

とやま科学オリンピック 2024

分野問題

物理

(高校部門)

2024年8月9日(金)

時間：10時40分～12時10分(90分)

注意事項

1. 指示があるまで問題冊子を開かないで以下の注意事項をよく読むこと。
2. 問題は1のみで、7ページにわたって印刷してあります。
3. 実験はチームで協力して行うこと。他のチームの実験操作を参考にしてはいけない。
4. 机の上に置けるものは、「大会参加にあたって」で定められたものと与えられた実験器具のみとします。
5. 解答はすべて解答用紙に記入、チームで1部を提出すること。
6. 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
7. 観察・実験等にあたっては、安全に十分注意すること。
8. 実験中にけがをしたり、器具の故障・破損が生じたりしたときは速やかに申し出ること。
9. 途中で気分が悪くなった場合や、トイレに行きたくなった場合には、すぐに申し出ること。

みなさんの健闘を期待しています。

富山県 富山県教育委員会

1 実験問題

静電気の力で駆動するモーターの1つに、1750年代に物理学者のベンジャミン・フランクリンらが製作した静電モーター（静電気モーター、フランクリン・モーターともいう）がある。このモーターは力が弱く、かつては実用化に向かないと考えられていたが、近年は開発が盛んになっているマイクロマシンの駆動力として再び注目を集めている。また、小惑星探査機「はやぶさ」も静電気の力を利用したイオンエンジンを搭載しており、静電気に関する技術は科学の発展に大きく貢献している。

そこで、実験1、実験2では、静電気やコンデンサーの性質について考察する。また、実験3では、できるだけ長時間回転する静電モーター（図1）を製作して競技を行う。なお、静電モーターの製作は、実験1、実験2が終わってから行うこと。

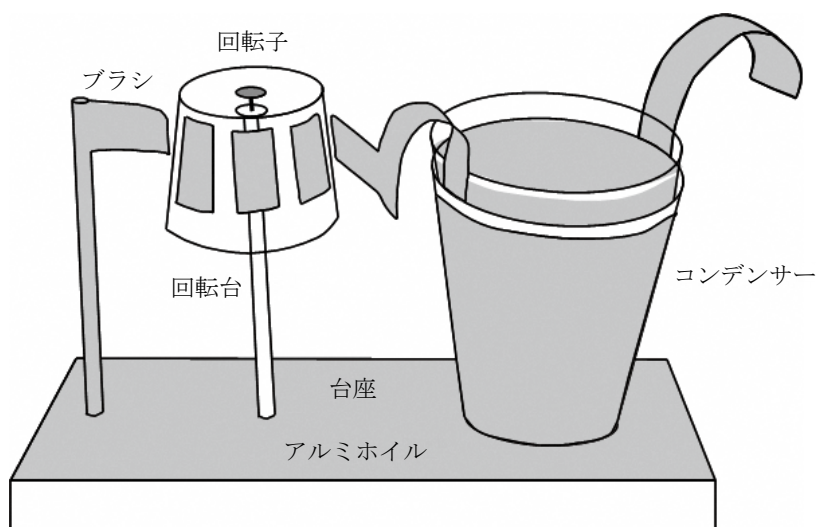


図1

[実験に必要なもの]

- ・アルミホイル(アルミニウム箔) 1個
- ・下敷(塩化ビニル樹脂製) 1枚
- ・乾電池 (1.5V) 2個
- ・スイッチ付電池ホルダー 1個
- ・リード線 2本
- ・電気抵抗 (15Ω) 1個
- ・コンデンサー 1個
- ・直流電流計 1個
- ・ストップウォッチ 1個
- ・グラフ作成用厚紙 1枚
- ・画鋲 1個
- ・ウレタンフォーム 1個
- ・大きさが異なるプラカップ 4種類 各3個
- ・回転台や電極として使える棒状のもの 2種類 各2本
- ・油性ペン 1本
- ・小型電子はかり 1個
- ・セロハンテープ 1個
- ・両面テープ 1個
- ・カッターマット 1枚
- ・カッター 1個
- ・はさみ 1個
- ・電卓 1個
- ・物差し 1本
- ・キッチンペーパー 10枚
- ・軍手 2組 (静電気を扱う実験は感電防止のため必ず軍手を着用)

実験1

静電モーターを回転させる静電気の性質について、次の実験を行い考察せよ。

図2のように、25cm×25cm程度のアلمホイルを机上に敷き、四隅をセロハンテープで固定する。次に、5cm×5cm程度のアلمホイルを手で丸めて直径1cm程度のアلم球を作り、アلمホイル上の中央に置く。

下敷をビニル袋から取り出して、キッチンペーパーでこすりアلم球に近づけ、その動きを観察する。実験は、複数回行う。

次のレポート1を作成せよ。



図2

レポート1

- (1) キッチンペーパーでこすった下敷をア LM球に近づけたとき、観察されるア LM球の動きを簡潔に答えよ。
- (2) ア LM球が(1)のような動きをする理由について説明した次の文章について、()内の適切な語句に○を付けよ。

塩化ビニル樹脂製の下敷は、キッチンペーパーでこすると負に帯電することが知られている。帯電した下敷をア LM球に近づけると、ア LM球内で電子が移動し、ア LM球の表面には、下敷に近い側に(正・負)、遠い側に(正・負)の電荷が現れる。この現象は静電誘導と呼ばれる。帯電した物体同士にはたらく静電気力は、距離が近いほど(大きく・小さく)なるため、ア LM球には(引力・反発力)が生じる。一方、下敷にア LM球が触れた場合、下敷が持つ電子の一部がア LM球に移動する。これにより、下敷とア LM球の間には(引力・反発力)が生じる。アルミニウムは(導体・不導体)であるため、ア LM球が下敷に触れた後に机上のア LMホイルに接触した場合、電子はア LMホイル全体に広がる。これにより、レポート1(1)のような運動が起こる。

※ 実験1を終えたら、机上に敷いたア LMホイルは片付けてよい。

実験2

コンデンサーのはたらきについて、次の実験を行い考察せよ。

図3に示すようなコンデンサーの内部は、2枚の金属板が向かい合わせになった構造をしており、電気（静電気）を蓄えることができる仕組みになっている。電気用図記号では、図4のように表される。

実験は、コンデンサー、電気抵抗、乾電池（スイッチ付電池ホルダー）、直流電流計、リード線を用いて図5のような回路を組み立てる。なお、コンデンサーには+と-の極性があり、足の長い方を+側に接続する。また、a・bの切り替えは、リード線をその都度つなぎ変える。電流計は、500mA端子を使用する。



図3



図4

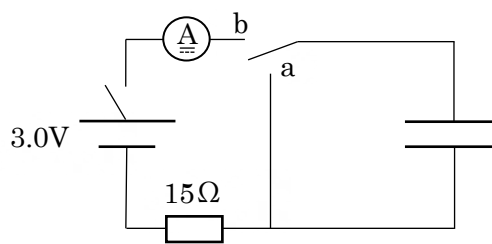


図5

次のレポート2を作成せよ。

レポート2

- (1) 図5のリード線を a に接続し、1分程度待ってコンデンサーに蓄えられた電気を全て放電させる。その後、リード線を b に接続し、スイッチを入れてからの経過時間と電流値の関係を表にまとめよ。なお、実験をやり直す場合は、コンデンサーを全て放電させてから実験すること。また、安全のため実験が終了したら、リード線を a に接続しコンデンサーを全て放電させる。

時間 [s]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
電流 [mA]	※1 200									

時間 [s]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
電流 [mA]										

※1 一般にコンデンサーの内部には抵抗成分があるが、実験2で使用するコンデンサーの抵抗成分は 0.5Ω 以下なので無視する。したがって、スイッチを入れた瞬間(0秒)に回路を流れる電流は、オームの法則(電圧 3V, 電気抵抗 15Ω)からおよそ 200mA となる。

- (2) 電流 I [A] は、単位時間あたりに通過する電気量 Q [C] (単位：クーロン) で定義され、式[1]で表される。

$$I = \frac{Q}{t} \cdots [1] \quad I: \text{電流 [A]} \quad Q: \text{電気量 [C]} \quad t: \text{時間 [s]}$$

式[1]は、 $Q = I \cdot t$ となることから、(1)の実験結果を経過時間と電流値のグラフにすると、その面積がコンデンサーに蓄えられた電気量 Q [C] となる。このことを参考にして、次の①～④の手順でコンデンサーに蓄えられた電気量 Q [C] を求めよ。

- ① 配布した [グラフ作成用厚紙] に、(1) で調べた電流と時間の関係をグラフで表せ。なお、グラフの軸には、電流と時間の名称や単位、スケールを記入しなさい。
- ② 原点とグラフで囲まれた部分の面積 [cm²] を、はさみやカッター、小型電子はかり等を用いて求めよ。また、面積を求める方法及びはさみやカッター、小型電子はかり等を用いる理由を簡潔に説明せよ。なお、厚紙に印刷してある実線の1目盛りは1.0 cm である。
- ③ グラフを元の状態につなぎ合わせ、グラフ作成用厚紙を両面テープで解答用紙に貼りなさい。
- ④ 190 秒間に、コンデンサーに蓄えられた電気量 Q [C] を求めよ。

- (3) コンデンサーに蓄えられる電気量 Q [C] と電圧 V [V] の間には、式[2]が成り立つ。比例定数 C は、そのコンデンサーがどのくらい電気 (電荷) を蓄えることができるかを表す量であり、電気容量 C [F] (単位：ファラド) という。なお、電気容量は、コンデンサー内部の2枚の金属の面積が大きく距離が小さいほど大きくなることが知られている。実験2から、実験で使用したコンデンサーの電気容量 C [F] を推測せよ。

$$Q = C \cdot V \cdots [2]$$

実験3

図1(1頁参照)を参考にして、次の①～④の手順で、できるだけ長時間回転する静電モーターを製作せよ。

台座

- ① 図6のように、ウレタンフォームの上面にアルミホイルを両面テープで貼り、台座を作る。

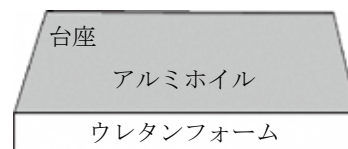


図6

回転子

- ② 適当なプラカップ1つを選び回転子にする。まず、図7のように両面テープを複数本、アルミホイルに貼り、適当な幅と長さで必要な枚数を切り取り、図8のように適当な間隔でプラカップに貼る。次に、図9のように回転軸にするため画鋸をプラカップの中央の底に刺す。

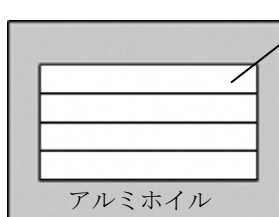


図7

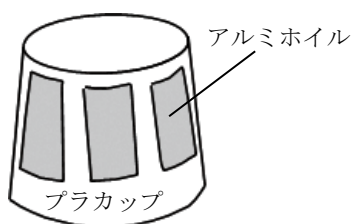


図8



図9

コンデンサー

- ③ 適当なプラカップ2個を選び、図10のように側面と底面にアルミホイルを貼る。アルミホイルを貼ったプラカップ2個を重ね、コンデンサーにする。底面にアルミホイルを貼る理由は、台座と電気が通るようにするためである。次に、図11のようなブラシ^{※2}となる電極Aと集電帯を、アルミホイルを折り曲げて作り、内側と外側のプラカップの間に挟み入れて図12のような形にする。

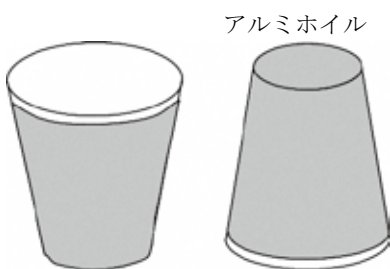


図10

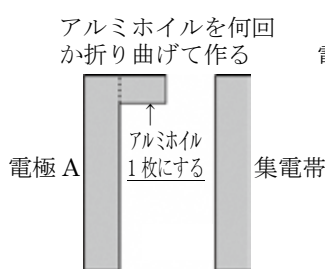


図11

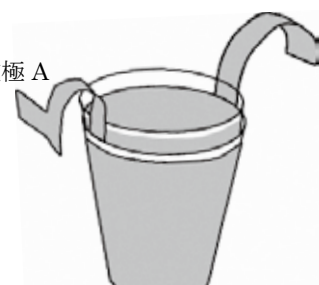


図12

ブラシ^{※2} 回転子に電気を流す電極部分

- ④ 電極Bと回転台にする適当な棒2本を選ぶ。ブラシとなる電極Bは、アルミホイルを用いて台座まで電気が通るようにする。電極Bと回転台の棒を台座に刺し、回転子とコンデンサーを配置する。電極A・Bは、図13のようにブラシとなるアルミホイル1枚ができるだけ回転子に接近するようにし、回転子との接触による摩擦をできるだけ小さくする。

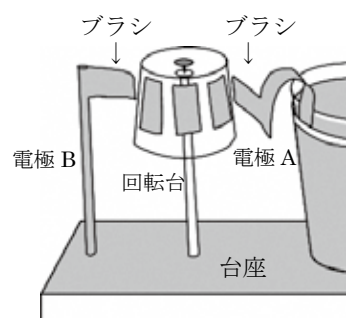


図13

静電モーターが完成したら、実験競技の開始時間まで各テーブルで試行してよい。また、実験競技の開始時間までに、次ページのレポート3（1）、（2）を作成せよ。

実験競技は、以下の手順に従って、11時40分～12時00分に行い、完成した静電モーターで、回転子が何秒間回転するかを競う。

実験競技が終了した後、検査監督の指示に従って、10分間でレポート3（3）を作成せよ。

実験競技の手順

- ・ 検査監督の指示に従って、全チームは装置を競技用テーブルまで運ぶ。
- ・ 実験競技は、競技用テーブルの上で2チーム同時に行う。他のチームは周りで観戦し、表1に回転時間（①：1回目、②：2回目）や装置の特徴等を記入する。
- ・ 実験競技は、まず、コンデンサーを台座から外す。
（検査監督は、放電器を使ってコンデンサーを全て放電させる。）
- ・ 下敷をキッチンペーパーでこすり、静電気を起こし集電帯に接触させ、コンデンサーを帯電させる。この作業を30秒間、複数回繰り返す。
（注意）帯電したプラカップは高電圧になる。素手でプラカップの外側を持った状態で電極や集電帯に触れると、静電気で感電する可能性がある。
- ・ 台座にコンデンサーを置き、ブラシを回転子に近づけると回転が始まる。
- ・ 装置から手を離し、声で計測開始の合図をする。以後、装置に触れてはいけない。
（検査監督は回転時間を計測する。120秒を超えた場合は120秒を記録とする。）
- ・ 実験競技は、各チーム2回行い、回転時間の長い方をチームの記録とする。

表1（各班の回転時間や装置の特徴等を記入する。）

班名	回転時間[秒]	装置の特徴等	班名	回転時間[秒]	装置の特徴等
	① ②			① ②	
	① ②			① ②	
	① ②			① ②	
	① ②			① ②	
	① ②			① ②	

レポート3

- (1) 静電モーターが回転する原理を説明せよ。

- (2) 回転子およびコンデンサーとして、それぞれどのプラカップを選んだか。
また、その理由を説明せよ。

- (3) 製作した静電モーターが回転した時間（秒）を記入せよ。
また、さらに長く回転させるための改善点を簡潔にまとめて3つ答えよ。