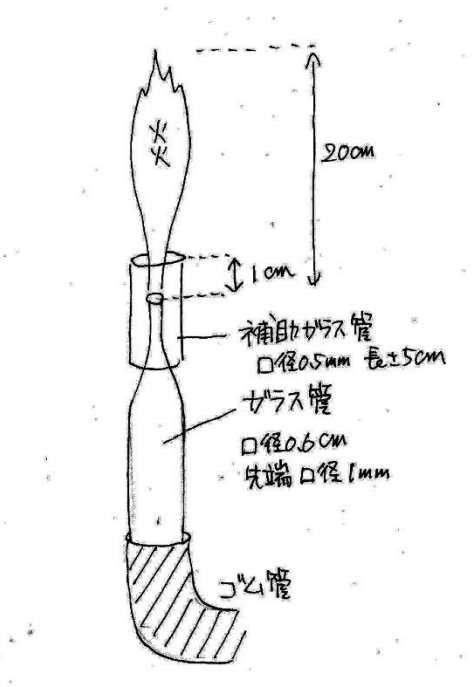
Consideration: Draw the interference pattern on the screen, when you apply beam of white light.

Final remarks about experiment:

class（ ） no.（ ） name（ ）

108. 感音炎（演示実験）

YouTube 「Dancing Flame with Sound」



映画「マイフェアレディー」では、少女がマイクの代わりに観音炎を用いて発声練習を行う場面がある。音に合わせて炎が伸び縮みする現象を感音炎と呼ぶ。都市ガスが使われていた時代、この実験は簡単に行えたが、天然ガスに変わってから困難になった。天然ガスが大量の酸素を必要とすることが原因のようだ。図は、補助ガラス管を使ってそれを克服する方法である。まず補助ガラス管無しで炎が最大の大きさになるようにする。炎が不安定になり音を伴う直前である。補助ガラス管を図の位置にかぶせ、炎が２０cm 程度になるようにする。炎の付け根付近でスピーカーから音楽を鳴らすと炎は伸び縮みする。感音炎が生じる理由は、音圧によってガスの流れが乱されるためである。カスタネットのような高く歯切れのよい音によく反応する。

参考文献　この実験は大阪の鬼塚史朗先生にご指導頂いた。

109. 直列接続（演示実験）

YouTube 「Series Connection」

9V 乾電池を開けてみると、写真のような電池が現れる。アルカリタイプは、単４電池よりさらに細い筒状の電池が６本直列つなぎになって入っている。マンガンタイプは写真右側のように積層型の６個の電池が直列つなぎになって入っている。9V の電位差を作る電極を利用しているのではない。

110(1)．未知抵抗の測定（生徒実験）

YouTube 「Measurement of unknown resistance

Measurement of an unknown resistance using a meter bridge

Purpose: Understanding the Wheatstone bridge circuit

Equipment: Meter bridge, Galvanometer, Standard resistor, Unknown resistor, DC power supply, Sliding resistor, DC ammeter

Method:

1. Assemble the electric circuit with reference to figure1.
2. Connect insulated wire to the terminal 50mA of DC ammeter.
3. Choose the standard resistance close to the value of the unknown resistance.
4. Adjust the knob of the sliding resistor, so that the electric current does not exceed 10mA when you turn on the switch.
5. Look for the position where an electric current does not flow into the galvanometer by changing the position of terminal P.

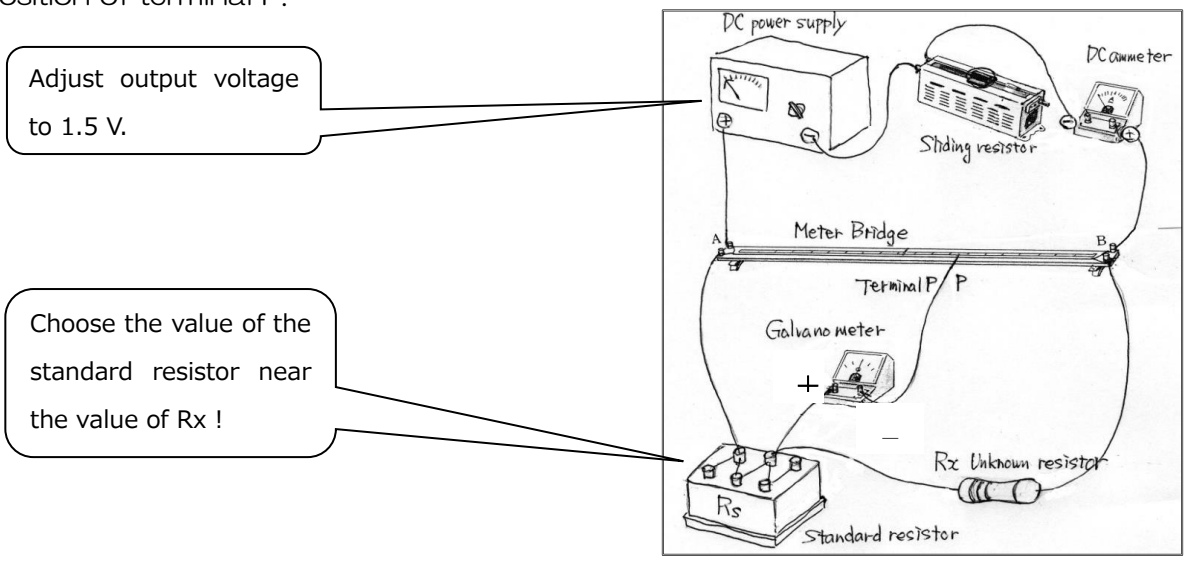


Figure1 How to assemble the electric circuit

Results:

Name	Value of Rs	AP(mm)	BP(mm)	Value of Rx

Review:

Write down an expression that is established between R1 and R2 and Rs and Rx, if an electric current does not flow into the galvanometer ?

Figure2 the electric circuit

Impressions:

Name( )Class( )Number( )

110(2)　Measurement of an unknown resistance using a meter bridge

Purpose: Understanding the Wheatstone bridge circuit

Equipment: Meter bridge, Galvanometer, Standard resistor, Unknown resistor, DC power supply, Sliding resistor, DC ammeter

Method :

1. Assemble the electric circuit with reference to figure 1.
2. Connect insulated wire to the terminal 50mA of DC ammeter.
3. Choose the standard resistance close to the value of the unknown resistance.
4. Adjust the knob of the sliding resistor, so that the electric current does not exceed 10mA when you turn on the switch.
5. Look for the position where an electric current does not flow into the galvanometer by changing the position of terminal P.

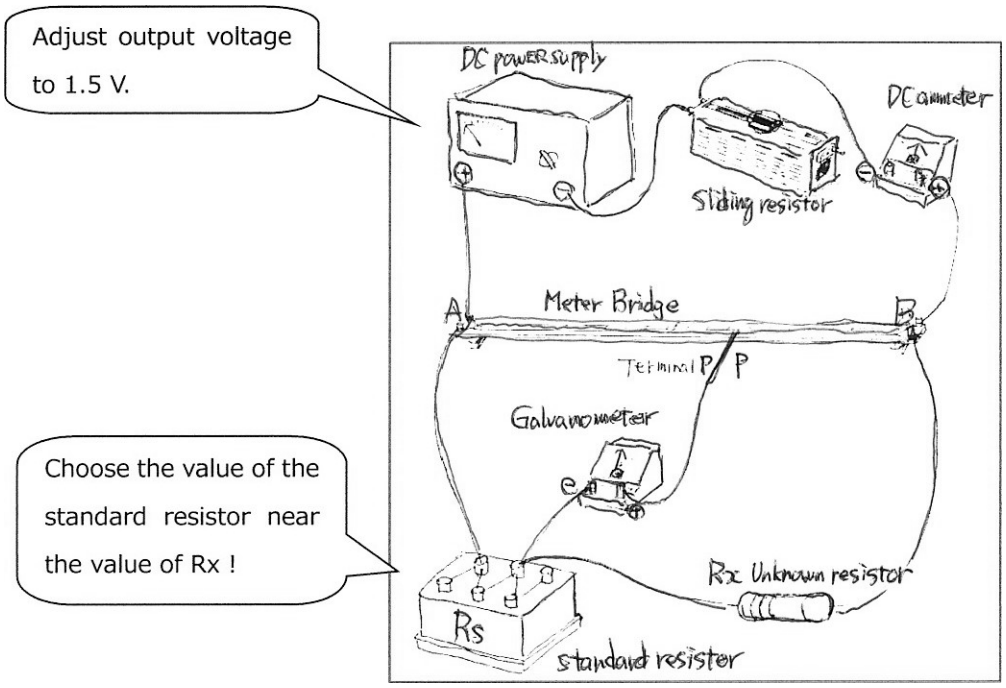


Figure 1　How to assemble the electric circuit

Results:

		Value of Rs	AP(mm)	BP(mm)	Value of Rx (total)
A					
B		1Ω			
C					
D	ミャーペンの芯	10Ω			

同じ抵抗3個
正三角形6個
各辺に同じ抵抗9個

※ ABCの抵抗は異なる値のものを使用

Review:

Write down an expression that is established between R1 and R2 and Rs and Rx, if an electric current does not flow into the galvanometer ?

Consideration:

1. Draw the electric circuit.

2. Why did you use standard resister near value of Rx ?

3. Write a formula that shows the resistance value is proportional to the length.

4. Why did you use a small power supply voltage ?

5. Why does the galvanometer have a safety bar ?

6. What is the value of one of B's assembled resistance ?

7. What is the value of one of C's assembled resistance ?

Impressions:

Name(　　)Class(　　)Number(　　)

111．電池の内部抵抗と起電力の測定（生徒実験）

YouTube 「Electromotive force and internal resistance of a battery」

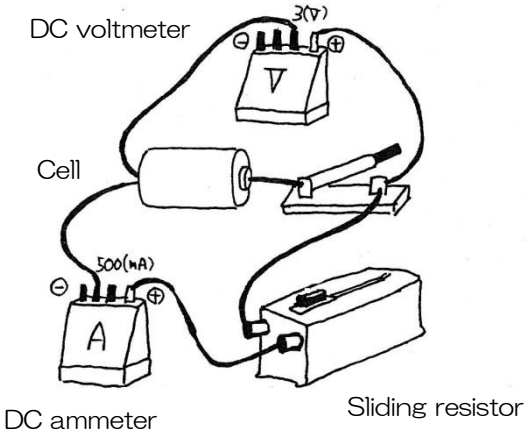
Measurement of Small internal resistance and Emf*

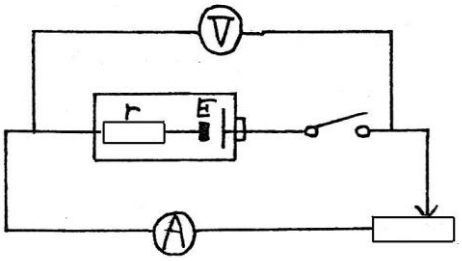
Purpose: Understanding emf and internal resistance

Equipment: Battery, DC ammeter, DC voltmeter, Insulated connecting wire, Switch, Sliding resistor

Procedure:

1. Assemble the electric circuit with reference to the figure1.
2. Connect to the terminal 500mA of DC ammeter.
3. Connect to the terminal 3V of DC voltmeter.
4. Adjust the knob of the sliding resistor, so that the value of the electric resistance becomes the largest.
5. Move the knob of the sliding resistor, reduce the resistance gradually. Turn on the switch and measure the potential difference and electric current.





Figre1

Principle: Relation expression between the terminal voltage(V) and the emf(E) and the internal resistance

Safety: Never close a circuit until it has been approved by your teacher. Never rewire or adjust any element of a closed circuit. Never work with electricity near water.

Notes: Do not turn on the switch for a long time. Because the temperature of the resistor increase and resistance become larger.

Results:

Consideration:

Impressions:

* : **e**lectro**m**otive **f**orce

Name(　　)Class(　　)Number(　　)

112. 等電位線の実験（生徒実験）

YouTube 「Drawing the equipotential lines」

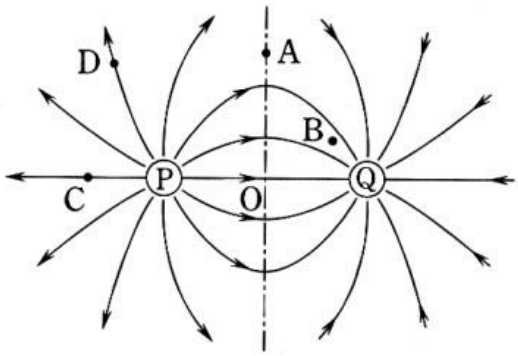
Understanding electric fields

Purpose: Drawing the equipotential lines

Review: Write down the following formulas

1) The electric force between two point charges → F=
2) The electric field strength around a point charge → E=
3) The electric potential around a point charge → V=

Question: There are electric fields around point P and point Q. Point P has a positive charge (+q(c)) and point Q has a negative charge (-q(c)). The distance between P and Q is r (m).



1) Which has a larger potential, point A or B ? →(　　)
2) Which has a larger field strength, point A or B ? →(　　)
3) Draw the equipotential line through point C, and draw the equipotential line thorough point D.

Experimental methodology:

1) Fix the conductive paper to the plastic plate
2) Attach the electrodes to both ends of the conductive paper
3) Connect to a DC power supply, and set to 15V output voltage
4) Measure the voltage with a tester, and mark with a white pen the equal potential points

Impressions:

Name (　　) Class(　) Number(　)

113. コンデンサーの充電と放電（生徒実験）

YouTube 「Charge & discharge of acapacitor」

本実験の目的は次の３つである。

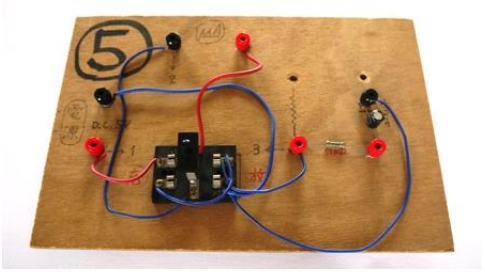
１）コンデンサーの充電や放電の過程を理解させる。演習問題では、スイッチをオンにした直後の電流、十分時間が経過した後の電流が問われる。実験を体験することでその意味がより深く理解できると思われる。

２）$I-t$ グラフの意味を考えさせる。電流は一定ではなく、時間経過とともに少なくなる様子を体験することは大切である。また、グラフが囲む面積の意味は、実験を通して理解させることが望まれる。

３）静電容量を求めさせる。かなり正確な値が得られるので、生徒の満足度は高い。

本校では、ベニヤ板に回路は組んである(図 1)。生徒は、直流電源装置と、電流計をリード線で接続するだけである。電源電圧に電気量は左右されるため、正確に 4.00ｖに合わせたい。ストップウォッチ担当、電流計担当、記録担当、スイッチ担当を分担する。説明時に、ナイフスイッチが放電側に倒れていることを確認する。前のクラスの実験で、コンデンサーに電気がたまった状態になっていることがある。実験は、充電と放電の２回行い、電流の時間経過を表に書き込ませる。要領のいい班は、充電電流の値も、放電電流の値もほぼ同じになる。放電電流の測定値をグラフ化させる。０秒後(スイッチオン直後)の電流は計算させる。コンデンサーは空で導線と考えてよいから、この回路では $I=\frac{4.00}{51000}=78.4$ (μA)となる。グラフで囲まれた面積はグラフのマス目の数を数えさせる。横軸の１目盛りは２(s)、縦軸は２×10^{-6}（A）であるから１マスの面積は４×10^{-6}(As)となる。面積はコンデンサーに蓄えられた電気量である。これを極板間の電位差(4.00ｖ)で割って静電容量を求めさせる。

なお、充電後のコンデンサーを放電する際、電圧計でコンデンサーの極板間の電位差が 1/e となる時間を求めて、静電容量を求めることもできる。



参考文献　村田憲治「高校物理雑記帳」p.156 (2011 工学社)

Charge and discharge of a capacitor

Purpose: Understanding capacitance by graphing the relationship between the discharge time and the discharge current from a capacitor

Equipment: Resistor(51kΩ), Capacitor(220μF), Knife switch, DC power supply, DC ammeter, Insulated connecting wire

Experimental methodology:

(1) Keep the switch set to neutral, and assemble the electric circuit as shown in Figure 1

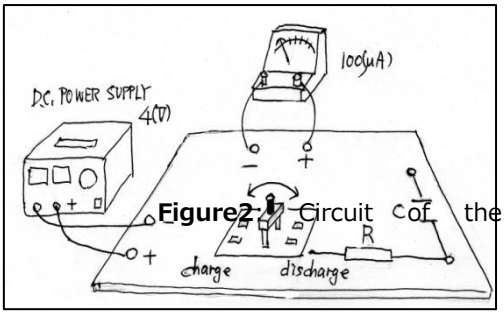


Figure1: How to assemble the circuit

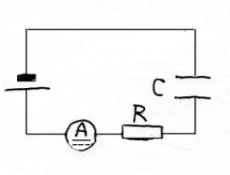


Figure2: Circuit of the

Figure2: Circuit of charge

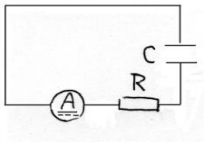


Figure3: Circuit of discharge

(2) Turn on the switch on the charge side, and measure the value of the current at each time interval

(3) Turn on the switch on the discharge side, and measure the value of the current at each time interval

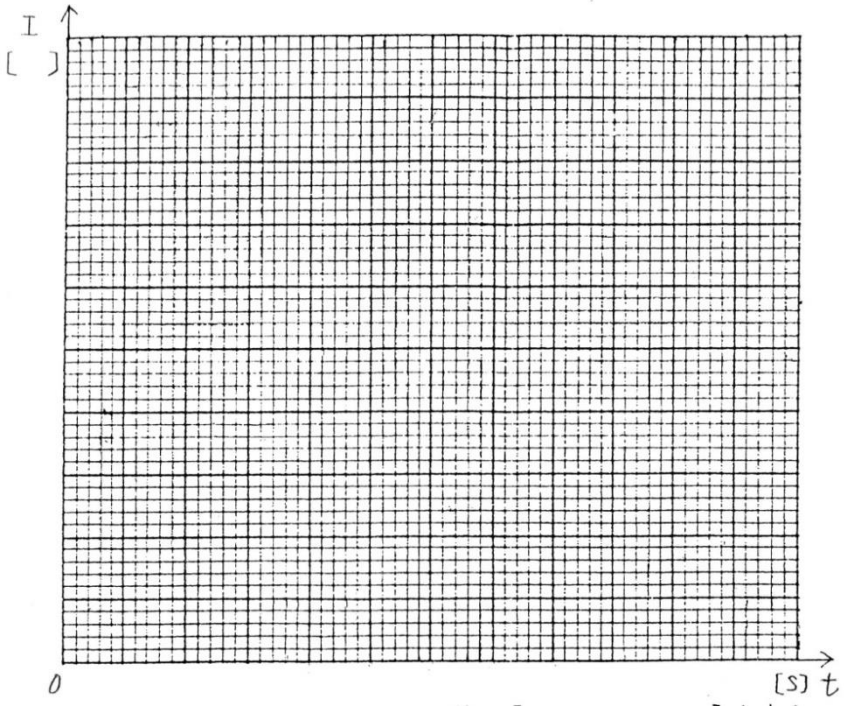
Results:

Time (s)	0	5	10	15	20	25
charge	*					
discharge	*					

30	40	50	60	70	80	90

*: Calculate the value of the discharge current at 0 seconds

Draw the relationship of the time and discharge current on graph paper



Consideration

What is the area with the curve of the graph and Y-axis and X-axis?

How much is the capacity?

Impressions:

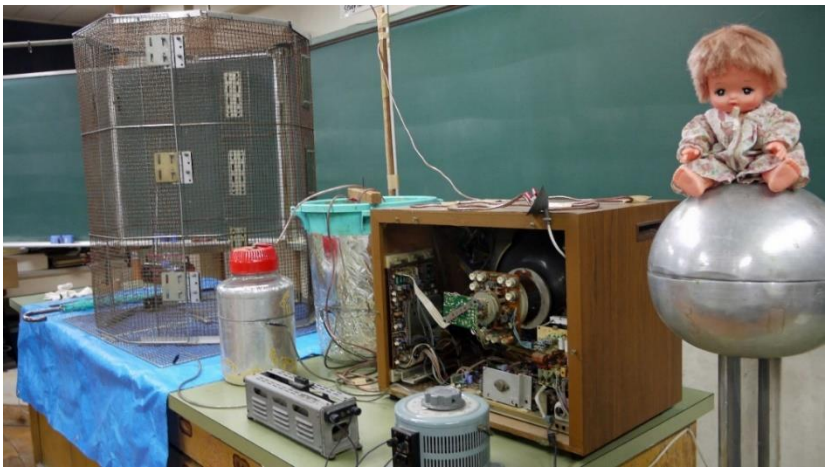
Class( ) Number( ) Name( )

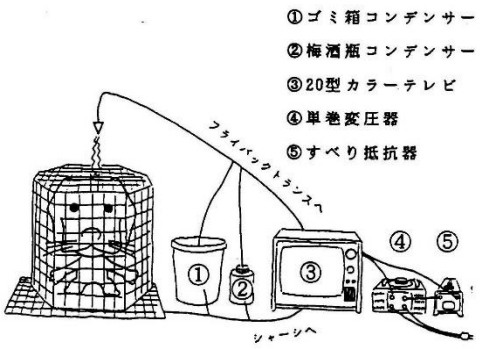
114. ファラデーのかご（演示実験）

YouTube 「Faraday cage」

YouTube 「Faraday cage 2」

YouTube 「YOUNGSTER’S SCIENCE FESTIVAL 1995」





かつて雷は、神の仕業であり、神の怒りであった。18 世紀の知識人の間でさえ、雷は硝石空気か硫黄を含む可燃性蒸気の爆発と考えられていた。高い建物は決まって雷に襲われ、人間も雷に打たれた。1752 年、フランクリンによって雷の正体は、神の怒りから電気に変わった。1733 年、デュフェイは、電気には 2 種類の違った性質を持つものがあることを見つけ、一方をガラス電気、他方を樹脂電気と名付け、電気の 2 流体説を唱えた。一方、フランクリンは、これら 2 種類の電気を「正」「負」の電気と考え、電気の過不足がその原因であると考えた。これを電気の 1 流体説という。ファラデーはこの 2 つの説の議論に決着を見ない中、正、負の電荷が単独で存在しうるかという研究に取り組んだ。ある物体が帯電するときには、必ずその近くの物体に、符号が反対の電荷が生じることを実験で説明しようとしたのである。

ファラデーは、王立研究所の講堂に、1 辺が 3.65m ある立方体を木材で組み立て、その各面を銅の線とスズのホイルで包んだ。さらに 14cm ある 4 本のガラス製の足をつけ床から絶縁した。装置は講義机から 3 列目の座席にかけて設置され、天井からつるされたシャンデリアに届くほどの巨大なものであった。このかごの内部に、ガラスで絶縁した導線を通し、起電機を用い高電圧を与えた後、かごをアースしたり、起電機を取り除いたりして試した結果、正、負の電荷を独立して検出することはできなかった。続いてファラデー自身がかごの中に入り、かご外部の角から激しい放電が起こるほどかごに電荷を与えても、かごが閉じているとき、電荷は常にかごの外部表面のみに検出された。

以上はファラデーが書いた日記を日本語に起こしたものであるが、この実験の様子が、雷から完全に身を守る方法としてよく知られいる。1836 年 1 月 15 日と 16 日に行われ、金曜講演会や、クリスマスレクチャーとして公開されていない実験である。

生徒が目を丸くする電磁気現象のトップは放電現象である。自然界の雷の小型版を教室に持ち込むこの実験は、電磁気の興味関心を高めるだけでなく、高校の電磁気分野の広い範囲の復習、さらに今後の生活でうまく電気を扱う方法の示唆にも富んでいる。

参考文献　宝多卓男「ダイナミック理科実験に挑む」（黎明書房 2001）
宝多卓男「ファラデーのかご」（科学技術体験活動マニュアルｖｏl.2）

Faraday cage

Preparation (Today's Key-word)

Lightning _____ Bifocals _____ Lightning conductor _____

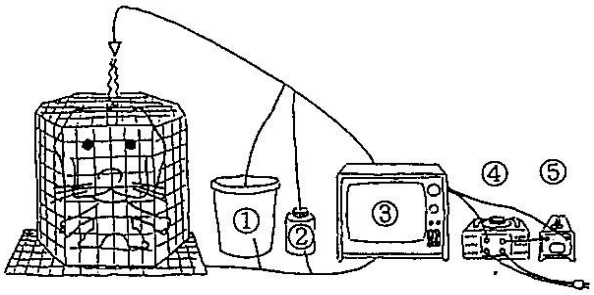
Good conductor (bad conductor) _____ Utility pole _____

National diet librery _____ Energy-saving age _____

Trash box _____ Transformer _____

Arc discharge _____ Condenser _____

Equipment



① trash box condenser
② plum wine bottle condenser
③ 20" color television set
④ single-wound transformer
⑤ slide resistor

Consideration

1. Translate "Japanese Lightning God" into Japanese. _____

2. What was B.Franklin doing when he descovered that lightning was electricity?

_____

3. Where does lightning hit usually?

_____

4. Which is a worse conductor, plastic or air ?

_____

5. Why can't you run away under a tree, when a lightning storm approaches ?

_____

Impressions:

_____

_____

Class( ) Number( ) Name( )

本実験を実施するに当たっての注意点

1．人体の皮膚抵抗は表面抵抗で 300Ω、皮膚貫通方向で１MΩ 程度です。プラス電極が人体に触れると、人体に 30000V の電圧がかかり、瞬間的に大電流が流れる恐れがある。人体に 100mA の電流が流れると死亡する危険も指摘されている。電極が外れたり、電極を固定するものが倒れたりすることのないよう注意が必要である。

2．子どもの指は細いので、ふざけて天井の金網を通して指を出すことも考えらる。指に放電しないように、安全にしておく必要がある。避雷針の長さは、指より十分長く、天井から 15cm 程度になるようにする。また、犬や人間がかごの中で動くとかごのゆがみに合わせて避雷針の先端位置がずれることがある。放電を確実に避雷針に導けるように、避雷針の先端を三つ叉にしてある。

3．犬や人間が放電に驚いて、かごの中で飛び上がったりして、かごの天井や底が離れると感電する。かごは天井や底が外れない構造にする。犬を入れる場合は、かごの下に、犬の臭いが着いたシートを敷くと犬が安心する。

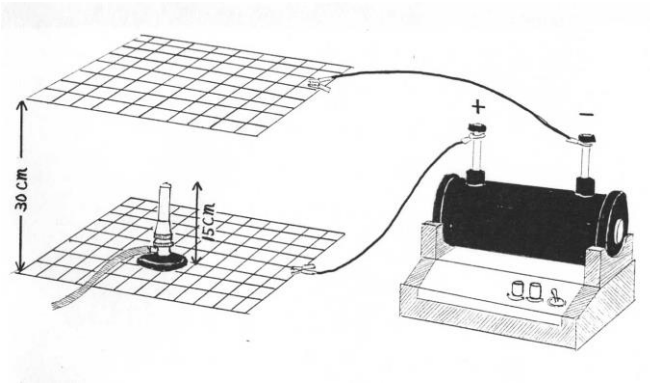
4．市販の雷電ビン同様この実験で使用するコンデンサーの扱いには注意が必要である。測定では２個のコンデンサーはともに 100pF 以下の電気容量であるが、電圧が高く、放電後も電気量が残っている。放電鎖で繰り返し放電を行うよう注意する。

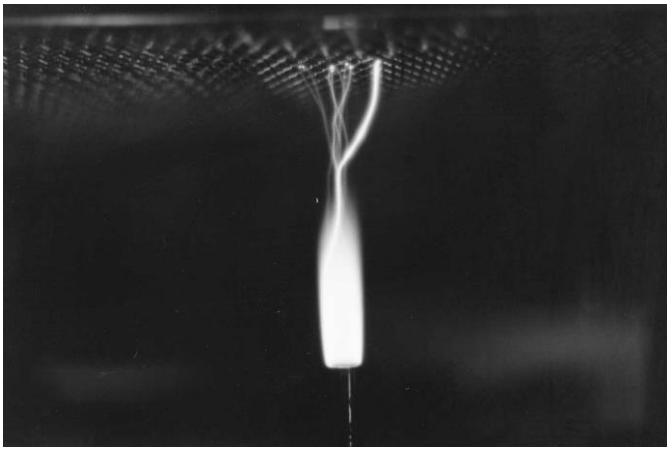
5．この実験では、ブラウン管テレビのフライバックトランスのプラス側を上から吊し、かごをシャーシにアースした。これは、自然界におけるプラス雷に相当する。安全のため、マイナス雷（フライバックトランスのプラス側をかごに接続する）にならないようにする。コンデンサーの接続に関しても、内側のアルミホイルをプラス側に接続するようにする。

6．アースはテレビのシャーシ（金属板部分）にとる。シャーシをさらにアースすると、トランスレスタイプのテレビの場合、コンセントプラグの向きによって、かごに 100V の電圧がかかることがある。

7．電源に使用するテレビは、通常の使用ではブラウン管がコンデンサーの役目をする。アーク放電を観察するとき、回路にコンデンサーが含まれないため高圧整流ダイオードに高圧が加わり破損することがある。長時間のアーク放電は避けるようにする。また、テレビセットへの最大入力（130V）時に、出力電流が 20mA を超えないように、すべり抵抗器を利用するなど注意する。

115. 打ち上げ花火に雷が落ちる可能性（演示実験）





富山県の花火大会で、花火の打ち上げに合わせて稲妻が走ったという話を聞いた。問い合わせると 1997 年８月４日の高岡市の花火大会が雷雨のため途中で中止されたことが判明した。バーナーの炎によって落雷が誘発できるかを検証してみた。２枚の金網を 30cm 離して平行におき、誘導コイルをつないだ。高さ 15cm のガスバーナーを下の金網と接続し電源を入れたが、肉眼では放電は確認できなかった。ガスに火をつけると、ガスバーナー側がプラス極の時、激しく放電が確認された。夏の雷は、雲の下部がマイナスとなるマイナス雷が多いので、信憑性が高い。炎に含まれるプラスの電荷が電子の通り道を作ったと考えられる。

参考文献　宝多卓男「打ち上げ花火に落ちる雷」（日本物理教育学会　物理教育　第 47 巻第２号 1999）

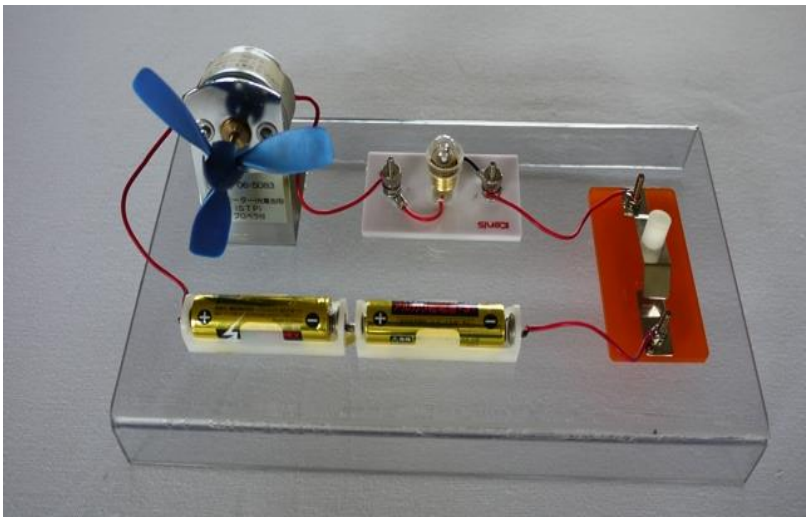
116. ヤコブのはしご（演示実験）

YouTube　「Jacob’s Ladder」

ブラウン管テレビのフライバックトランスから取り出した高圧電源を用いると、ヤコブの梯子の実験が容易にできる。平行に立てた電極を上部に行くほど距離を隔てるようにおき、電位差を与える。両極間の近いところ（下部）でアーク放電が生じるが、温度上昇による上昇気流とともに、放電しやすい部分が上昇し、電極間の広い部分に放電が移動する。やがて、放電距離が伸びすぎて、放電がやむと、またもとの両極が近い部分から放電が始まる。

117. モーターの逆起電力（体験）

YouTube 「Strange personality of motor」



モーターを回転させると、内部のコイルと磁石の位置関係が変化する。コイルを貫く磁場が変化すると、コイルはその変化を妨げる向きに誘導起電力を生む。これは普通逆起電力と呼ばれている。

写真の装置は、簡単に自作でき、逆起電力を理解させるのにうってつけの実験装置である。豆電球は 1.5V 用。モーターは太陽電池用がよい。豆電球とモーターは直列接続されている。豆電球は 1.5V の電池で点灯し、モーターは 1.5V の電池で回転する。

問１　スイッチを押すと、どうなるか？

モーターは回り、豆電球はつくと考えるのだが、答えは、モーターが回るだけ。

問２　モーターのプロペラを押さえてスイッチを押すと、どうなるか？

豆電球はつくのである。この場合、モーターは回転しないため逆起電力が生じない導線となっている。

118. コイルの中を走る電池（体験）

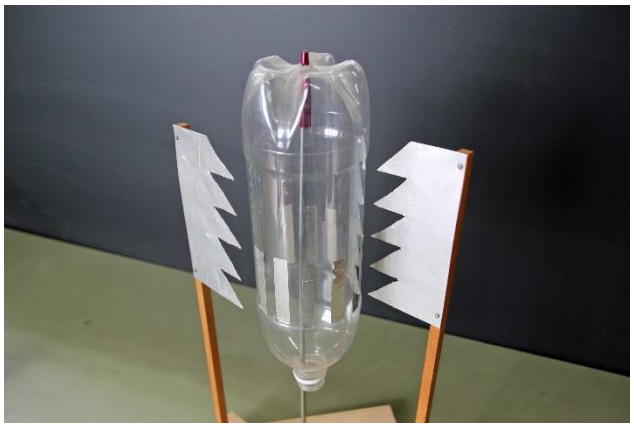
YouTube 「Electromagnetic train in a wire coil」

一時ブームになった実験であるが、説明は意外と難しい。コイルは被覆されていない銅線を巻いて作り、単３電池の両側にネオジム磁石を両外側がＮ極になるか、両外側がＳ極になる様につける。両外側がＮ極の場合はコイルのＳ極側に引かれ、Ｎ極側から反発力を受けて進む。地球の北極、南極を貫くトンネルの南極側から両外側がＮ極になるにした棒を落とすと北極から飛び出すということなるだろうか。

119. フランクリンモーター（演示実験）

YouTube 「Franklin Motor」

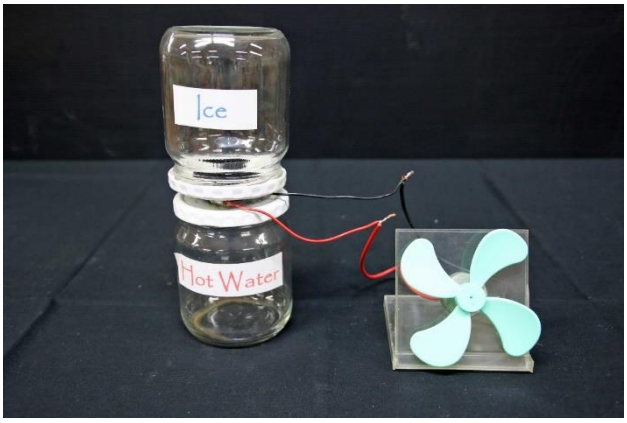
ペットボトルの側面に、1cm 幅程度のアルミテープを 1cm 間隔程度で貼り付け、中心軸の周りを回転できる構造に組み立てる。両側に写真のように放電が起こりやすい形状のギザギザのアルミ板を 2 枚設置する。2 枚のアルミ板に電位差を与える（バンデグラフ起電機がよい）と電子が移動し、中心のペットボトルが回転する。フイルムケースなどを使って小型のものをつくることもできる。



120. ペルチェ素子（演示実験）

YouTube 「Peltier Device」

ペルチェ素子は、電流を流すと一方の面から他方の面へ熱が輸送され温度差を生じる性質のある半導体素子で、コンピュータの CPU の冷却に使われる。外部から温度差を与えると、電流が発生するため電源としての機能も持っている。ペルチェ素子に放熱フィンを接着し、氷とお湯を入れる二つの瓶のふたに取り付けると、太陽電池用のモーターを回す発電機として利用できる。



参考文献　神奈川県の山本明利先生にご指導頂いた。

121．ディスクランチャー（演示実験）

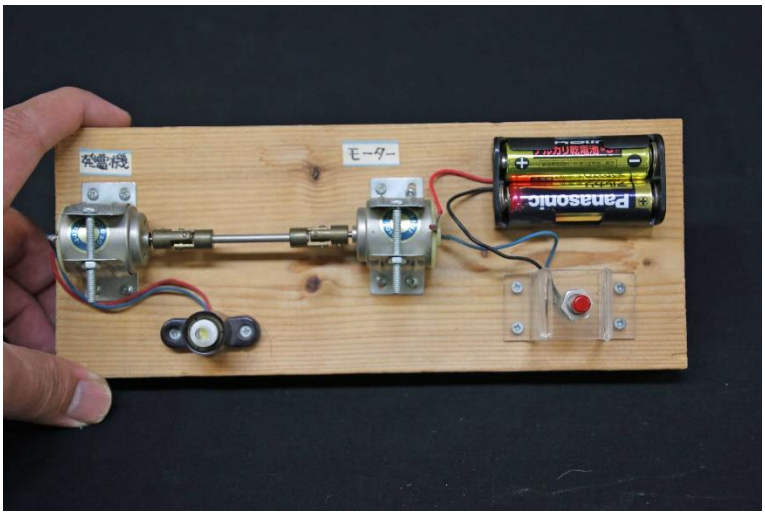
YouTube 「Disk Launcher」

コイルに流れる大電流により１円玉に渦電流を発生させ、磁場の反発を利用し１円玉を飛ばす装置である。大電流を流すために耐電圧400V、電気容量 10000μF のコンデンサーを用いた。整流用のダイオード、40w 電球、ナイフスイッチを直列につなぎ、交流 100V で充電する。充電中は電球に電流が流れ点灯するので、消灯するとコンデンサーが充電されたことがわかる。ナイフスイッチを渦巻きコイル側に倒すとコイルの上に置いた１円玉は天井まで達する。コンデンサーは、放電後も電気がたまった状態にあるので、触れない構造にするか、先生の指導の下で毎回、放電させるよう注意が必要である。

参考文献　愛知・岐阜・三重物理サークル「いきいき物理わくわく実験２」p.46（新生出版 1999）

122．モーターと発電機（体験）

YouTube 「Motor & Generator」



モーターを２個向かい合わせにつなぎ、片方のモーターを 3V の電池で回転させる。もう一つのモーターは、軸がつながれていて回転させられてしまうため、発電機となる。この発電機側に LED 電球をつなぐと点灯する。1．5V 用の豆電球だと点灯しない。つまり、3V の電池を使っているものの電気エネルギーと力学的エネルギーの変換効率が悪いために豆電球は点灯しない。

参考文献：神奈川県の山本明利先生にご指導頂いた。

123. 手回し発電機の実験（生徒実験）

手回し発電機はモーターを発電機として利用している。様々な実験が可能である。

1．手回し発電機に豆電球をつないで点灯させてみる。豆電球を２個、３個と並列につなぎ、点灯させるためにハンドルが重くなることを確認する。

2．センター試験の問題のように、手回し発電機に、針金、豆電球、紙と順につなぎ替え、どれが一番ハンドルが重いかを比べる。（電流が多く流れる方が発電器はたくさん仕事をするので重い。）

3．手回し発電機にシャーペンの芯をつなぎ、ハンドルを回すと芯から煙が出る。手回し発電機を並列に２個、３個つないでハンドルを回すと芯は激しく光る。

4．手回し発電機を２台つなぎ一方のハンドルを回すと、もう一方のハンドルが回る。つなぐ向きと回転方向を確認する。一方のハンドルを 10 回まわす間にもう一方のハンドルのまわる回数を調べるとエネルギーのロスを知ることができる。

5. 手回し発電機にコンデンサー（1F）をつなぐ。はじめはたくさん電流が流れるので重く、次第に電流が減り軽くなる。手を離すと充電したのと同じ方向に回転する。

実験の前に、実際に出題されたセンター試験の問題を解いてみよう。

手回し発電機は，ハンドルを回転させることによって起電力を発生させる装置である。リード線に図１に示すａ～ｃのような接続を行い，いずれの接続の場合でも同じ起電力が発生するように，同じ速さでハンドルを回転させた。ａ～ｃの接続について，ハンドルの手ごたえが軽いほうから重いほうに並べた順として正しいものを，右の①～⑥のうちから一つ選べ。［　　］

手回し発電機

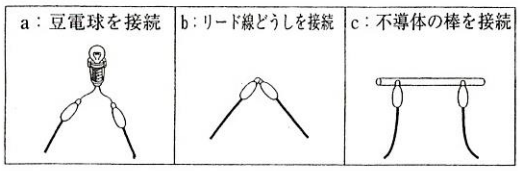


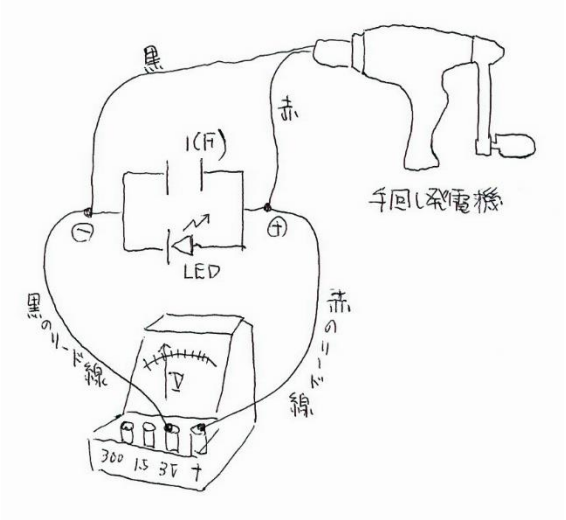
図１

	ハンドルの手ごたえ 軽い⟶重い		
①	a	b	c
②	a	c	b
③	b	a	c
④	b	c	a
⑤	c	a	b
⑥	c	b	a

実験「コンデンサーの充電と放電」

実験①　上の問題の答えを確かめよう。

実験②　図のように配線し、手回し発電機を常識的な速さで回し、コンデンサーを充電する。LED が点灯し、電圧計の目盛りが 1.5V～2.0V になったら充電をやめる。



問1　充電中に手回し発電機を回す際の重さに変化はあったか？

問２　充電完了後、手を離すと、手回し発電機の取っ手が回転する。その回転方向は、充電のときと比べてどうか？

124. エジソン電球（演示実験）

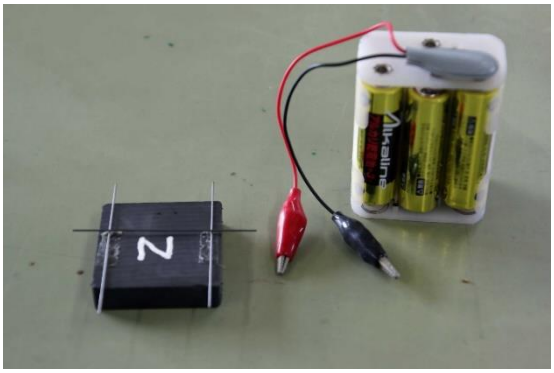
YouTube 「Edison light bulb」

ビンの中でシャーペンの芯に電流を流すと、ジュール熱が発生し芯は光る。ビンの中には酸素があるため芯は１分もたたないうちに燃えて断線する。ドライアイスを入れておいてビンの中をCO_2で満たすか、使い捨てカイロの中身を袋から出してしばらくおき、酸素を取り除くかしてから芯に電流を流すと１０分以上光らせることも可能である。

125. フレミングの左手の法則（体験）

YouTube 「Fleming’s left hand rule」

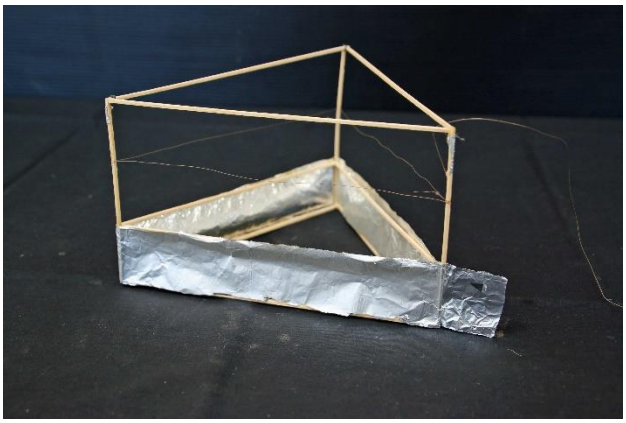
フェライト磁石（40mm×40mm×9mm）の上にシャープペンシルの芯を両面テープで２本平行に貼り付けレールにする。その上にもう１本のシャープペンシルの芯をのせ、２本のレールに電池をつなぐと、上にのせたシャープペンシルの芯を列車のように走らせることができる。芯の接触抵抗があるので、電池は６本くらいある方がよい。磁石のＮとＳを示しておくと、フレミングの左手の法則の確認になる。



参考文献　この実験は千葉県の大山光晴先生にご指導頂いた。

126. イオンクラフト（演示実験）

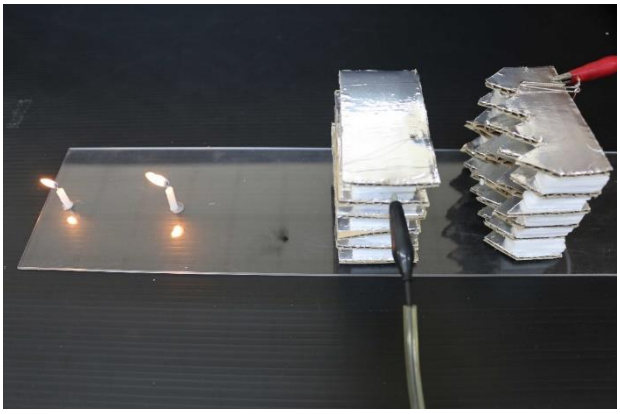
YouTube 「Ion Craft」



ブラウン管テレビのフライバックトランスから取り出した高圧（30000V）のプラス側を細い線につなぎ、アース側を幅 3cm 程度のアルミ箔につなぐ。細い線付近の空気分子は電子を奪われるためプラスイオンとなり、アルミホイル側に移動し、アルミホイルから電子を受け取る。このイオンの流れが風となり、バランスよく支えると写真の物体は浮き上がる。イオンエンジンの原理である。写真物体の構造は、細いバルサ材を使って組み立てた。

127. イオン風（演示実験）

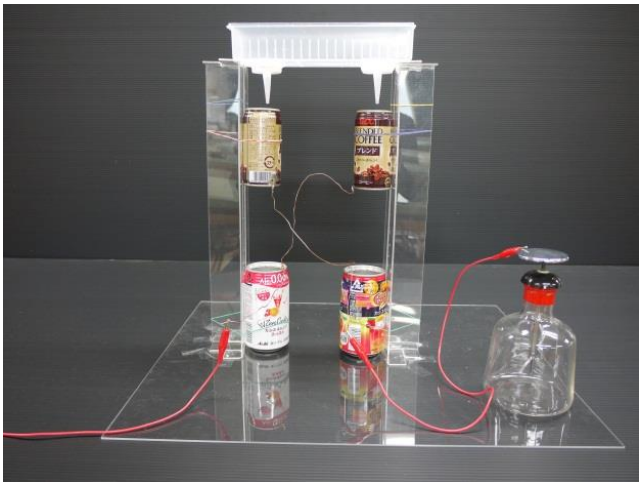
YouTube 「Ionic Wind」



発泡スチロールとステンレステープを用いて、写真のような装置を組み立て、右側をブラウン管テレビのフライバックトランス側の＋極、左側をアースすると、左向きのイオン風が起こり、ろうそくの炎を消すことができる。宇宙では、地上のように気体がないため、テフロンなどの固体を気化させて推進力にしているようだ。

128. ケルビン発電器（演示実験）

YouTube 「Kelvin Generator」



水が連なって落下する途中で水滴と水滴に分かれるところに電極（写真上部の空き缶）を置くと、電極の静電誘導によって、水滴がプラスとマイナスに帯電する。その水滴が下部の空き缶に落ちることによって、左右の下の空き缶には電気がたまる。写真と動画では、箔検電器の箔が開く様子を示した。アクリル板で絶縁を高めるとうまくいく。

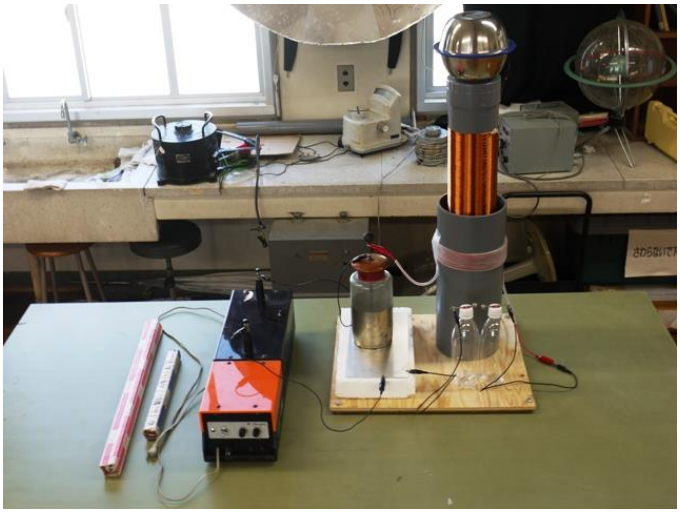
参考文献　この実験は大阪府教育センターの脇嶋修先生にご指導頂いた。

129. マイナスイオンドライヤー（演示実験）

YouTube 「Hair Dryer with Negative Ion Generator」

マイナスイオンドライヤーは、箔検電器をマイナスに帯電させるときに利用できる。写真左側は、昭和の時代のドライヤーでマイナスイオンは発生しない。

130. テスラコイル（体験）

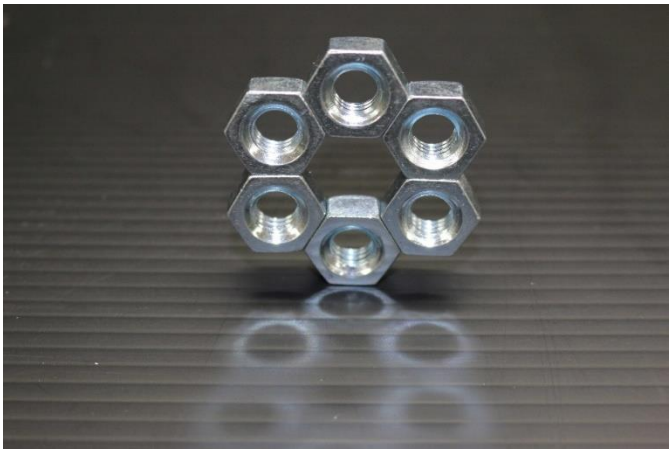


テスラコイルから発生する交流電流は、数 100kHz の高周波電流のため強い表皮効果が生じて電流の大部分は導体の表面を流れ、人体の内部には電流がほとんど流れないことになる。写真は 1 次コイルが 10 回巻き、2 次コイルが 800 回巻きで生徒がつくったものである。指先からの放電や、蛍光灯の点灯ができた。

参考文献　愛知・三重物理サークル「いきいき物理わくわく実験３」p.72（日本評論社 2011）

131. 磁化（演示実験）

YouTube 「Magnitization」

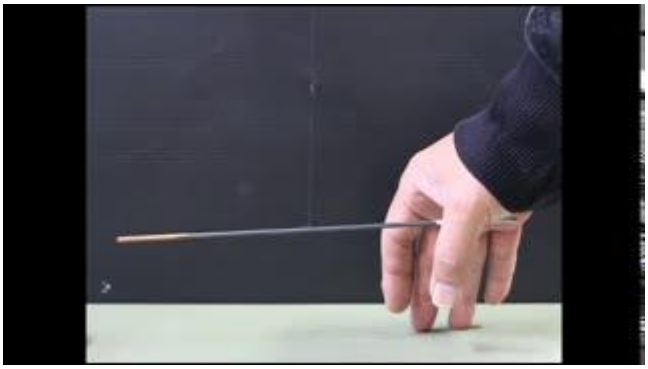


鉄の６角ナットを６個接触させ、その中央に電線を通し、12V のバッテリーでショートさせると、電流が作る磁場によってナットが磁化し、鉛直に立てることができる。12V バッテリーは、コンデンサーに蓄えた電流の扱いほど危険ではないので、磁化の実験には使いやすい。

132. 伏角（演示実験）

YOUTUBE 「Magnetic dip angle」

地球は球体であるため、厳密には方位磁石は赤道上以外水平方向を保たない。地磁気の方向と水平面がなす角度を伏角という。伏角は赤道付近で 0 度に近く、高緯度になるほど北半球では正の大きな値に、南半球では負の大きな値になる。北磁極、南磁極では伏角の大きさが 90 度になる。
鉄の棒（長さ 15cm～20cm）の中心を糸で縛りつるす。棒が水平になるように糸の位置を調節する。次に着磁器に鉄の棒を入れ、棒を磁化させる。鉄の棒は南北を示すが、棒は水平でなくなる。



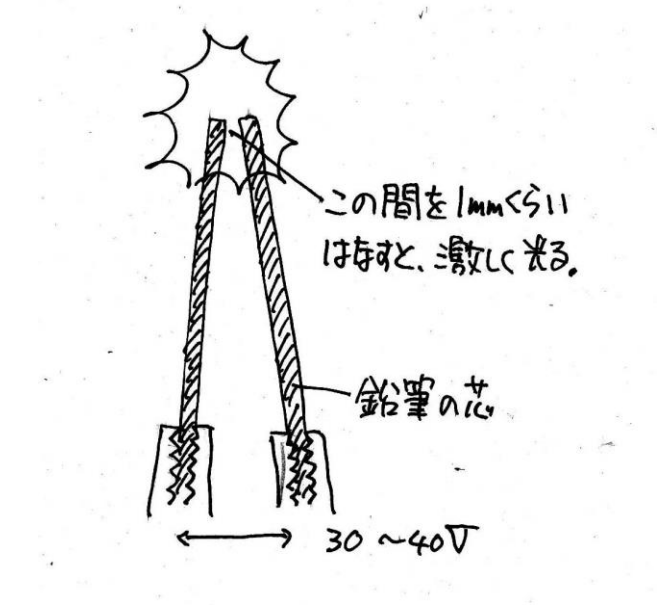
133. 磁石につくコイン

YOUTUBE 「コインの上にコインを載せます」

磁石につく一般的な金属は、鉄、コバルト、ニッケルの 3 種類である。現在製造されている日本の硬貨で磁石につくものはない。500 円、100 円、50 円硬貨は銅 75%、ニッケル 25%の合金ですが、磁石につきません。かつての 50 円硬貨はニッケル 100%であったため、磁石につく。
海外に目を向けると、磁石につく硬貨はたくさんあるようです。写真左は、中国、インド、ジョージア、イスラエル、イラン、エジプト、ヨーロッパ、アフリカ、南アメリカなどの硬貨、写真右はアラブ首長国連邦の硬貨で、すべて磁石につきました。ユーロ硬貨は、鉄を銅で覆っているタイプ、アラブ首長国連邦の硬貨はニッケルメッキされているタイプです。

134. アーク灯とライムライト（演示実験）

YouTube 「Lime light & Arc lump」



ハンフリーデービーは 1808 年アーク灯の実験に成功し、これが電気による照明の実用化された最初のものであった。

写真のような鉛筆を挟んで固定できるリード線を用意すると便利である。みの虫クリップのカバーを外し、電線部分を銅線で補強する。銅線部分は手で支えるので、先端の電気が流れる部分と接触しないように注意する。これをスライダックにつなぎ 25V 程度の電圧をかけると鉛筆の芯にジュール熱が発生し、木の部分が燃えて、芯だけを取り出すことができる。

芯を半分に折って再度この装置に 2 本の芯を平行に挟み、先端を接触させ電流を流し、芯の先端が赤くなったら先端どうしを 1mm 程度離すとまぶしいアーク放電が起こる。温度が高く、紫外線が発生するため、ビーカーなどで覆うことが望ましい。電圧は 30～40V 程度でよい。

ライムライトは、チャップリンの映画でも有名であるが、劇場の照明にも使われたようだ。石灰石（ライムストーン）を O_2 トーチ（3000℃）の高温で焼くとまぶしく輝く。こちらも紫外線対策が必要である。

参考文献　この実験は大阪の鬼塚史朗先生にご指導頂いた。

135. ガルバーニの実験（演示実験）（体験）

YouTube 「Galnani’s Experiment」

ボロニア大学の解剖学の教授であったガルバーニは 1789 年のある日、鉄と黄銅でできた手術用のメスで蛙の足を鉄格子に押し付けたとき、急に蛙の足が動き出す現象を見つけた。（病弱の奥さんに毎日カエルの足をさばいて吊しておいたところ、奥さんがつついて発見したという説もある。）この現象には、二通りの考え方ができた。

（1）カエルにはデンキウナギのように電流を流す能力があり、２つの金属が接触して回路が形成され電気が流れたことにより筋肉が収縮した。

（2）２つの異なった金属から電気が発生し、カエルの足に電流が流れ筋肉が収縮した。

ガルバーニは（1）の仮説をとり、これを「動物電気」と名づけた。多くの研究者が追試研究を行って、この実験を確かめた。この研究は大きな反響をよび、ガルバーニ協会（今の電気学会のようなもの）が設立され、電気の研究の中心となった。後になって追試実験をしていたヴォルタは（2）の仮説のほうが正しいことを実験的に証明し、種々の異種金属の組み合わせを考え、電池の発明（1800 年）につなげた。

200 年前に蛙の足が動いたのを見つけたガルバーニの興奮こそが研究者の求めてやまぬ喜びである。生徒諸君と一緒にこの喜びを味わいたいものである

準備　アフリカツメガエル（例：ゼノパスという養殖教材会社から 100g 程度のメスを購入）、カミソリ、糸（ホームセンターにある水糸のようなものがよい）、生理食塩水（0.65%）、亜鉛板、銅板、スタンド、ぞうきん

図１

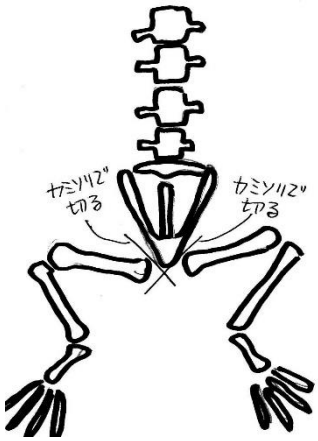


図２

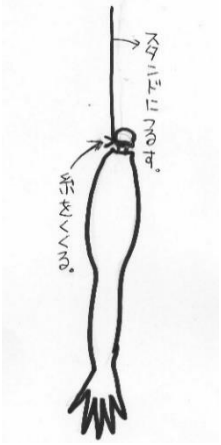


図３

方法　①　２時間以上カエルを氷水につけ、完全に冬眠状態にする。

②　図１のようにアフリカツメガエルの皮をカミソリで切る。首回りは脇の下を通って１周切る。背中の切れ目は、適当なところまででよい。

③　背中の首下のカミソリで皮を切ったところに料理ばさみなどを刺し、脊髄を切断する。

④　頭を支え、ぞうきんで滑らないように首より下側の皮を持って、引っ張って皮を剥ぎ取る。足の指先まできれいにむける。

⑤　図２のように両足を切断する。

⑥　図３のように、足の付け根側の骨（大腿骨）の上側の端を糸で結び、スタンドに吊す。

⑦　太ももの筋肉の境目にカミソリを入れると、太い神経（白い糸のようなもの）が現れる。これを表から見えるように出しておくと、よく動くようになる。

⑧　太もも部分を銅板と亜鉛板で挟んだ状態で、銅板と亜鉛板を接触させると、カエルの足は痙攣を起こす。金属板に神経が触るようにすると激しく痙攣する。

なお、本実験を実施する際に、生野高校生命倫理規定に基づく手続きを踏み、生徒に対して、動物実験の指針の文書を説明した上で、実施している。

参考文献：この実験は石川県の江頭和子先生にご指導頂いた。

136. 箔検電器の実験（生徒実験）

目的

はく検電器を用いて摩擦による帯電，電気の種類，静電誘導などについて調べる。

器具

はく検電器（2個），良好な絶縁体で被覆された導線（長さ30cm位），
発電棒(エボナイト棒または塩ビ棒，ガラス棒またはアクリル板等），毛皮，絹布，絹糸

方法・結果

1．帯　電

① エボナイト棒（塩ビ棒）を毛皮で摩擦した後，はく検電器の金属板に近づける。遠くから徐々に近づけていくと，はく はどのようになるか。

② ガラス棒（アクリル板）を絹布で摩擦した後，同じようにしてみる。どうなるか。

2．電気の種類

① 毛皮で摩擦したエボナイト棒を，はく検電器の金属板に軽くこすりつけて，エボナイト棒を遠ざけても はく が開いたままになるようにする。

② このはく検電器の金属板に毛皮で摩擦したエボナイト棒を徐々に近づけると，はく はどのようになるか。

③ ①のはく検電器の金属板に絹布で摩擦したガラス棒を遠くから徐々に近づけると，はく はどのようになるか。

3．静電誘導(その1)

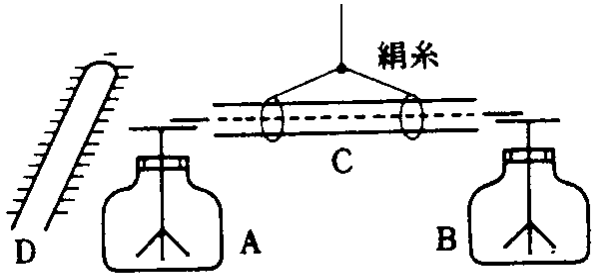
つぎに，はく検電器の金属板に電気を帯びたものを近づけると，なぜはくが開くかを考えるために以下の一連の操作を行ってみよう。

① 図のように，2つのはく検電器A，Bの金属板を絹糸でつるした被覆導線で連ねておき，毛皮で摩擦したエボナイト棒Dを徐々にはく検電器Aに近づける。A，Bの はく はどうなるか。

② DをAに近づけたままCを絹糸でつり上げて取り去り，つぎにDをAから遠ざける。

③ ②のようにしたAにDを徐々に近づけるとAの はく はどうなるか。

④ ②のようにしたBにDを徐々に近づけるとBの はく はどうなるか。



⑤ ②のAとBのガラス部をそれぞれ左右の手でもち，両者の金属板どうしを接触させた後A，Bを元の位置におく。A，Bの はく はどうなるか。

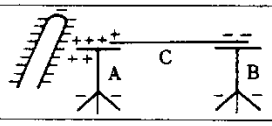
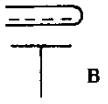
4．静電誘導（その2）

はく検電器に毛皮で摩擦したエボナイト棒を近づけて，はくを開かせておき，その金属板に指を触れて離してから，エポナイト棒を遠ざけるとはくはどうなるか。

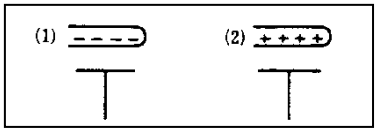
考察

1．方法・結果2．①～③のことから，①のはく検電器，毛皮で摩擦したエボナイト棒，絹布で摩擦したガラス棒のそれぞれが帯びている電気の種類についてどんなことがわかるか。

2．方法・結果3．の②～⑤の各段階での観察事項を電荷の分布の移動を考えて説明し，平衡状態における電荷分布を①のように図示せよ。

①	負電荷がCを通ってAからBへと移動し，A側が正，B側が負に帯電して，はく　が開く。	
②		
③		
④		
⑤		

3．上のことから，方法・結果1．の①，②で，はくが開いているときのはく検電器の電荷分布を考えて右に図示せよ。



4．方法・結果4．の一連の操作毎の電荷分布を図示せよ。

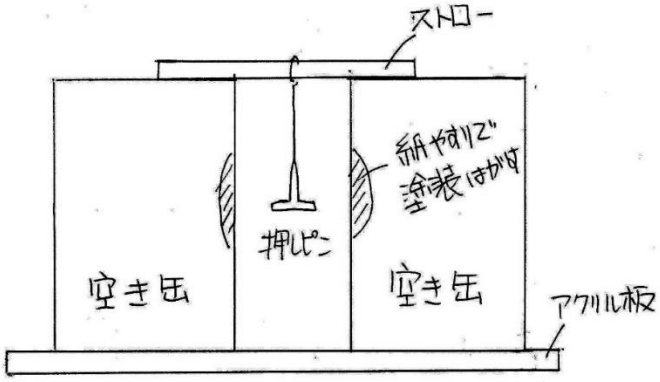
（　　）組（　　）番　　氏名（　　）

参考文献：「物理実験書ⅠB、Ⅱ」（大阪高等学校理化教育研究会 1994）

137. フランクリンベル（体験）

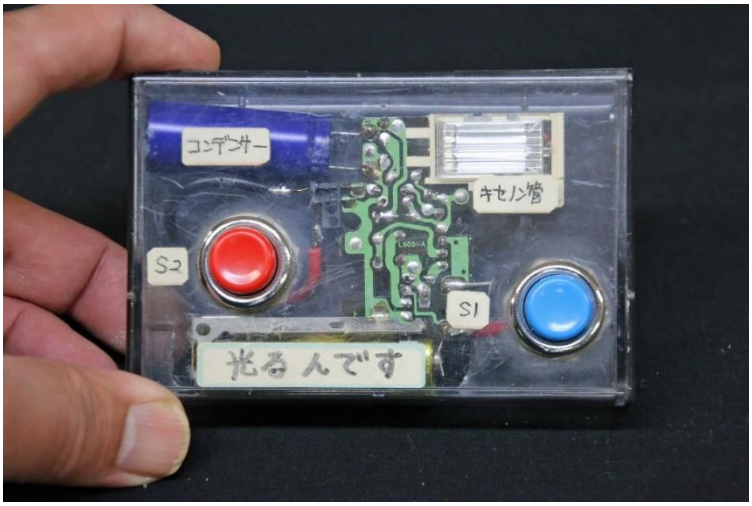
YouTube 「Franclin’s Bell」

電荷の移動を考える教材として、フランクリンベルがある。空き缶、ストロー、糸、押しピン、アクリル板があれば、簡単にできる。摩擦電気を与えるとベルが鳴るが、最近は 1200V 程度の電位差を発生させる電撃はえ取りラケットが安価で手に入るので、これを使っても行える。



138. 光るんです（体験）

YouTube 「Charge & discharge of a capacitor」

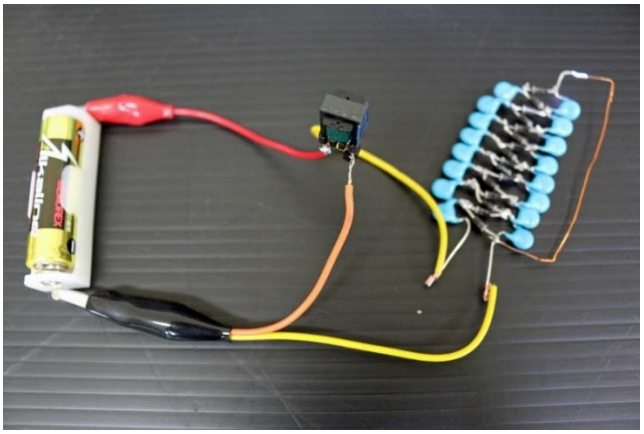


使い捨てカメラの基板をそのまま使って、コンデンサーの役割を示す装置が簡単に製作できる。分解の際には、コンデンサーを放電してから行うように注意が必要である。新たにつける部品は充電のためのスイッチと、フラッシュを点灯させる（コンデンサーにたまった電気を放電する）スイッチである。写真は、安全のためカセットケースに回路を入れたものである。充電が完了するまでキーンという音がして、充電が完了するとパイロットランプが付くのでわかりやすい。

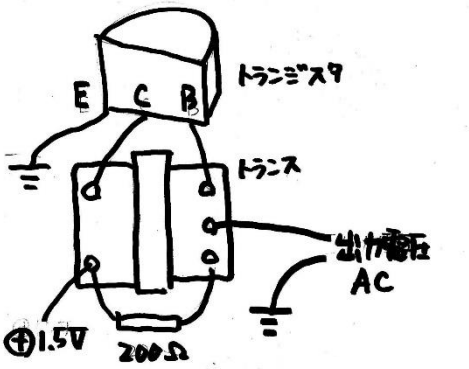
参考文献：神奈川県の山本明利先生にご指導頂いた。

139. 使い捨てカメラ高圧回路（演示実験）

YouTube 「Cockcroft Walton circuit」

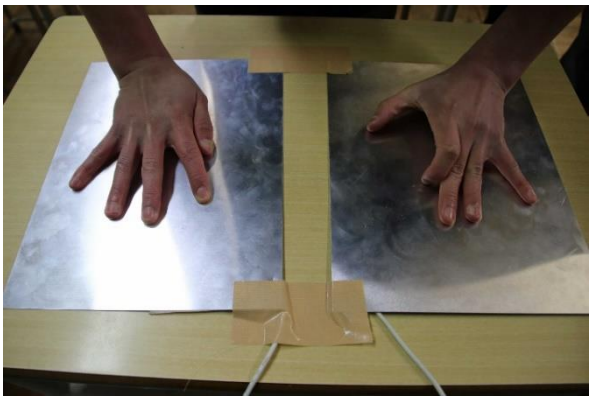


使い捨てカメラを利用すると高圧電源の製作が可能である。図のように回路を組むと、出力側を手でさわると、ピリピリする感じが味わえる。コッククロフトウォルトン回路をつなぐと、５mm程度の放電を見ることができる。



140. 感電体験（体験）

YouTube 「Faraday cage2」



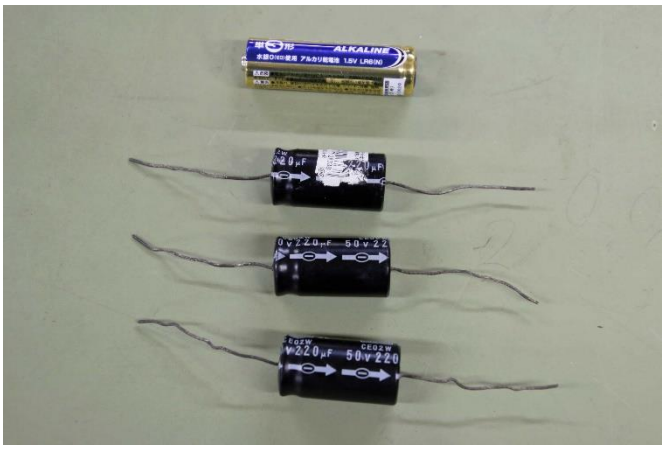
感電体験には賛否両論があるが、安全対策と本人の同意があれば、電気を安全に扱うための体験として是非経験させたいと考える。２枚のアルミ板に電線をつなぎスライダックの出力側につなぐ。アルミ板は、教卓や木の机にショートしないようにガムテープで留める。絶縁状態の生徒に、両手をアルミ板の上に置かせる。スライダックで0V から徐々に電圧を上げ、ダメですという声で電源を落とす。多くの生徒は電流により筋肉が縮み指が曲がる経験をし、100V の電位差を想像できる。３人４人が手をつなぎ直列接続の状態で同じ実験をすると、100V まで耐えることができ、直列つなぎの理解もできる。

141. クリアファイルコンデンサー（体験）

クリアファイルの中にアルミホイルをはみ出さないように挟む。クリアファイルの外側に同じ大きさのアルミホイルを貼り付ける。これで、クリアファイルが誘電体、アルミホイルが極板のコンデンサーが完成する。外に貼り付けたアルミホイルが外側になるように巻く。挟んだアルミに電子を送るために細長いアルミホイル（アンテナ）を挟んで出しておく。塩ビパイプを毛皮でこすってアンテナに電子を送る。生徒に手をつながせて輪を作る。片方の端の生徒が筒の外を持ち、もう片方の端の生徒がアンテナを触った瞬間にたまった電荷が放電され 100 人脅しが体験できる。

142. コンデンサーの耐電圧（演示実験）

YouTube 「Withstanding Voltage of a capacitor」

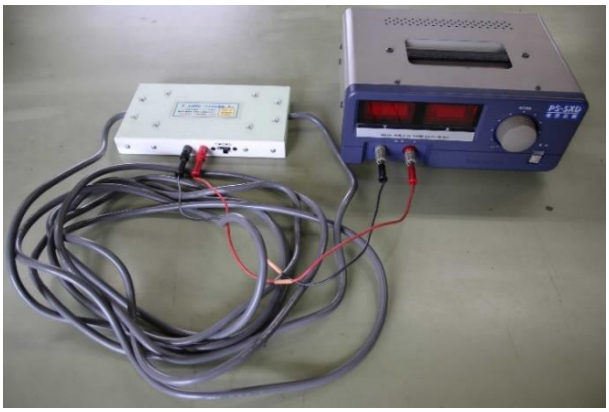


コンデンサーには静電容量以外に耐電圧の表示がある。耐電圧を超えると極板間で放電が起こり、場合によっては熱による膨張により破裂することがある。耐電圧を超えた電位差を与えるとどうなるか？は生徒にとって興味ある現象である。最近は小型化のため減ったが、図のような（220μF、50V）大きなコンデンサーがよい。スライダックに直接つなぎ交流で 70～80V くらいまで上げると大きな音を立てて破裂する。金属製容器の破片も飛ぶので、丈夫な囲いで覆って行うこと。

参考文献　この実験は大阪の鬼塚史朗先生にご指導頂いた。

143. パスカル電線（演示実験）

YouTube 「Coil + Magnet = Speaker」



パスカル電線は、＋極から－極に 1 本の電線がつながっているように見えるが、1 本の電線の中に被覆電線が 10 本入っていて、それが＋極から－極に至るまで 10 周するように接続された電線である。たとえばこの電線に、15V の電位差を与え、4A の電流が流れたとすると、実際にこの電線の周りには 40A の電流が流れた場合と同じ磁場が生じる。京都パスカルによって開発されたためこの名称で呼ばれる。

参考文献　この実験は、元京都市青少年科学センターの杉原和男先生にご指導頂いた。

144. モータースピーカー（体験）

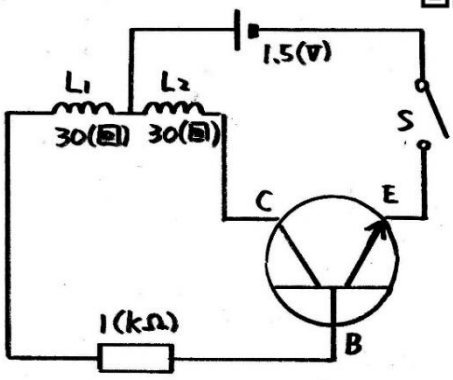
YouTube 「Coil + Magnet = Speaker」

スピーカーの構造は、ホルマル線をまいてコイルを作り、フェライト磁石（40mm×40mm×9mm）の上に置き、ラジカセなどの外部スピーカー端子にコイルをつなぐことで、その振動を味合わせたい。イヤホンジャックしか無い場合は、音量が小さいのでアンプを挟む方がよい。小さなモーターも外部スピーカー端子につなぐと音楽が聞こえておもしろい。

145. ワイヤレス送電（体験）

YouTube 「Electromagnetic Induction」

YouTube 「Wireless electric power transmission」



電気自動車の充電をワイヤレスで行う試みをスマートハウスと呼ぶ。電磁誘導を利用した送電方法である。トランジスタを用いて、1 次コイルに高周波電流を発生させると、2 次コイル側につないだ LED を点灯させることができる。この回路は、簡単に、安価で作ることができるので、相互誘導の教材として利用して欲しい。トランジスタは、2N2222、2N3904、2SC2655、2SC1815 など。2 次コイルの巻き数が多いと LED は明るい。1 次コイルと 2 次コイルを鉄芯に通すと、送電距離が伸びる。

146. フェライト磁石ｖｓパチンコ玉（体験）

YouTube 「Magnetic field」

フェライト磁石（40mm×40mm×9mm）のそばで鉄球 2 個を接触させると、鉄球は磁力によってひっつく。磁場の中で鉄が磁化されているためである。フェライト磁石からの鉄球を遠ざけると、鉄球の重力が磁力に勝って落下する。

フェライト磁石に 1 個目の鉄球をのせ、その上にもう 1 個の鉄球を接触させる。この状態で上の鉄球を上に引くと、下の鉄球はフェライト磁石にひっついたままか、あるいは上の鉄球にひっついてくるかどちらであろうか。正解は、上の鉄球にひっついて下の鉄球はフェライト磁石から離れる。鉄は磁石として優れた素材で、フェライトは永久磁石として優れた素材である。

147. シャカシャカライト（体験）

YouTube 「Electromagnetic Induction 2」

電池がいらないシャカシャカライトは、内部の磁石とコイル、電気を蓄えるコンデンサーが透けて見えるようになっている。磁石がコイルを通り抜けるとき、電磁誘導によりコイルに逆起電力が発生し、回路に電流が流れる。これにより LED 電球が点灯する。スイッチを off にして磁石がコイルを往復するように振ると、コンデンサーに電気量が蓄えられる。電磁誘導やコンデンサーの働きを理解するのに役立つ教材である。

148. ネオジムの自由落下　渦電流（体験）

YouTube 「Eddy Current」

アルミ製のパイプの中で球形のネオジム磁石を落下させると、渦電流の発生によって、ゆっくり落下する。球形のネオジム磁石はＮ極とＳ極を水平にして落下する。つまりアルミパイプには側面に渦電流が発生する。渦電流が円周に添って発生するのではない様子は、切り込みを入れたパイプを使って実験を行うとよい。渦電流については、109 のディスクランチャーもよいが、こちらの方が危険が少ない。また、下敷きの上に 1 円玉を置き、下敷きの裏側でネオジム磁石を素早く動かすことで、1 円玉を動かすことでも渦電流の発生を見せることができる。

149. 交流電源と LED（演示実験）

YouTube 「LED connected to an AC power supply」

100V 用の LED を交流電源に接続すると点滅する。LED をじっとしておくとわかりづらいが、移動させたり回転させたりすると、点滅の様子がはっきりわかる。関西では 60Hz なので、1 秒間に 60 回点滅する（逆方向の電流では点灯しない）。教室を暗くして 1 秒間に 4 回転させるペースで等速円運動を行うと、円周に 15 個の明かりが見える。

参考文献　この実験は大阪の鬼塚史朗先生にご指導頂いた。

150. ジュール熱（ガムの包み紙）（演示実験）

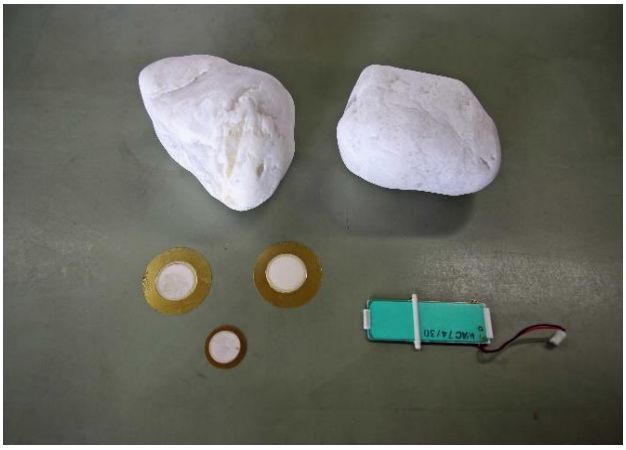
YouTube 「Joule heat」

スチールウールたわしは、細く断面積が小さいため抵抗が大きく、9V 電池を使うと簡単に火をおこすことができる。抵抗が断面積に反比例することを感覚的に理解させ、電流によってジュール熱が発生することを目で確かめることができる。
ガムの包み紙の銀紙も 9V 電池で燃やすことができる。4mm 程度の幅が狭い部分を作ると、そこで大きなジュール熱が発生する。

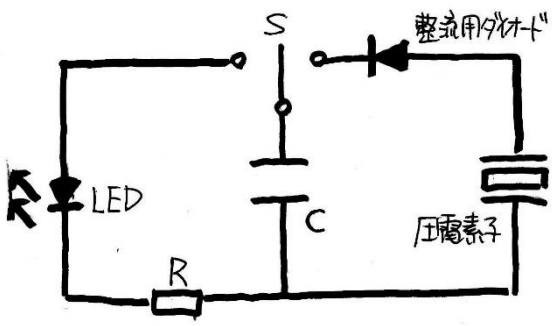
151. 圧電素子（ピエゾ石）（演示実験）

YouTube 「Piezo Stone」

YouTube 「Piezoelectric device」



圧電素子は加えられた力を電気に変換する素子で、スピーカー、マイク、点火装置、振動センサーなど、多用途に用いられている。
石英片岩はピエゾ石とも呼ばれ、2 つのピエゾ石を強くこすり合わせると、電圧が発生し、暗室ではオレンジ色に発光する。淡路島の南部の海岸で採集が可能である。
圧電素子で電流を発生させ、コンデンサーに蓄え、LED を点灯させる回路を示した。コンデンサーの両端の電位差を測定し、3V 程度までたまるとスイッチを切り替えるとLED を点灯させることができる。



参考文献　ピエゾ石の情報は、神戸村の工業高校の北野貴久先生にご指導頂いた。

152. ゲルマニウムラジオ（生徒実験）

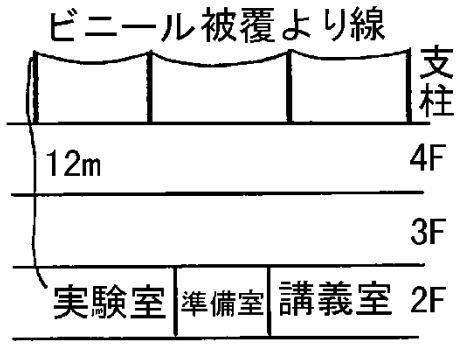
【目　的】

ラジオ放送は電波に乗ってみなさんのそばまで届いています。でも，そのまま耳で聞くことはできませんね。どうしたら聞こえるのでしょうか。電池のいらないラジオを，ありふれた材料を使って作り，しっかり調べてみましょう。

【器　具】

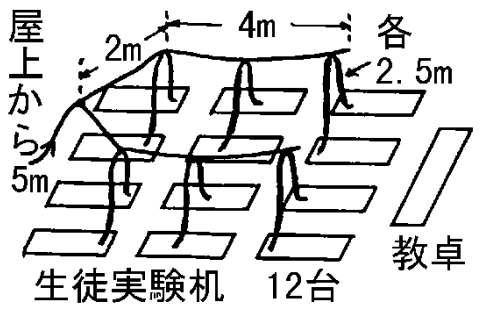
受信設備（屋外アンテナ「ビニール被覆より線0.18mmφ50芯･長さ30～40m」，アンテナ引き込み線），ラジオ部品（ゲルマニウムダイオード1N60，クリスタルイヤホン，コイル「厚紙12×12cm 厚さ0.73mm，イヤホンジャック，エナメル線0.5mmφ長さ7.5m，抵抗100kΩ」，コンデンサー「料理用アルミ箔25cm×33cm２枚，ビニール被覆より線0.18mmφ12芯・長さ30cm２本，ビニールテープ，わら半紙１枚」），工具類（カッターナイフ，ナイフ用下敷き，はさみ，フック付き押しピン，はんだごて，松ヤニ入りはんだ，こて台，ラジオペンチ，ニッパー）

＜校舎屋上の屋外アンテナ＞



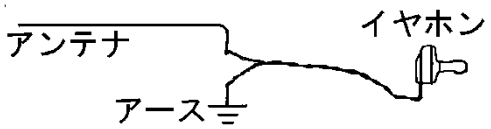
支柱は2.5×2.5cmの角材を1.2mmφの針金で手すりに固定する。

＜実験室内のアンテナ引き込み線＞

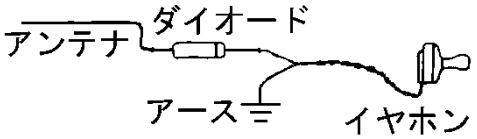


【方　法】

１．イヤホンだけをアンテナにつなぐと放送が聞こえるだろうか。右図でアースは，湿らせた指で持つと良い。



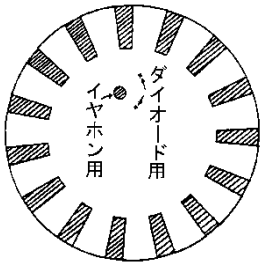
２．イヤホンとゲルマニウムダイオード（以下ダイオードと書く）を直列に.してアンテナにつなぐと放送が聞こえるだろうか。



１.または２.で放送が聞こえただろうか。それでは２．で用いた部品などを組み合わせて，電池のいらないラジオを作ってみよう。

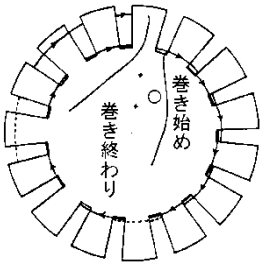
3．ゲルマニウムラジオの製作

⑴　コイルの作り方（スパイダー･ウェブ･コイル）



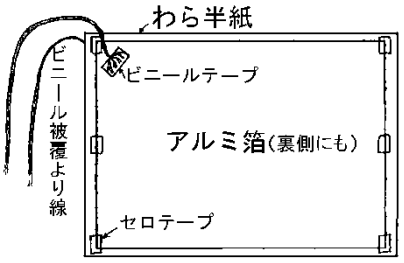
① 巻き枠を作る。厚紙の上に型紙を貼り付けて，はさみで切れ目を入れ，カッターナイフで根元を切り取り，斜線部を取り除く。イヤホンジャック用の穴をカッターナイフで開ける。ダイオード用の２つの穴をフック付き押しピンで開ける。

② エナメル線を巻く。5cmほど残して，イヤホンジャックの穴の辺りから巻き始める。交互に表→裏→表というふうにひっかけて巻いていく。25回まで巻いたら，巻き枠に押しピンで針穴を開け，エナメル線を通し巻き終わりとする。



③ エナメル線の巻き始めと巻き終わりの1cmを，カッターナイフでエナメルを削り落し，銅の部分を露出させておく。

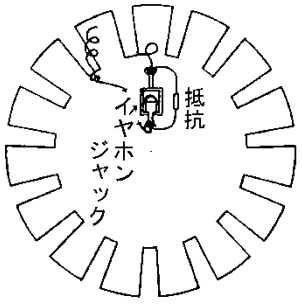
⑵　コンデンサーの作り方



① ビニール被覆より線の先2cmの被覆をはがす。細い導線を扇のように広げて，アルミ箔の隅にビニールテープで貼り付ける。同じものを２つ作る。そのうちの１つをわら半紙の上に広げて置き，セロテープで止める。

② 使用するときは，アルミ箔のみの方を机上に置き，その上にわら半紙を貼ったアルミ箔を重ねる。

⑶　ゲルマニウムラジオの組み立て方



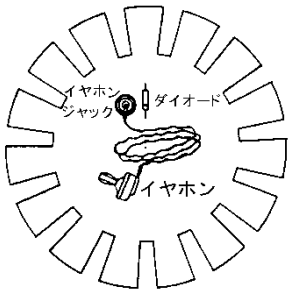
コイル，コンデンサー，ダイオード，抵抗，イヤホンジャックを一体にする。

① 巻き枠にダイオードとイヤホンジャックを取り付ける。

② 巻き枠の表側のイヤホンジャックの１本の足にコイルの巻き始めと，抵抗の一端を通して曲げる。

③ もう１本の足に抵抗の他端と，ダイオードの一端を通して曲げる。

④ ダイオードの他端とコイルの巻き終わりを　互いに輪にして鎖のようにつなぐ。



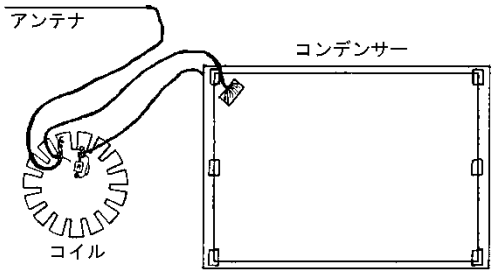
⑤ コンデンサーの２本のリード線のうちアルミ箔のみから出ている方を②に巻く。他方のリード線は④に巻き付ける。⑥　②，③，④の３ヶ所をはんだ付けする。

⑷　試聴

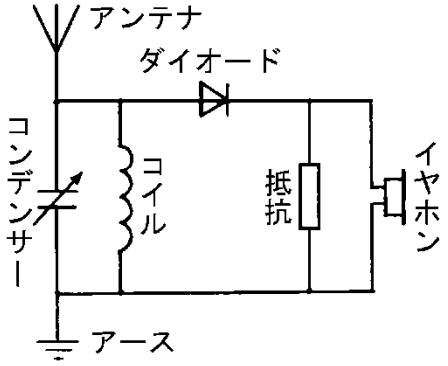
① ⑶の④をアンテナ引き込み線につなぐ。

② イヤホンをイヤホンジャックに差し込み，イヤホンを耳に入れる何かラジオ放送が聞こえるだろうか。

③ コンデンサーの２枚のアルミ箔の，間隔または，重なり合う面積，を調節するとはっきり聞こえる放送局を選べるだろうか。



結線図



回路図

【結　果】

1．イヤホンだけをアンテナにつないだとき放送を聞くことができたか。

2．イヤホンとダイオードを直列にしてアンテナにつなぐと放送が聞こえたか。

3．ゲルマニウムラジオをアンテナにつないだとき放送を何局聞くことができたか。また各局を分離して聞くことができたか。音の大きさはどうであったか。

【考　察】

1．放送局から番組が，電波でどのように運ばれてくるのか。

2．アンテナの役割は何か。

3．ダイオードの役割は何か。

4．クリスタルイヤホンの仕組みを調べよ。

5．ゲルマニウムラジオで１つの番組を選んで聞くことができる仕組みを説明せよ。

参考文献　この実験は大阪府の藤田利光先生にご指導頂いた。

153. 電磁誘導イヤホン（体験）

目　的　巻き数の異なる何種類かのコイルを作り，ラジオカセットレコーダー(以下ラジカセと省略する)と小型アンプスピーカーを使って，コイルに相互誘導が生じていることを音で調べる。

準　備　　ホルマル線，くぎ(6～7cm程度)，小型アンプスピーカー，水道管用塩ビ管(直径2cm程度)，

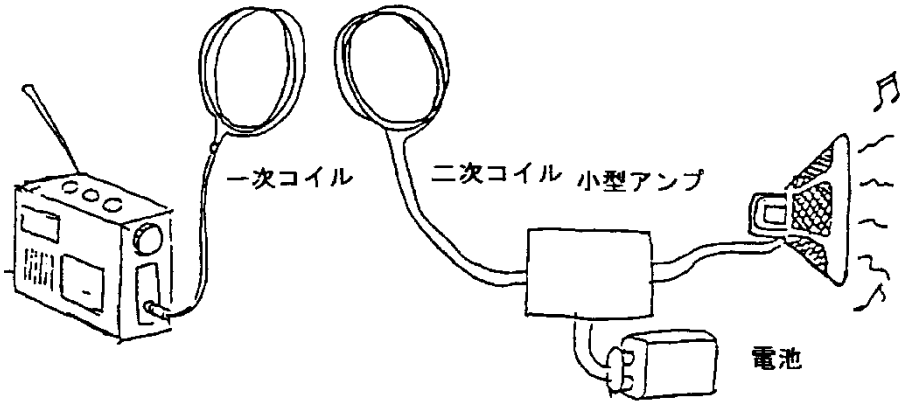
芯になるもの(1.5cm程度の直径にそろえた鉄棒，アルミ棒，針金の束)，ラジカセ

方　法

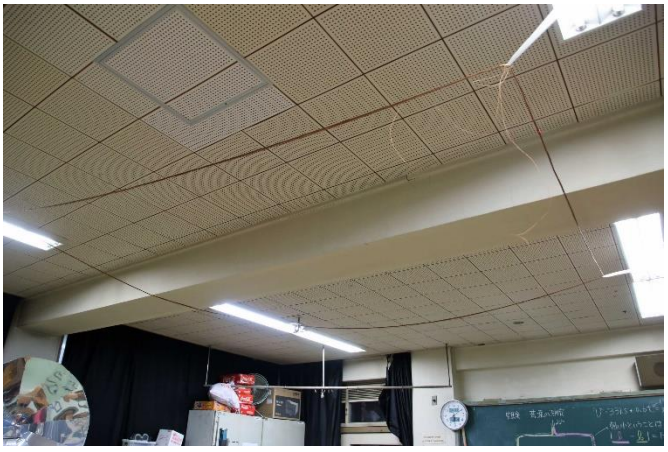
1．直径3cm程度の30巻きのドーナツ状コイル１組を作る。次に，くぎを芯にした100巻きのコイル，塩ビ管を芯にした250巻きと500巻きのコイルを各１本ずつ作る。

2．30巻のコイルを一次コイルとし，これをラジカセのイヤホーン端子へつなぐ。二次コイルは小型アンプスピーカーの入力端子へつなぐ。アンプスピーカーは最も大きな音がでるようにしておく。

3．二次側にもうひとつの30巻のコイルをつなぎ，一次コイルと二次コイルの距離を変えて音の大小を調べる。両者の距離を１cm程度離し，鉄棒，アルミ捧，針金の束を芯にして音の大きさの変化を調べる。



4．二次側のコイルを，くぎを芯にした100巻のコイル，塩ビ管を芯にした250巻きと500巻きのコイルに順次かえて，音の大きさを比べる。



実験室の天井には 1 周が 10m の 40 回巻きのコイルが設置してある。これに外部スピーカー端子からの音楽を流す。この下で、直径 20cm で 40 回巻きのコイルにクリスタルイヤホンをつないだものを設置すると相互誘導により音楽を聴くことができる。

参考文献　愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.34（新生出版 1988）

154. 陰極線・クルックス管・ファラデー暗部（演示実験）

YouTube 「Cathode ray」

クルックス管も多くの学校に眠っている。誘導コイルがあれば、放電を見せることができる。磁場によって曲がる様子、羽根車に当てると熱エネルギーが発生し、当たった側が押される様子などを見せることができる。

155. RLC 共振回路（演示実験）

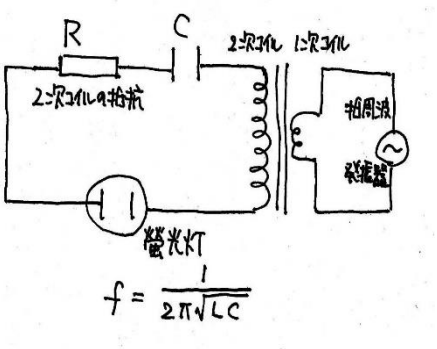
YouTube 「RLC series circuit」

低周波発信器にアンプをつなぎ、スピーカー端子から音声電流を取り出すと、周波数を自由に変えることができる交流電源になる。これを利用すると、RLC 回路の共振周波数を示すことができる。

誘導コイルの２次コイルは大きな抵抗を持っています。これが、ＬとＲの役目を果たす。アルミ板は４５ｃｍ四角くらいのものを利用、間にゴミ袋を挟んでコンデンサーにする。

周波数を変えると、２０ｗの蛍光灯が点灯し、周波数を調整すると、最も明るくなる状態を示すことができる。このとき、スピーカーを外しても、コンデンサーがスピーカーとなって鳴っているのがわかる。スピーカーと同じ音程で鳴っている。

ゴミ袋の枚数を２枚にしてコンデンサーの極板間を広げ、静電容量を半分にすると、共振周波数は√２倍になる。ゴミ袋を８枚にすると、共振周波数は２√２倍になる。これらの様子をおおよそ示すことができる。

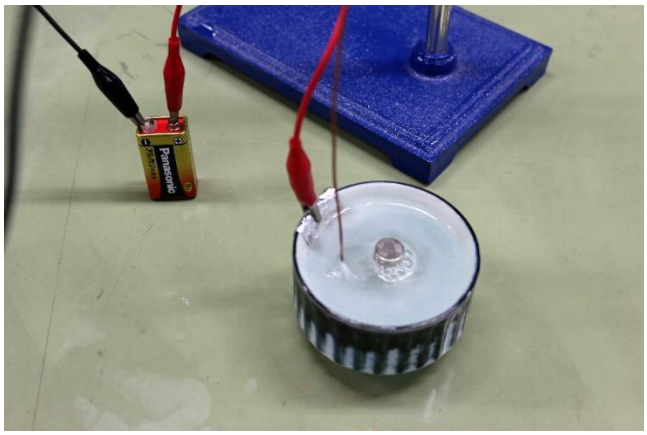


参考文献　愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」p.166（新生出版 1988）

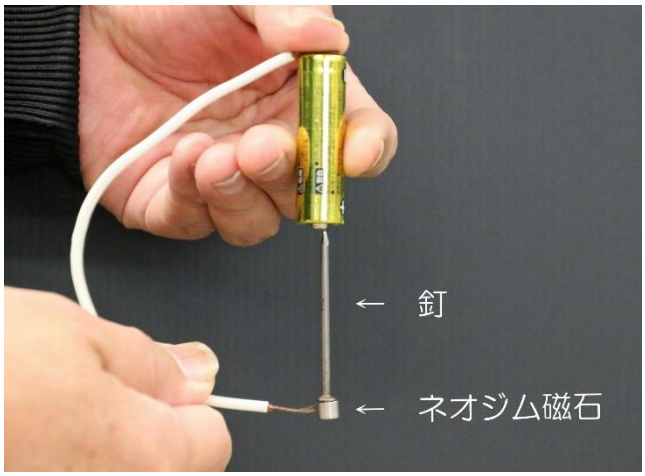
156. ファラデーモーター・単極モーター（演示実験）

YouTube 「Faraday Motor」

YouTube 「Faraday Motor using Mercury」



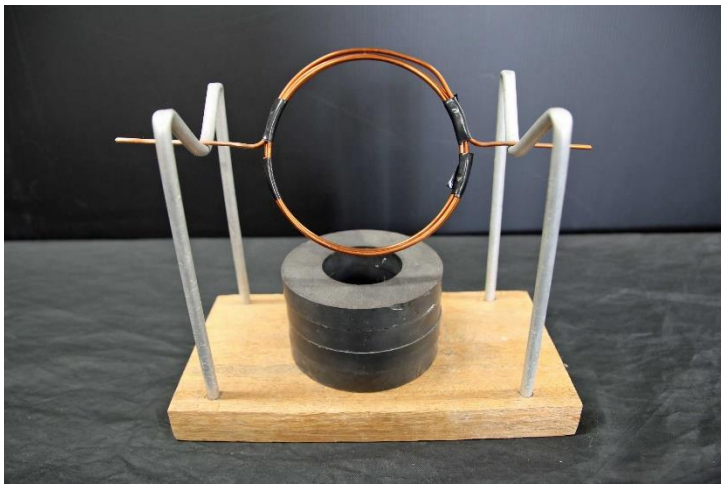
ファラデーモーターは、簡単に作ることができ、少し不思議で生徒の興味をあおる。100 円ショップのネオジム磁石、銅線（棒）、9V 電池、アルミホイルと食塩水で、くるくると銅線（棒）を回すことができる。アルミホイルは図のように一部でよいが、湯飲みの縁全面に貼った方が安定した円運動をする。電流の成分を分けると、フレミングの左手の法則で説明がつく。



左図のモーターも生徒の興味を引く。釘はネオジム磁石の磁力で、電池に簡単について落ちない。ネオジム磁石の側面にリード線を接触させると、磁石と釘は勢いよくまわる。磁石の下部にゼムクリップをつけておくと回転が見えやすい。

157. シンプルモーター（演示実験）

YouTube 「Simple motor」

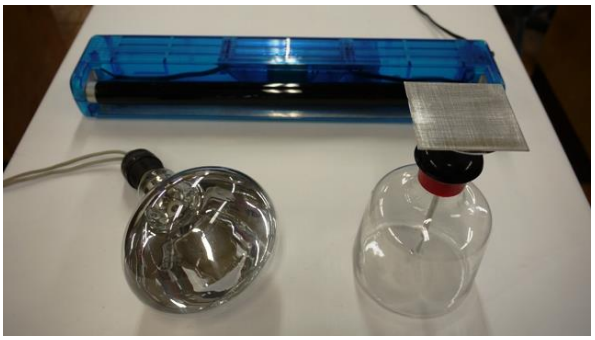


１２V バッテリーがあれば、ホルマル線は直径 1mm 程度のものを３回程度巻くだけでよい。
軸の上下のバランスに気をつけ、軽い側におもりとして半巻きのホルマル線を取り付ける。コイルの回転軸は，紙ヤスリで，一方は全部こすり取り，他方は半面だけこすり取る。
磁石を逆向きにする。電池のプラスマイナスを入れ替えると回転が逆になる。

158. 光電効果の実験（演示実験）

YouTube 「Photoelectric effect」

YouTube 「Photoelectric effect」



光電効果の実験では、仕事関数の小さな金属板が必要となる。簡単に手に入ってうまくいくのは Mg 板である。純マグネシウム板はネットで手に入れることが簡単にできるようになった。たとえば、大阪富士工業 KK、Mg 事業部では、注文に応じた大きさで注文ができる。使用のたびに、紙やすりで表面を削る必要がある。紫外線ランプと赤外線ランプを照射し、強烈な赤外線ランプでは箔検電器の箔が閉じないことを確認させると、この現象が、光子と電子の１対１対応の現象で、赤外線光子のエネルギーが小さいことをイメージさせるのに役立つ。

写真の SPECTRONICS CORPORATION 製の紫外線ランプは 254nm と 365nm が選ぶことができ、波長の短い紫外線では、急激に箔が閉じる様子が観察できる。箔検電器をマイナスに帯電させるには、毛皮でこすったエボナイト棒や塩ビ棒をこすりつけてもよいが、マイナスイオンドライヤーの温風を当てて帯電させるのもおもしろい。

参考文献：本実験と Mg 板の入手先は、奈良県の田中敏弘先生にご指導頂きました。

159. 霧箱（生徒実験）

YouTube 「α―Ray using cloud chamber」

放射性物質から放出される放射線は通常目で見ることができず、その存在を認識することは難しい。飛行機の作る飛行機雲と同じような現象を用いて放射線の飛跡を見ることができるように考案されたものが霧箱である。観察層の下部をドライアイスで冷やし、上部は室温にし、観察層の内部に温度勾配を作る。観察層内部の上部のスポンジにアルコールをしみこませたものを設置すると、蒸気が底部に拡散し、底部は温度が低いため、過飽和状態になる。アルコールが過飽和状態になった部分に、α 線やベータ線が通過すると、観察層の空気をイオン化し、そのイオンを凝結核としてアルコールの霧が生じる。この霧が、飛行機雲のように、放射線の飛跡を示す。対流が生じないように、水平にする。冷却層が冷えすぎると、温度勾配ができないのでいったんふたを開ける。上蓋を乾いた布でこすり静電気を起こす。観察層の横から放射線の放出部に光を当てる、等がこつ。線源としては、マントルが身近であったが、現在は放射線を見ることができるものは入手できない。トリウムを含むものとして、Tungsten Electrode（溶接棒）がある。カリ肥料はきれいな飛跡は見えない。

160. 放射線測定（生徒実験）

日本科学技術振興財団が「はかるくん」という γ 線測定器を貸し出していたが、今はおこなわれておらず、各都道府県のいくつかの学校が保管している。

校内では、花崗岩でできた石灯籠などで高い値が得られる。日中の飛行機の中、海外旅行などで測定するのもおもしろい。

はかるくんには５種類の線源がついている。御影石、湯ノ花、塩、カリ肥料と、貴重なマントルも含まれている。

161. e/m 測定（演示実験）

e/m の測定は、1897 年に J.J.トムソンによって行われた。電子の質量の測定は容易ではないが、e/m の値は高校の実験室でも行えるので、多くの学校にこの装置は眠っている。電子銃で電子を加速さえるための電圧を V、磁場の磁束密度を B、電子がローレンツ力を受けて等速円運動する際の半径を r とすると、e/m の値は次の式で表される。

$$e/m = 2V/B^2 r^2$$

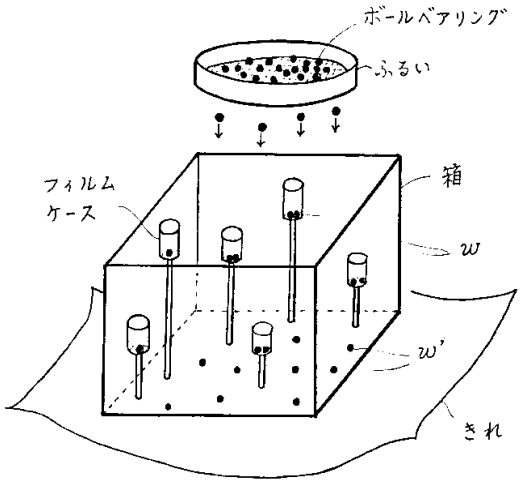
162. 原子核の大きさを測る（生徒実験）

目的　目に見えない原子核の大きさをシミュレーション実験によって理解する。

器具　長さの異なる棒（10～30cm）にフィルムケースを取り付けたもの（20 個程）、はかり、ふるい、ボールベアリング（直径 1mm1 ケース）、立方体の箱（厚さ５mm１辺５０cm）、ハンドドリル、布（カーテンなど）

準備　箱の底に適当な間隔でドリルで 20 個程の穴を空け、棒を差し込めるようにする。

実験



1．箱の上面の表面積 Sを計算する。
2．箱の底の穴に棒を 20 本程差し込む
3．布を広げた上に箱を設置する
4．ボールベアリングを適当量とる
5．ふるいを箱の上にかざし、揺すってボールベアリングをばらまく
6．フィルムケースに入ったボールベアリングの質量mを計る
7．箱の底にたまったボールベアリングの質量 Mを計る
8．$S\times\{m/(m+M)\}$ を計算する
9．8 の値をフィルムケースの数で割り、1 個のフィルムケースの表面積及び直径を求める
10．ノギスでフィルムケースの直径を測り比較する

上記の実験を、棒の種類や数を変えて行う。

結果

	１回目	２回目	３回目	４回目
m				
M				
$S\times\{m/(m+M)\}$				
フィルムケースの直径				

ノギスで測ったフィルムケースの直径　→ [　　]

考察　１．この実験で、原子核の大きさは何に対応しているか

２．実際に原子核の大きさを求めるためにはボールベアリングの代わりに何を用いているか

感想

参考文献　この実験は大阪の横田穣一先生にご指導頂いた。

163. 紫外線で光る絵、ウランガラス

YOUTUBE 「紫外線と蛍光増白剤」

YOUTUBE 「人形峠ウラン坑道」

洗剤に含まれる蛍光増白剤は、紫外線を吸収し、青白い光を放出する。
ウランが少量含まれるウランガラスに紫外線を当てると、緑色に蛍光する。ウラン原子の電子が紫外線からエネルギーを受け取り励起状態になる。その電子が元の状態に戻るときエネルギーを光の形で放出する。そのため、ウランガラスは緑色に輝く。

164. ローレンツ力を受けるβ線の円運動

YOUTUBE 「ローレンツ力によるベータ線の円運動」

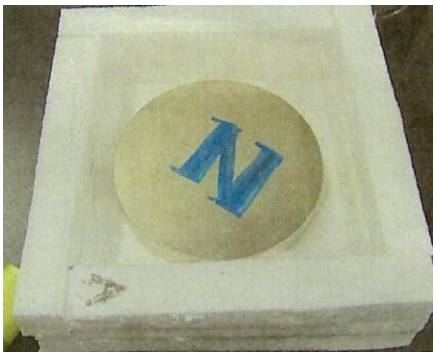
桐箱の下に 200mT のネオジム磁石を置き、ベータ線源からベータ線を放出させる。ベータ線は円運動を行うのでその様子を真上から動画撮影する。飛跡の見える画像をスクリーンショットで保存し半径を測定する。電子の運動方程式から

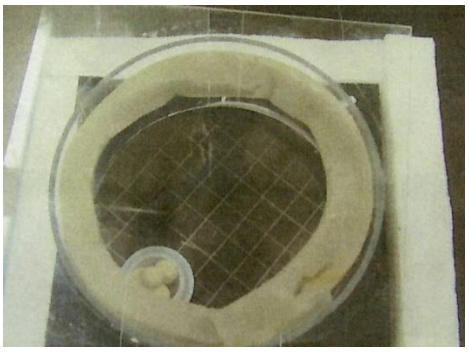
$mv = rqB$ ・・・・

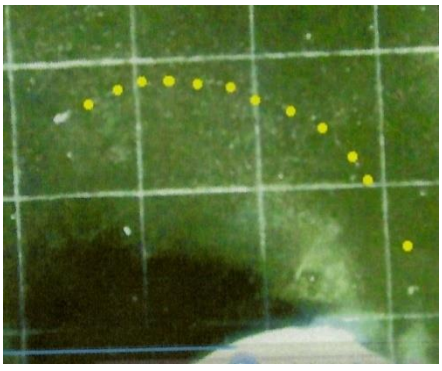
測定した半径 r を代入すると、電子の速度 v は光速を越える。このような光速の粒子では、古典力学が破綻する。相対論を使うことになる。エネルギーE、運動量ｐ、静止質量 m、光速ｃの間には次式が成立する。

$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ ・・・・

これら２式よりベータ線のエネルギーが得られる。







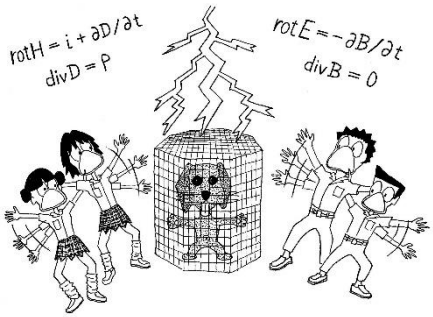
＊本実験は、鳥取環境大学の足利裕人教授に指導していただきました。

生徒が実施した探究テーマ

平成 22 年度

色素増感太陽電池-未来の太陽電池-（1 年）

プラネタリウムを作ろう（1 年）



平成 23 年度

色素増感太陽電池（2 年）

圧力鍋によるカップ麺容器の膨張。収縮メカニズムの研究（2 年）

イオンクラフトの浮上実験（2 年）

ケルビン発電器の製作（2 年）

回折格子で赤外線の波長を測定する（2 年）

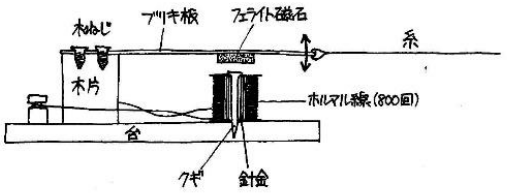
チョークの再生実験（2 年）

円形容器に入れた混ざらない液体を回転させたときの液体の境界面の形状に関する研究（2 年）

ピンポン球キャノン砲の製作（2 年）

平成 24 年度

バドミントンラケットのスイートスポット（2 年）



ガリレオの落下実験（2 年）

ヘルツの生涯とその功績（2 年）

モンキーハンティングの製作（2 年）

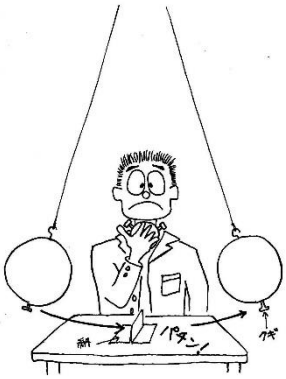
ガウス加速器の研究（2 年）

粉じん爆発の研究（2 年）

ロケットの製作（2 年）

電磁石（2 年）

平成 25 年度



コイルガンの製作（2 年）

テスラコイル（2 年）

バドミントンラケットのガットの張力の及ぼす影響について（2 年）

圧力鍋によるカップ麺容器の膨張・収縮メカニズムの研究Ⅱ（2 年）

活性炭キャパシターの性質（2 年）

色々な物質の屈折率（2 年）

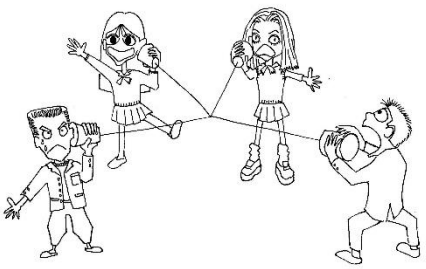
振り子の製作と解析（2 年）

ピンポン球キャノン砲 2013（2 年）

黄色の光-本物とニセモノ-（2 年）

DVD のトラックピッチの測定（2 年）

平成 26 年度



LC 回路（2 年）

水の成分 PIXE 分析を使って（2 年）

活性炭キャパシターの電気量と電解液濃度の関係性（2 年）

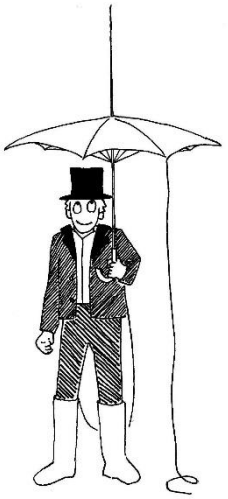
電波検出器を作ってみた（2 年）

無重力下でのろうそくの炎（2 年）

シャトルの空気抵抗と飛行曲線（2 年）

ディスクランチャーの研究（2 年）

ピエゾ石から電圧を取り出せるか？（2 年）　加重力場でのろうそくの炎（2 年）

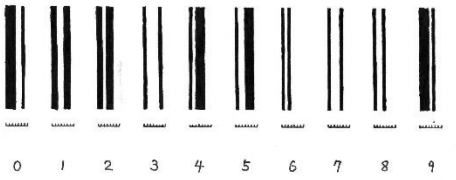


電子レンジの電磁波（2 年）
空洞現象によってワインのコルクは抜けるのか？（2 年）
錬成振り子（2 年）
炭酸豆腐を作ろう！

平成 27 年度（2 年）

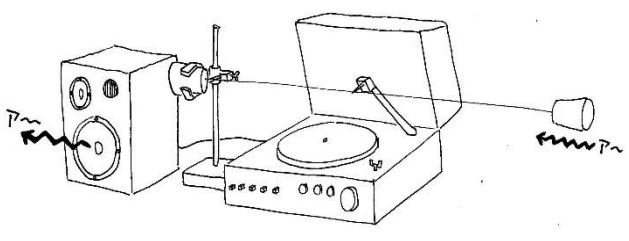
Puzzle & Glass（2 年）
電池、コイルの中を駆ける（2 年）
ストロータワーから見る耐震構造の秘密（2 年）
一人和音！？（2 年）
加重力場でのろうそくの炎（2 年）
活性炭キャパシタの電気容量とイオンの種類の関係（2 年）
月面探査しタイヤん！（2 年）
諦めた色素増感への挑戦（2 年）

電磁誘導（物理同好会）
ワイヤレスコイル（1 年）
遠くまで跳ぼう！（1 年）
空も飛べるはず（1 年）
色素増感太陽電池（1 年）
ホバークラフト（1 年）
クラドニ図形（1 年）
しゃこと円偏光（1 年）
コッククロフトウォルトン回路（1 年）
空手の科学（1 年）

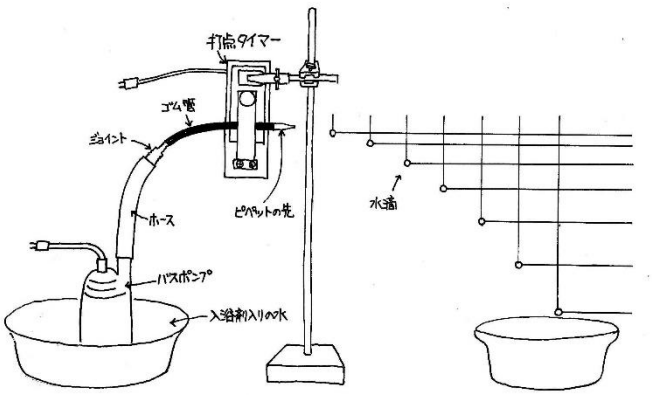


平成 28 年度

圧電素子発電の効率（2 年）
位相差を用いた音速測定（2 年）
イオン風を大きくする要因（2 年）
世界初のモーターって？（2 年）
活性炭キャパシタ静電容量に及ぼす電解液のアルコール濃度（2 年）
ワイヤレス送電（物理同好会）
コイルガン製作（2 年）
位相差を用いた光速測定（2 年）
パスタ橋（2 年）
金属の摩擦係数について（2 年）
ケルビン発電（2 年）
振動発電（2 年）

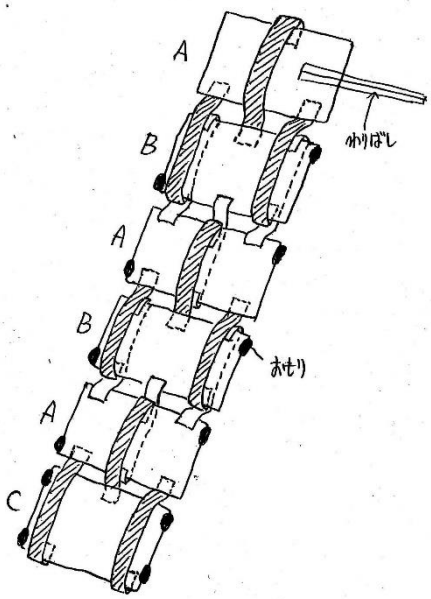


コイルガン（物理同好会）
飛びやすい翼（1 年）
パスタ橋（1 年）
充電池を作る（1 年）
骨伝導スピーカー（1 年）
ローレンツカ（1 年）
ペットボトルロケット（1 年）
トランプタワー（1 年）
電磁石と磁力（1 年）



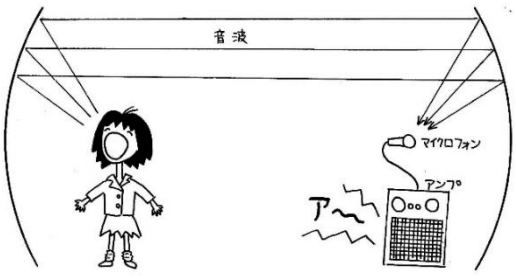
平成 29 年度

圧電素子を用いた音速測定（分子量や圧力と音速の関係）
位相差を用いた光速測定
水スターリングエンジンの動作特性
電解液への酢酸の添加が活性炭キャパシタの静電容量に及ぼす影響
ソフトテニスボールの空気圧とバウンドの変化
ロケット羽と空気抵抗
風車の羽の枚数と回転数の関係
パスタ橋
音力発電
赤外線の反射
見えない世界　空気抵抗係数K
三朝温泉のα線の観察
磁場中のβ線の等速円運動
人形峠のウラン坑道について
電磁推進船（物理同好会）
放て！レールガン（物理同好会）



平成 30 年度

バドミントンラケットのガットの太さと反発係数の関係
水スターリングエンジンの動作特性
圧電素子を用いた音力発電
硬式野球ボールの含水量による反発係数の変化
パスタ橋を用いて耐震構造を考える
密閉容器における遮熱シートの位置と温度上昇の違い
位相差を用いた光速測定
気体で音を屈折させてみよう
紫外線の反射
サボニウス型風車
オーロラの発生と変化



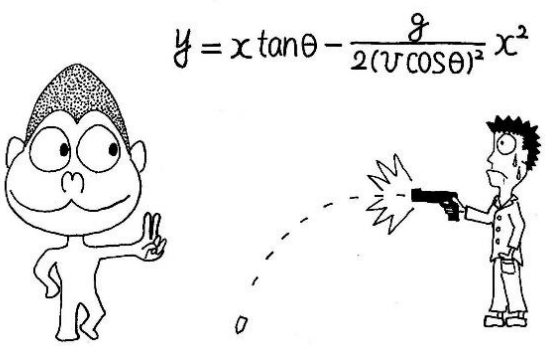
令和元年度

最強の空気法を作ろう
テーブルクロス引きを成功させる方法
バスケットボールゴールの四角い枠の物理的意味

水中コイン落とし百発百中
浮遊する水滴（水滴の半径と終端速度）
音でグラスを割ろう
紙飛行機翼面加重と飛行距離の関係
バドミントンラケットのガットのヤング率と反発係数の関係

令和２年度

ミルククラウンの形状と表面張力の関係
古代の武器に迫る（スリング）
衝撃緩和グランプリ（ヘルメットの代用）
熱と磁力の関係（ネオジム磁石の弱点）
瓶から出る不思議なトクトク音
ノイズキャンセル（金属板とスポンジ）
よく回るコマをつくるには
マグナス力と流体の温度の関係
おむすびころりん（斜面を転がる物体の加速度の研究）

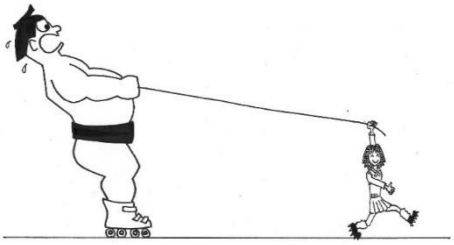


令和３年度

釣り糸人工筋肉の研究
ノコギリ楽器の響く長さ
日本東西家電対決（50hz と 60hz の違い）
トクトク音と音の変化の条件
星からのメッセージ（回折格子で星を撮影することで何がわかるか）
柱の配置とグラグラ度
びしょびしょフリクション

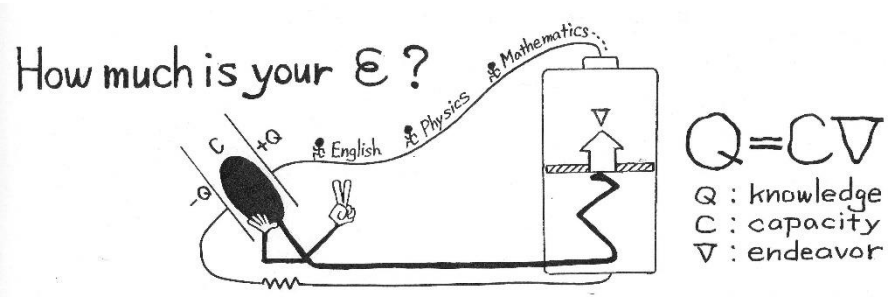
令和４年度

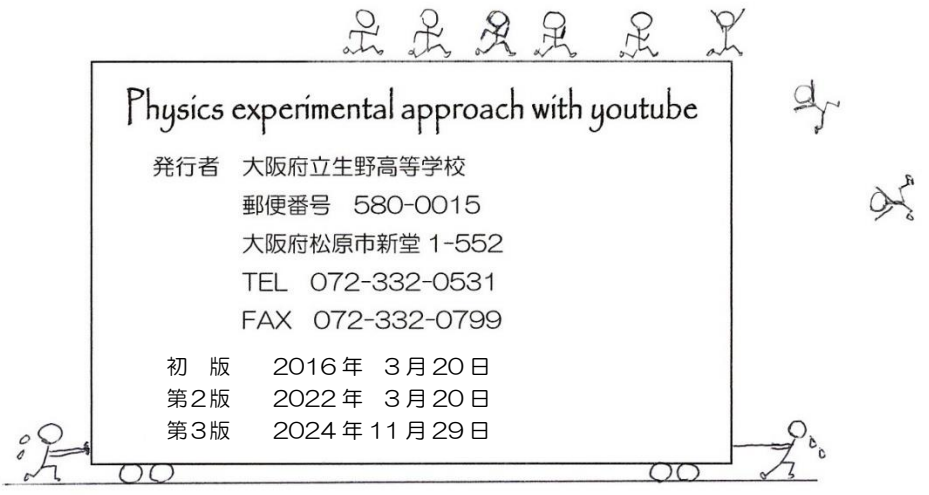
濡れた紙を極限まで復元しよう！
ダヴィンチ橋　～橋の構造と耐荷重の関連～
隕石でクレーター作ってみた！？
トラス構造に関するパスタ橋の研究
靴底の模様による摩擦
紙が持つエネルギー
びしょびしょフリクション２
ジェンガの必勝法



令和５年度

【学際班】ペットボトルキャップ飛ばしの物理的解析
ミルククラウンと角の数の規則性
布の構造と吸水性の関係
紙も強いんです！！！
糸電話に合う素材
【学際班】なめらかに曲がるレーザー光の学際的研究（物理的実験と数学的解析）
びしょびしょフリクション３





Physics experimental approach with youtube

発行者　大阪府立生野高等学校
郵便番号　580-0015
大阪府松原市新堂 1-552
TEL　072-332-0531
FAX　072-332-0799

初　版　2016年　3月20日
第2版　2022年　3月20日
第3版　2024年11月29日