

2007/9/22～9/23

2007年度 本郷祭

本郷中学：高等学校
科学部

科学部ホームページ <http://hongo-sci.hp.infoseek.co.jp>

目次

ホバークラフト	2
マクスウェルのコマ	4
空気砲	6
粉塵爆発	9
渦電流	10
バブロケット	14
放電	17
飛行船	20

ホバークラフト

【実験目的】 わずかな力で大重量の物体を動かせる「ホバークラフト」を作る。
そして、その原理を考察する。

【ホバークラフトとは】

ホバークラフトとは地面すれすれに上がり、地面との摩擦をなくして移動する乗り物である。

当科学部のホバークラフトは掃除機のコイルを使用している。

【浮く原理】

このホバークラフトの動力は掃除機の後ろから出る排気だ。

掃除機で人を浮かせることはできない。ではなぜホバークラフトは浮くのだろう。

それは「圧力」によって、掃除機の排気の何倍もの力を引き出しているからだ。

〈圧力〉

圧力とは、物がふれ合うとき、ふれ合う面の 1 cm^2 あたりを垂直に押し合う力。

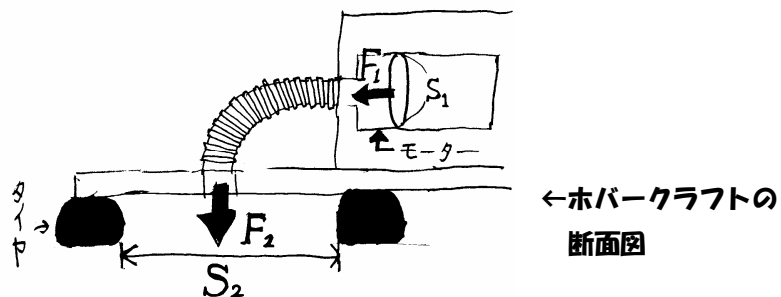
式で表すと以下のようなになる。

$$\text{圧力} = \frac{\text{面を垂直に押す力}}{\text{力がはたらく部分の面積}}$$

〈ホバークラフト〉

ホバークラフトの断面は下の図のようになっている。

ホバークラフトが浮くとき、モーターの部分とタイヤで囲まれた部分の圧力が同じになる。



その状態を前ページの式で表すと

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

両辺に S_2 をかけると

$$F_2 = \frac{S_2}{S_1} \times F_1$$

$S_2 > S_1$ なので $F_2 > F_1$ と言える。

よって、掃除機の排気よりも大きな力を取り出すことができるので、ホバークラフトは浮く。

マクスウェルのコマ

- 原理

まず普通のコマが傾けて回した時どのような運動をするのかを考える。普通のコマは傾けて回すと、図1の様に軸ごと支点を中心にして回る。この様な運動を歳差運動と呼ぶ。

次にコマの様に回転している物体の運動を図に表す為に、まず回転の向きを回転の軸を線で書いて表現することにする。次に右回り、左回りという回転の方向を表すのに矢印の向きを使うことにする。この際に右ねじを回した時に進む方向に従って矢印の向きを決める。最後に速い、遅いといった回転の勢いを矢印の長さで表すことにする。この様にしてできた図2の様な矢印を角運動量ベクトルという。

普通のコマは重心が支点よりも上にある。その為傾けてコマを回すと重力はコマの先端を中心にコマ全体を倒す方向に、つまり図3の点線をたどる様に回転させようとする。その回転を角運動量ベクトルで表すと図3の様に点線の回転面に垂直で斜め右奥の向きの矢印で表されることになる。

次にコマが左回転しているとするとコマの元々の回転の角運動量ベクトルは図2の様になる。これに重力による回転の角運動量ベクトルを加えるとコマ全体の角運動量ベクトルは図4の様に少し斜め右奥の矢印になる。コマの軸と矢印は一致するのでコマは常に

斜めに運動しコマの先端を中心に回転することになる。この場合は左回りに回転するが、コマ

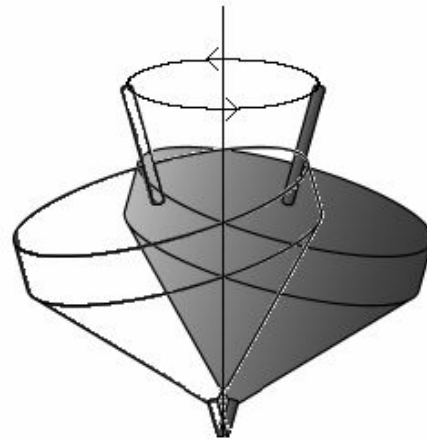


図1

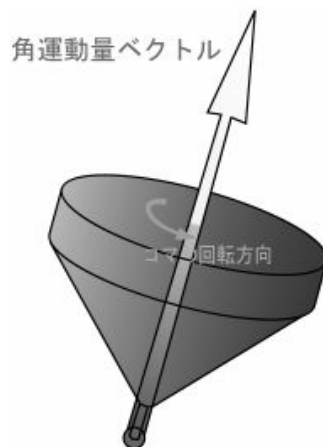


図2

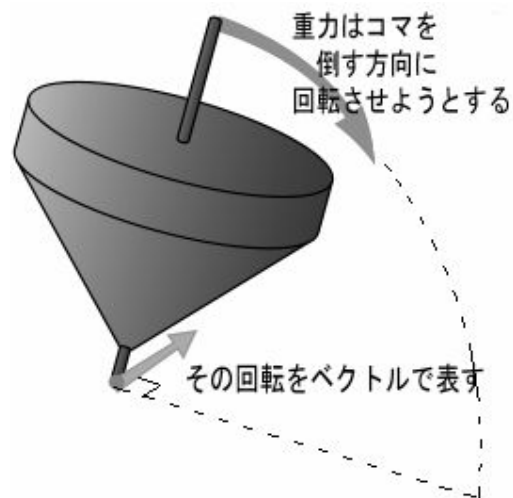


図3

が右回転の場合逆に回り、重心が下にある場合にも逆に回る。コマ自体の回転の勢いが落ちてくると重力の影響の方が大きくなり徐々に歳差運動が大きくなる。

しかし歳差運動が起こらないコマもあります。それをマクスウェルのコマと言います。では何故マクスウェルのコマは歳差運動をしないのか。それは重心が支点と同じ位置にあるので、重力によってコマを倒そうとする回転がかからない為、角運動量ベクトルが変化しないからである。

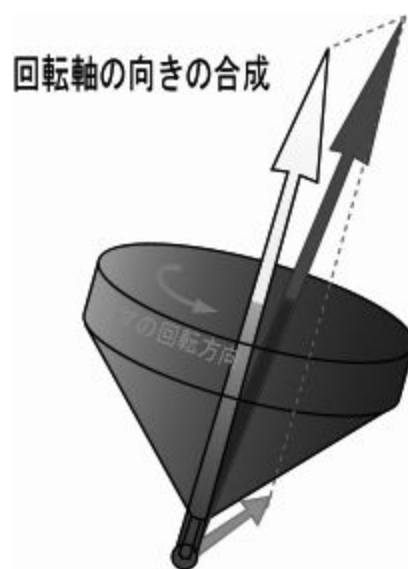


図 4

● 作り方

では実際にマクスウェルのコマの作り方を説明する
材料…ペットボトル・ペットボトルのキャップ・竹串・
ビニールテープ

- ① キャップの真ん中に穴を開ける
- ② ペットボトルを横にまっすぐ切る
- ③ ペットボトルの切り口をビニールテープで覆う
- ④ キャップをペットボトルに付け、先端が下を向くように竹串をキャップの穴に通す
- ⑤ 竹串を上下に動かして、傾けて回しても動かないようにする（この際コマを左回りで回した時にコマが左回りに歳差運動した場合竹串を上を動かして調整する。右回りに歳差運動した場合は逆にする）



図 5

空気砲

1、目的

前年から測定を行っている空気砲についてさらに調べ、発展的な内容として、今回は、空気砲の輪の飛距離を測定をする。

2、昨年度の成果

空気砲について

空気砲とは、テレビでも有名なダンボールに穴を空けた装置のことです。ダンボールを叩くことで中から空気の輪が飛び出ます。空気の輪は他にも遠くまで届くという性質も持っています。

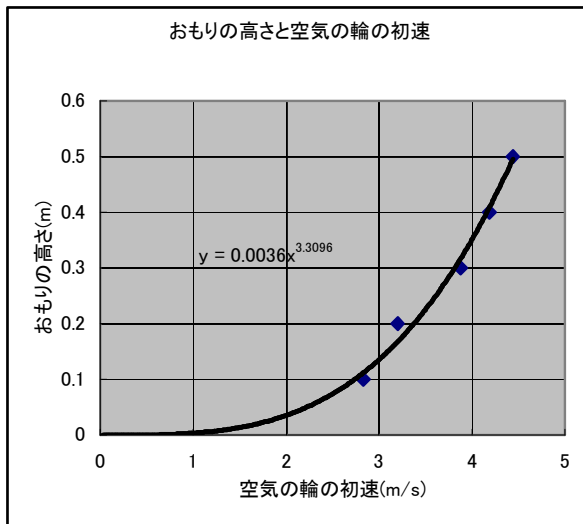
空気の輪について

空気の輪の出る輪の形を変えたらどうなるのか？このことを調べるために星形、三角形、三日月形、円を二つ空けたもので実験した。結果、星形、三角形の様に円形から大きく離れていない形は多少出来難くなるが円形になった。三日月形は円から離れている形のためか、輪ができなくなった。二つ穴は、二つの空気の輪がぶつかり合ったときに一つの大きな輪になった。

空気の輪の初速について

空気の輪の初速は、下の図のようになった。(初速の単位はm/秒) この図から、空気の輪の初速は、重り(500g)の落とした高さ(加えた力)が増えるに従って初速が上がっていることが確認できる。

おおよその数値で書くと、おもりの落とした高さ=初速 $\times 0.0036^{3.3}$ (0.0036を3.3回掛けたもの。)の公式が出すことができた。



3、今年の結果

道具

空気砲 (縦 40cm 横 41cm 高さ 40cm アクリル板使用 直径 20cm の円形の穴)

裂いたスズランテープをつけたビニールテープ

500 g ・ 1000 g のおもり

巻尺 ・ 定規

実験目的

おもりの重さと落とす高さを変えたら、空気砲の飛距離を測定する。

実験方法

- ① 空気砲を設置する。
- ② 空気砲から一定距離の所にテープをつける。
- ③ おもりをあらかじめ決めておいた高さから落とす。
- ④ テープに衝いたスズランテープの動きから空気砲が届いたかを観察する。
- ⑤ テープが動いたら 1メートル遠くにずらし、数回行って動かなかったら少し手前にずらす。
- ⑥ ③～⑤の繰り返し。
- ⑦ 最終的に結果から飛距離を推測する。

実験結果

①500 g ・ 20 c m ②500 g ・ 10 c m ③1000 g ・ 10 c m

8m	○	7m	○	8m	○
9m	○	8m	○	9m	○
10m	○	9m	○	10m	○
11m	○	10m	×	11m	○
12m	○	10.5m	×	12m	○
13m	○			13m	△
14m	○			12.5m	△
15m	○			14m	△
16m	○				
17m	×				
16.5m	△				

①は約 16～16.5m。②は 9～9.4m。③は測定失敗だった。

おもりの高さを 2 倍にすると飛距離も約 2 倍になった。

③の失敗原因を調べるために空気砲の中に煙を入れてみたところ、おもりの衝撃で空気砲本体がずれて壁や床に空気の輪がぶつかっていたことがわかった。

また、比較実験として、ドライヤー（1200w）を使った実験も行ってみた。

3m	○
4m	○
5m	○
6m	×
5.5m	×
5.4m	×
5.3m	○

ドライヤーは 5.3～5.35m ぐらいまで風がとどいていると考えられる。

4、考察

今回の実験でおもりを落とす高さや飛距離は比例の関係があるらしいことがわかった。過去の実験のデータからおもりを落とす高さや初速はなんらかの関係があると推測される、また、上記の通りに空気砲の輪は遠くまでとどくことが立証された。これは、ドライヤーが空気の渦が出来ていないことが原因と考えられる。次回以降の実験は空気砲本体がおもりの衝撃でずれなくする方法を考え正確な実験を行い飛距離に関する公式調べていきたい。

粉塵爆発

[はじめに]

粉塵爆発とは、炭鉱や化学工場などで起こる一種の爆発現象のことで、1回の事故で多数の死傷者を出す危険な爆発である。これまでに、この粉塵爆発が原因で起きた事故が過去に起きている。

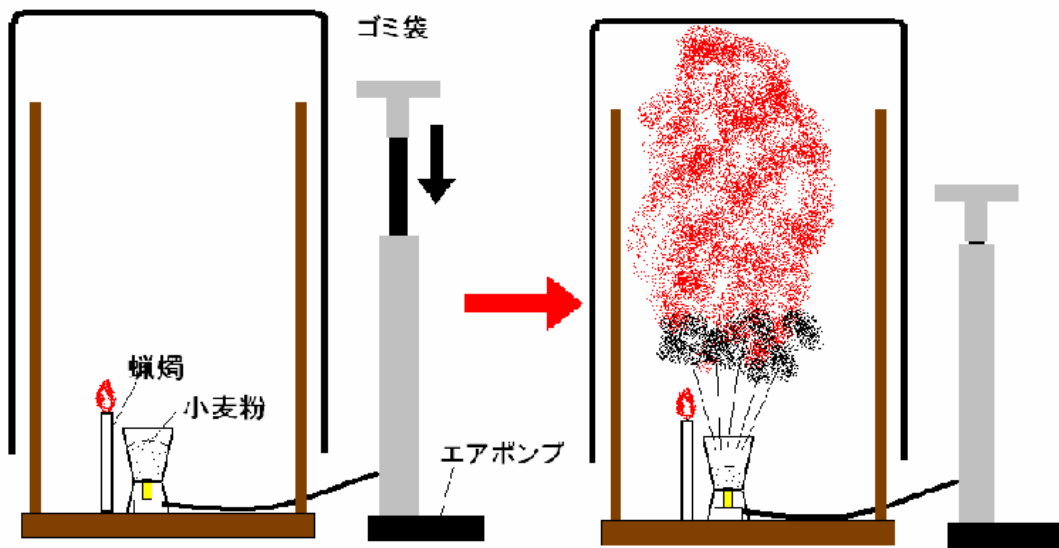
- ①1878年、ミシシッピ州・ミネアポリスのワッシュバーン製粉所で小麦粉による粉塵爆発。18名が死亡。
- ②1899年、豊国炭鉱にて日本発の炭塵爆発事故が発生。死者 210 名を出す大惨事となり、以後、炭鉱内での対策が進むことになった。
- ③1963年、三井三池炭鉱三川坑で炭塵爆発が発生。死者 458 名、一酸化炭素中毒患者 839 名を出す戦後最悪の炭鉱事故となった。
- ④2007年、新潟県上越市の信越化学工業の工場で爆発事故が発生した。現在、粉塵爆発の可能性があるとされている。

[目的]

粉塵爆発を小さな装置で実際に起こし、どのくらいの爆発が起こるかを観察する。

[原理]

ここでは小麦粉を例にとって考える。小麦粉の山にガスマッチの炎を近づけると、黒くこげるとは、火が点く事はない。そこで下図の様な装置で小麦粉を空気中に飛散させると、小麦粉は空気中で細かい粉塵となる。粉塵は、塊の状態に比べて体積に占める表面積の割合が大きくなり、また空気中に飛散させる事で周辺に多くの酸素が存在する事になる。すると装置中にある蠟燭の火が飛散している粉塵全体に燃え広がり、激しい燃焼反応が起きるのである。また実際の実験では、図のような巨大な火柱が発生した。



図

渦電流

去年、一昨年に引き続きアルミ板を強力な磁石の間に通し、その前後の速度を計測することで、渦電流が発生する位置を特定しようと試みてきた。

<実験>

前回と同じく、誘導電流が大きくなるとアルミ板が受ける力が大きくなることに着目し、アルミ板に様々な切れ込みを入れ、力の大きさの測定を行うことによって流れる電流の強さを求めた。

今回は、滑走体自体に渦電流が発生してしまうことを考慮して、アクリル板をアルミ板の下に置き、実験器具は図1のように配置した。

この際使用したアルミ板は図2の12種類である。また、分割した際の隙間はセロハンテープで留め、実験を行った。

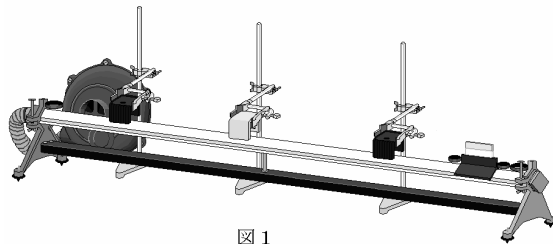
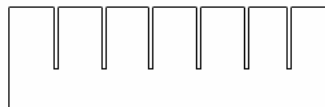


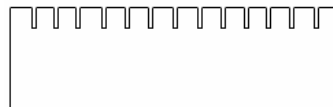
図1



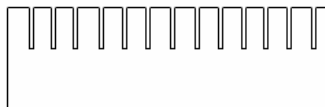
① 無地 (縦25mm 横100mm)



② 切れ込み15mm 6個



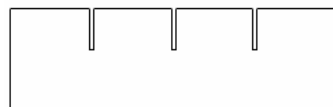
③ 切れ込み5mm 13個



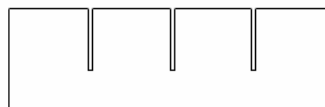
④ 切れ込み10mm 13個



⑤ 切れ込み15mm 13個



⑥ 切れ込み10mm 3個



⑦ 切れ込み15mm 3個



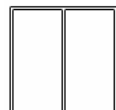
⑧ 縦2分割



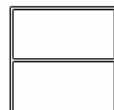
⑨ 縦4分割



⑩ 横2分割 上縦4分割



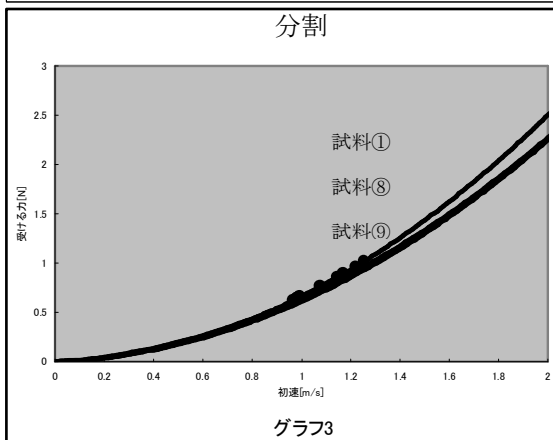
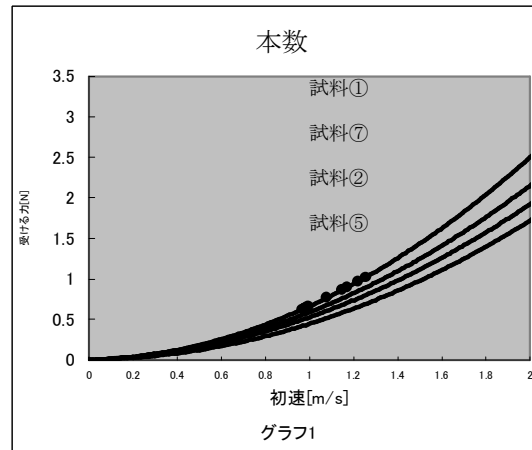
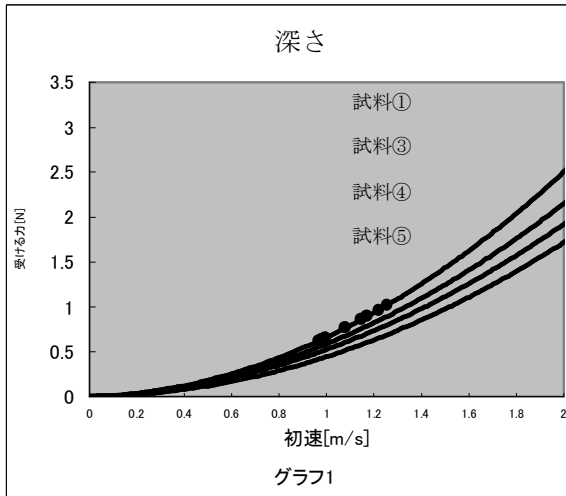
⑪ 縦2分割(縦、横25mm)



⑫ 横2分割

<結果>

今回は切れ込みの深さの変更に加えて、本数、分断する回数を変更しながら計測を繰り返した（グラフ 1～3）。なお、グラフには試料①にのみ実験値を表示し、ほかの試料は近似曲線だけを表示した。



- これにより、
- ①切れ込みの本数が増えるほど、発生する力は弱くなる。
 - ②切れ込みを深くするほど、発生する力は弱くなる。
 - ③分断するほど、発生する力は弱くなる。

これにより一つの仮説が立った。これは、切れ込みを入れるとその切れ込みの間で一つずつ渦を作り、同時に切れ込みの下端からアルミ板の下端まででまた

渦を作る（図 3）というものである。ただし、図では流れる電流を 1 本としているが、実際は無数に流れていると考えている。つまり、本数を変えることで縦に流れる電流が変化し、深さを変えることで横に流れる電流が変化すると言える。

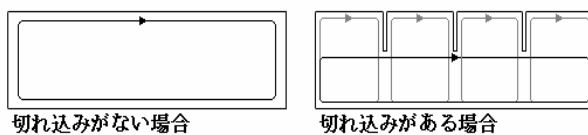
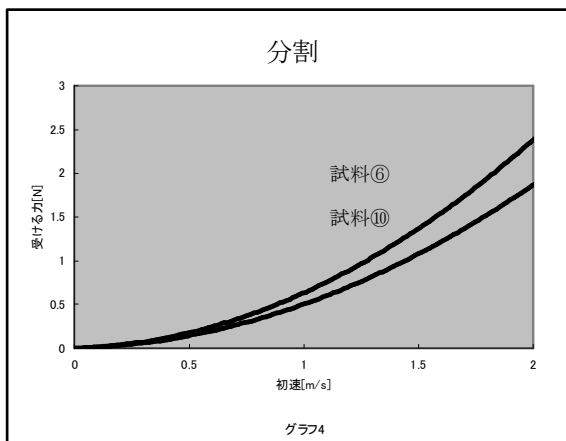


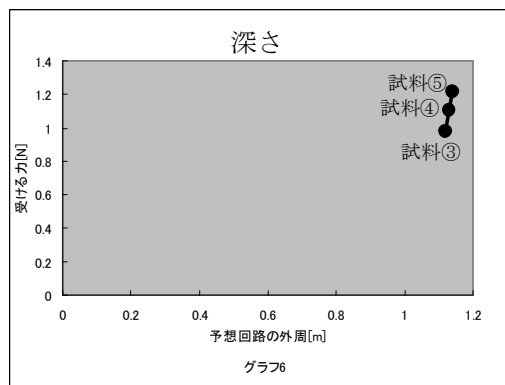
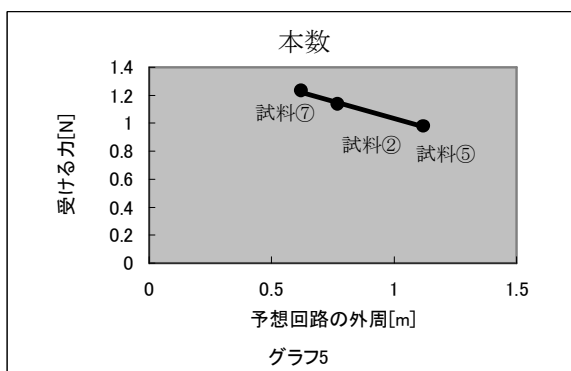
図 3

試料⑩が試料⑥よりも受ける力が少なくなった。これは横に分断されたことで縦に流れる電流が途切れたためだと考えられるので、この仮説はより確かなものになった。

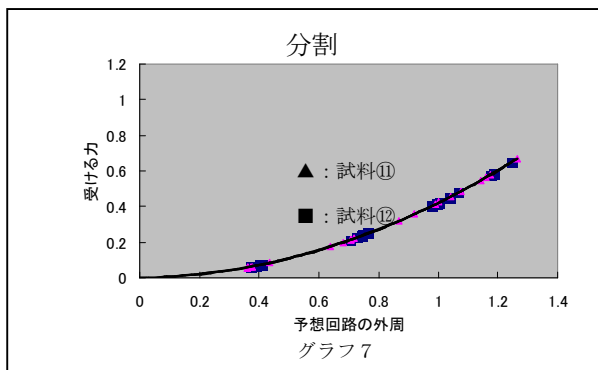


また、この予想回路の外周(図 3 に描かれている電流の流れの合計)を X 軸に、近似曲線から得られた初速 1.5[m/s]の時に受ける力の大きさを Y 軸にとると、グラフ 5,6 のようになった。

これを見てわかるように、グラフ 5 では、予想回路の外周が大きく変化しても、受ける力があまり変わらないのに対し、グラフ 6 では予想回路の外周がわずかに変化しただけでも受ける力は大きく変わっている。



ここから、回路を縦に流れる電流と横に流れる電流で受ける力が違うのではないかと予測した。それを確認するため、試料⑪と試料⑫を用意し、比較した。これにより、我々の



の予測回路の電流において、縦に流れるものと横に流れるものの本数の増え方で受ける力にどれほどの違いが出るかを確認できる。

すると、結果はグラフ 7 のようになった。見てわかるとおり、グラフがほぼ同じになり、受ける力に大きな違いは見られなかった。これは、横に流れる電流と縦に流れる電流にそれ程違

いはないことを示している。そのため、予測と違う結果から、実験が滞ってしまった。

<考察>

この結果により、予測が間違っている可能性が浮上した。そのため現在、エナメルで今の予想回路の形を製作、アクリル板に貼り付けて計測を続けている。その結果から、新たな予想回路を決める心算である。

バブロケット

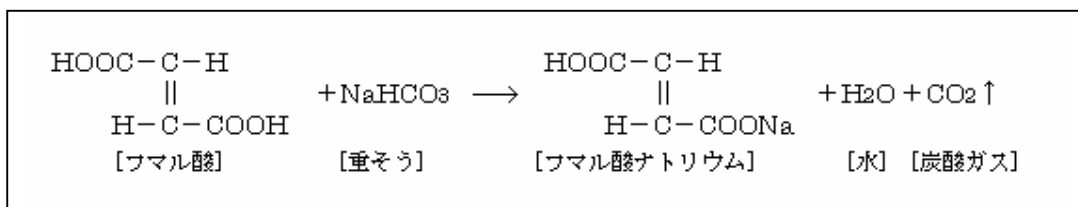
バブロケットとは、フィルムケースの中に水と入浴剤のバブを入れてふたをすすると、しばらくしてふたが勢いよく飛ぶというものである。

<目的>

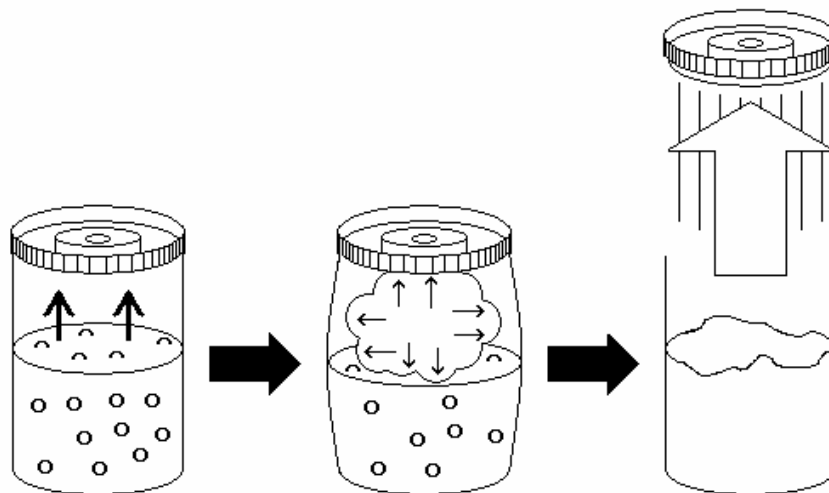
バブロケットを利用し、フィルムケースにのふたにかかる力やバブと水の割合による気体の発生量の違いについて考察する。

<原理>

バブは水のなかで溶け、炭酸ガス（二酸化炭素：CO₂）を発生させる。水の中では、下のような化学反応が起きている。

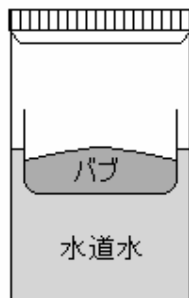


発生した炭酸ガスによりフィルムケース内の圧力が上がり、耐えられなくなったふたが勢いよく飛ぶ。



<実験>

粉末にしたバブは水に触れるとすぐに反応が始まってしまうため、バブを直接水の入ったフィルムケースに入れてからふたを閉めるのでは、正確な反応の時間を計測することができない。そこで下の図のように、細かく砕いて粉末状にしたバブを入れた小さなカップを水に浮かべてからふたをし、フィルムケースを振るまで水とバブが反応しないようにして実験を行った。



<1>—バブの量とふたの飛ぶ高さの関係—

20ml の水道水を入れたフィルムケースに、0.5 g、1 g、1.5 g、2.0 g のそれぞれの重さのバブを入れて反応させ、ふたが飛ぶ高さを計測した。

<2>—バブの量と発射までの時間の関係—

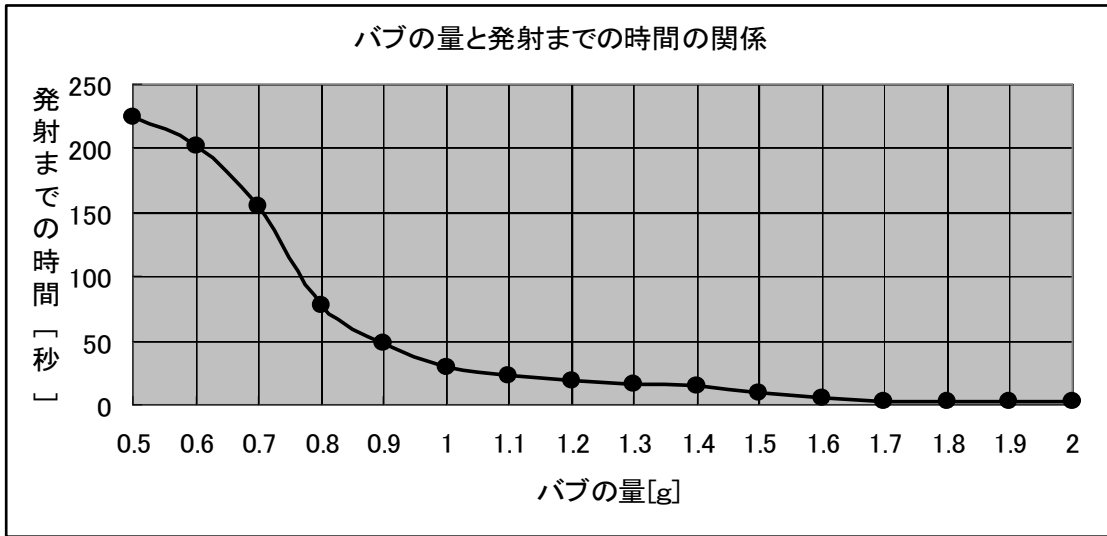
20ml の水道水を入れたフィルムケースに、重さを量り取ったバブを入れたカップを浮かべてふたをする。そのフィルムケースをすばやく上下に3回振った瞬間から、ふたが飛ぶまでの時間を計測した。バブは、0.1 g～2.0 g まで、0.1 g ずつ重さを変えて計測を行った。

<結果-1>

ふたの飛ぶ高さは、バブの量に関わらず全てがほぼ 3m だった。

<結果-2>

バブの量と発射までの時間の関係は次のようなグラフになった。縦軸はふたが飛ぶまでの時間で、横軸は入れたバブの重さである。0.1 g～0.4 g は、時間がたってもふたが飛ぶことは無かった。なお、それぞれの値は複数回計測した結果の平均の値である。



<考察-1>

ふたの飛ぶ高さ、つまりふたの初速度が等しいということは、ふたに加わる力積が等しいということになる。フィルムケースのふたの質量を m 、飛ぶ前の速度を v 、飛ぶときの速度を v' 、気体がふたを押す力を F 、気体がふたを押し出す瞬間の時間をと t すると、それぞれの関係は次のような式で表せる。

$$m v' - m v = F t$$

力積 $F t$ が等しく、 t は一定なので、力 F が一定と言える。フィルムケースのふたの面積は常に一定なため $\frac{\text{力}}{\text{面積}}$ で表される圧力が一定になる。つまり、ふたが飛ぶ直前のフィルムケース内の圧力は、バブの量に関わらず一定である。

<考察-2>

グラフから、入れるバブの量が増えると、同じようにふたが飛ぶまでの時間が短くなることが分かった。つまり、バブの量が増えれば短時間でより多くの炭酸ガスが発生するということである。0.1g ~ 0.4g では、炭酸ガスは発生したがその量が少なかったため、ふたが飛ぶほどフィルムケース内の圧力を上げられなかったようだ。

<考察-まとめ>

フィルムケース内に入れるバブの量は、ふたの飛ぶ高さ（ふたの初速）には関係なく、ふたが飛ぶまでの時間に関係することがわかった。このふたが飛ぶまでの時間は、ふたが飛ぶ直前の圧力になるまで炭酸ガスを発生させるのにかかる時間なのである。

放電

【はじめに】

放電とは通常の状態では絶縁体である物体に高電圧を印加したとき、電極の電子が電場で加速され気体分子に衝突してイオン化すると、イオン化で出来た電子も加速され、次々に分子をイオン化し、電子の数がねずみ算的に増加する。そのため荷電粒子が急激に増えて大きな電流が生じることである。これを放電という。

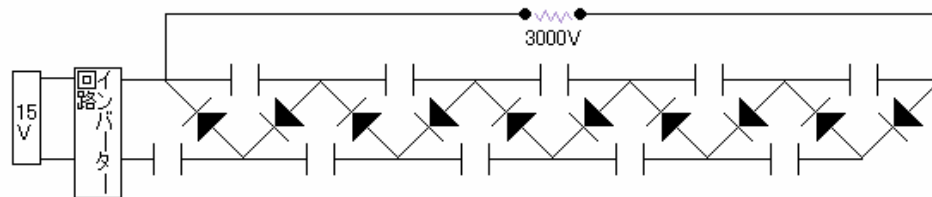
【目的】

放電によって起こる影響と、さまざまな放電の種類を観察すること

【実験】

1.放電を起こすための高電圧の発生装置

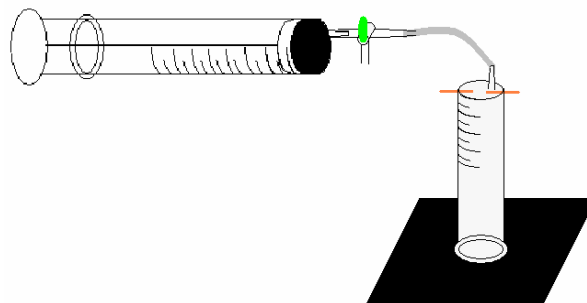
この装置は市販されている蛍光灯のインバーター回路にコッククロフト・ウォルトン回路をつないだもので、次のような回路になっている。



15Vの電源はまず蛍光灯のインバーター回路によって300Vになる。その300Vがコッククロフト・ウォルトン回路を使って10倍の3000Vに昇圧されている。

2.真空放電装置

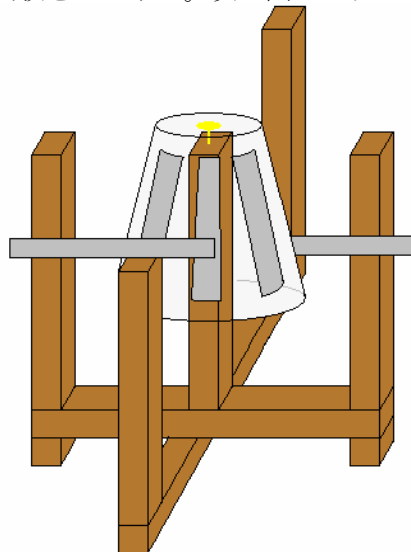
これが簡易的な真空放電装置である。



三方コックで大きな注射器と小さな注射器を繋ぎ、大きな注射器のピストンを引いて小さい注射器内の気圧を下げる。次に三方コックで大きな注射器と外部を繋ぎ、大きな注射器を再び空気を吸入できるようにピストンを元の位置に戻す。これを繰り返すことにより小さい注射器内の気圧が徐々に下がっていく。そのため小さい注射器に取り付けた電極から出る放電が、火花放電のような断続的な放電から気圧が下がるごとにグロー放電に変わって行くというものである。

3. フランクリンモーター

フランクリンモーターと呼ばれるよく静電気を使って回しているモーターを、高電圧発生装置を使って回す実験をしてみた。次の図がフランクリンモーターの図である。



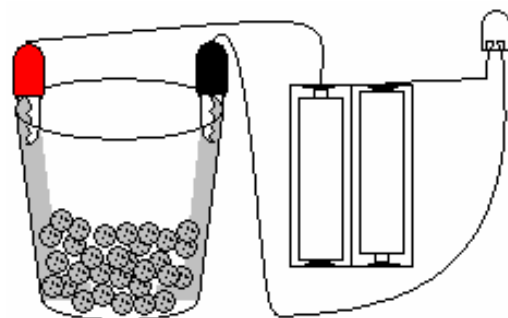
では、なぜフランクリンモーターが回るのかを説明する。

まず高電圧発生器からきた負電荷はブラシの部分にたまり、その電荷は回転子のアルミ箔の正電荷と引き合って回転し始める。そしてブラシと回転子が接触したときにブラシに沢山たまっている負電荷を回転子のアルミ箔に渡す。すると今度は、アルミ箔に渡った負電荷はブラシの負電荷と反発しあって、ブラシがさらに回るといふ仕組みになっている。

4. コヒーラ

次に放電の発生によって何が起きているのかを調べてみた。

まずこの高電圧装置を使って放電している際に、独特なおいを持つ気体が発生する。これはオゾンと呼ばれるもので、最近問題になっているオゾン層を作っていたり、よく衣服や靴の消臭や水道水の殺菌などに使われていたりしている。その他に起きていることを確かめるため、コヒーラと呼ばれるコップの中に電極を取り付けて、丸めたアルミホイルを入れた装置を作って放電中に何が起きているのかを調べた。次の図がコヒーラの図である。



このコヒーラと呼ばれる装置は放電から電磁波が出たことを、簡単に確認することができる。コヒーラがスイッチとなるように回路を組んで繋いでみると、そのままでは何も起こらないが、隣で放電を起こすと突然電気が流れるようになり、コヒーラを動かすと止まってしまう。

なぜこのようなことが起こるかという、そもそもアルミニウムのような酸化しやすい金属は、常に薄い酸化膜が表面を保護している。そのためアルミ箔同士が接触しても酸化膜には電気がほとんど通らないが、放電によって発生した電磁波によって、酸化膜が破られて、アルミ同士で接触する事により電気が流れるようになる。ところがこのとき振動を与えると、破れた酸化膜が接触していた場所が変わる。前の場所は再び酸化して接触しただけでは電気が通らなくなるため振動を加えるとまた動かなくなってしまうのである。この装置は昔、コヒーラ検波器として、電磁波による通信実験などに利用されていた。

【今後】

フランクリンモーターの回転子を作る際に最初回らなかったのだが、回転子のアルミ箔を半分にして貼り付けたところ、回るようになりさらに細くするとより速く回転した。このため、回転子のアルミ箔を細くする、あるいは数を増やすと回転が速くなるようだ。このことについては現在調査中である。

飛行船

1.はじめに

この実験は、飛行船の原理を用いた実験である。

2.目的

学校の外で見かける飛行船は、どのようにして飛んでいるのかを理解して、実際に実験してみる。

3.原理

ヘリウムや加熱空気のように空気より軽い気体を袋に詰め、それに働く浮力を利用するもので、推進装置を持つ飛行船と持たない気球とがある。

4. ヒンデンブルク号爆発事故

1937年に大西洋横断航路に就航していたドイツのヒンデンブルク号が、アメリカ合衆国ニュージャージー州のレイクハースト空港に着陸する際に、原因不明の出火事故を起こし爆発炎上。この事故の後、航空機（固定翼機）の発達もあり、民生用飛行船は使われなくなっていった。当時、ヘリウムはアメリカでしか生産されておらず、アメリカがヘリウムの供給を拒否したため、爆発の危険を冒しながらも水素ガスを利用していた。そのため、この事故は水素ガスによるものと推測され、水素ガスを使用する飛行船の安全性に対する信用は失墜し、飛行船が使われなくなる原因となった。しかし、NASAの元研究者アディソン・ペインの研究によると、この事故は水素ガス爆発ではなく、ヒンデンブルク号の機体に使われていた布に、酸化鉄と酸化アルミニウムをふくんだ塗料が使われて、これが雷によって帯電、放電によって火がついた、という説を提唱している。

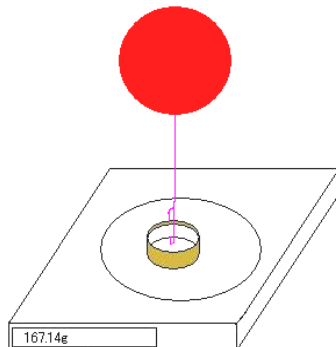
5. 作成

- ・ ヘリウムを入れた紐付き風船
- ・ 電池で動くプロペラのついたモーター
- ・ ボタン電池
- ・ おもり

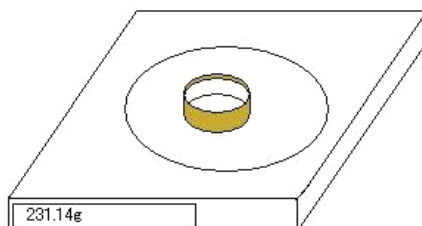
6.実験方法

① 浮力の測定

- (I) まず、風船についている紐にガムテープをくくりつけ、全体の重さを量る。
ここでは、重さは 167.14g 重だった。



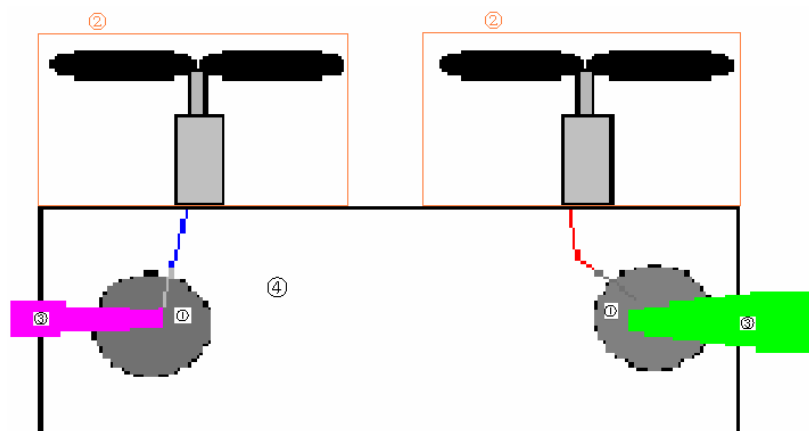
- (II) 次に、ガムテープの重さを量る。ここでは、重さは 231.14g 重だった。



- (III) (I) (II) の差を求める。求めた数値が、浮力である。その結果、ここでは浮力は 64.0g 重だった。

② おもりを取り付ける

- (I) 浮力が 64.0g 重だったので、おもりの重さが 64.0g 重になれば合う。
(II) ここでは、物理実験室に身近にあるものを使って、おもりの質量を 64.0g にして、風船についている紐にくくりつける。



- ① ボタン電池
- ② 電池で動くプロペラのついたモーター
- ③ 洗濯バサミ
- ④ 厚紙

(Ⅲ) 後は、飛ばすだけ。自分の飛ばしたい方向へ飛ばしたいならば、厚紙を少し傾ける。

7.現在の飛行船

最近は、地上と人工衛星とを並ぶ第三の情報通信網として「成層圏プラットフォーム」での飛行船の利用が注目されている。地上 20km の成層圏に大型の無人飛行船を停留させ、無線通信の基地局として用いるというものである。基地局として必要な電力は飛行船上面に取り付けられた太陽電池でまかなう。地上局に比べて広範囲をカバーでき、人工衛星に比べて遅延時間が短く、運用コストが低いという利点がある。

「成層圏プラットフォーム」実用化に向けた取り組みは世界各国でなされており、日本では政府による「ミレニアムプロジェクト」の一つとして、成層圏滞空飛行船を利用した通信・放送サービスが計画されており、北海道大樹町にある多目的航空公園で実験機の飛行試験が行われた。

参考文献・・・Wikipedia（フリー百科事典）<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

2007 年本郷祭 科学部要旨集

発行日 2007 年 9 月 22 日

発行 本郷中学・高等学校科学部

ホームページ <http://hongo-sci.hp.infoseek.co.jp>