

講義内容

前回に引き続きNHK企画 アメリカMIT「ウォルター・ルーウィーン教授による実験物理（1～8回）の内、第3回「電気はどうやってつくるのか」のDVD映像（約90分）観て、その解説、実験、演習問題などを行います。

※マサチューセッツ工科大学 Massachusetts Institute of Technology (MIT) 1861年創立（アメリカ南北戦争勃発）所在 ボストン郊外、ケンブリッジ（ハーバード大学もここ）

講師 物理学名誉教授ウォルター・ルーウィン (Walter H. G. Lewin)

「MIT白熱教室」

第3回「電気はどうやってつくるのか」

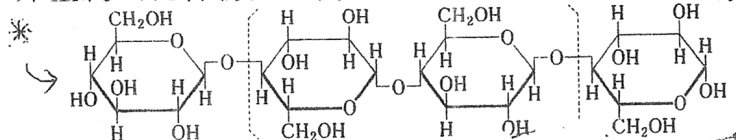
- 1. 電気とはなにか 電気量保存の法則 まさつによる静電気
- 2. 電気の正体
- 3. 電子の流れ 電流
- 4. 静電誘導 誘電分極
- 5. 電気と磁気 電流と磁気

DVD映像を観る前に

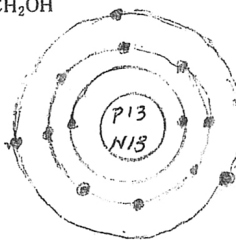
総ての物質は分子からなる、その分子は原子からなり、原子は原子核と電子(e)からなる。原子核は陽子(P)と中性子(N)からなる。結局、この世のどんな物質も電子、陽子、中性子からできていることになる。

- ・物質を非金属（化合物）、金属、電解質に分類してその構造を考えてみる。

非金属（化合物）の例セルロース (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>m</sub>



金属の例 アルミニウム



電解質の例 食塩 NaCl ⇌ Na<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>

- ・帯電列

(正) 一毛皮、フランネル、象牙、羽毛、水晶、ガラス、綿、麻、絹、手、木材、シェラック、金属、硫黄、エボナイトー (負) このうち二つの物体をまさつすると列中の前のものは正に、あとのものは負に帯電する。また列のなか二つの物体がで離れているほど強く帯電する。

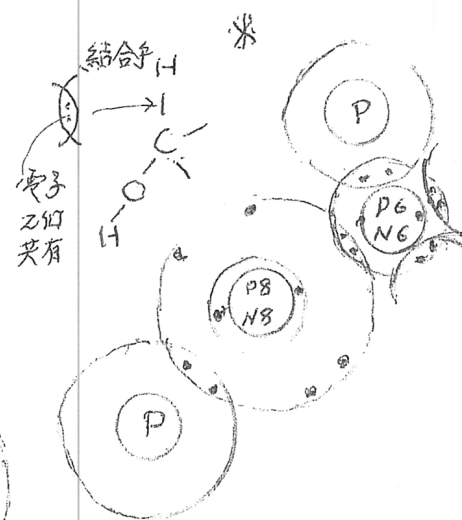
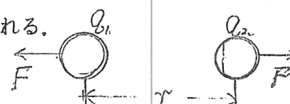
- ・クーロンの法則

2つの電荷の間にはたらく静電気力 F [N]

の大きさは、それぞれの電気量 q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub> [C] の積に比例し、距離 r [m] の2乗に反比例する。

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (k \text{ は比例定数で、真空での値は } k_0 \approx 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)$$

補足 k<sub>0</sub>の値は計算問題においては 9.0 × 10<sup>9</sup> N・m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> が一般に使われる。



## 静電気に関する演習問題

- 1 図は負の帯電体(毛皮でこすったエボナイト棒)を使って、はく検電器を正に帯電させて、はくを開いたままの状態にするときの図である。はく検電器の円板とはくの部分に現れている電荷を図に書き入れよ。

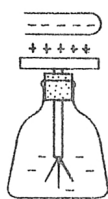


図1

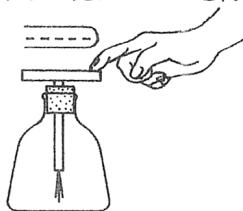


図2

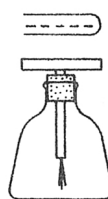


図3

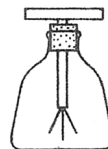


図4

- 2 エボナイト棒を毛皮でこすり、これを小さく長方形に切ったかわいた紙片に近づけると、紙片を引きつけ、引き寄せられた紙片はエボナイト棒に垂直に立って、しばらくすると、垂直方向にはじき飛ばされる。この理由を順を追って解説せよ。

- 3 異種の物質からできている物体A, Bがある。はじめAは $+q$ の電荷をもっていた。A, Bをこすりあわせた結果、Aは $+6q$ , Bは $-3q$ に帯電した。こすりあわせる前のBの電荷はいくらか。ただし、他に電荷は逃げないものとする。

- 4 図1のように金属球A, Bを接触しておき、負に帯電したエボナイト棒をBに近づける。次に図2のように、エボナイト棒をBに近づけたままAを遠ざけた。その金属球Aを、図3のようにナイロン糸でつるした負の軽い帯電体Cに近づけた。このとき、A, B, Cにみられる現象を図1, 図2, 図3についてそれぞれ説明せよ。

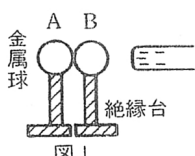


図1

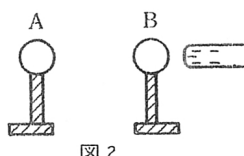


図2

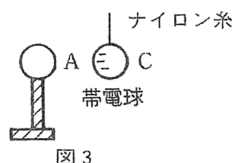
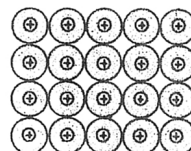


図3

- 5 紙片などの絶縁体が、帯電体に引き寄せられることはよく経験する。軽い導体の場合は静電誘導で説明したが、不導体の場合は、電子が自由に移動できない。ではどのようにして引き寄せられるか。

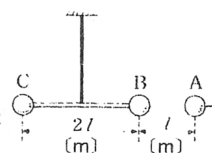


- ヒント：絶縁体内部では電子が自由に移動できないので、原子や分子の中で、正と負の電気的位置がたよるだけである。右図は絶縁体内の模式図で、影の部分は、原子に束縛された電子の分布である。

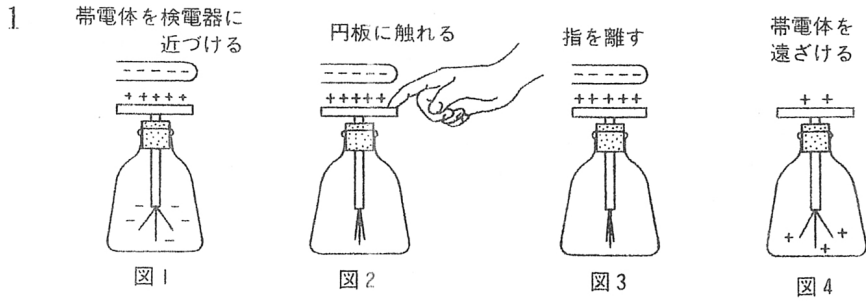
- 6 小さい金属球B, Cを細い金属棒でつなぎ、絶縁体で固定する。Aは小球で正に帯電している。

(1) 静電誘導によって、B, Cに現れる電気は正か負か。

(2) A, B, Cが等量の電荷 $q$  [C]を帯びたとすると、B, Cは全体としてAからどんな力を受けるか。

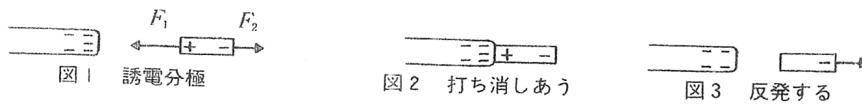


静電気に関する演習問題の解答



**解説** 図2では自由電子が手を伝って人体の方へ追いやられるためはくが閉じる。円板部分に残った正の電荷が図4ではくに移動し、はくはふたたび開く。

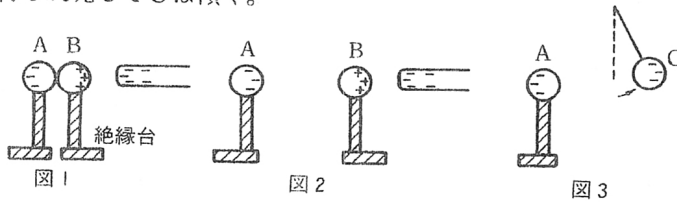
2 誘電分極のため、紙片は帯電体に近いほうに異種、遠い方に同種の電気を生じ、図1のように電気力  $F_1$ ,  $F_2$  がはたらく。 $|F_1| > |F_2|$  だから、紙片は帯電体に引き寄せられる。図2で引き寄せられた紙片の異種の電荷は、しばらくすると、接触点で帯電体の電荷と打ち消しあう。そして、紙片には帯電体より速くできていた同種の電荷が残り、この同種の電荷の反発力により、紙片は垂直の方向にはじき飛ばされる(図3)。



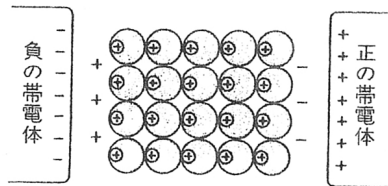
3  $6q + (-3q) - q = 2q$  Bの電荷は  $2q$

**解説** はじめ物体AとBのもっていた電気量の和は、こすったあとも一定である。 $2q + q = 6q + (-3q)$  の式が成り立っている。電気量の総和は、どのような変化の前後もつねに一定である。このことを**電気量保存の法則**という。

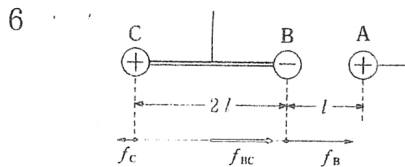
4 図1は静電誘導により、エポナイト棒の負電荷に近い方のBに正、遠い方のAに負の電荷が生ずる。図2はAとBの接触を離すと、電荷は正と負に分離して、Aは負、Bは正に帯電する。図3はAとCはともに負であるから、同種の電荷で反発してCは傾く。



5 右の模式図のように、原子や分子の中で、正と負の電気の位置がかたより、負の帯電体側に正の電気、正の帯電体側には負の電気が生ずる。このようにかたよりによってできた電荷で帯電体に引き寄せられる。



**補足** 絶縁体のことを**誘電体**ともいい、この現象を導体の静電誘導に対して、誘電体の**誘電分極**という。



(2) B, Cの受ける力を  $\vec{f}_B$ ,  $\vec{f}_C$  とすると、

$$f_B = k \frac{(-q)(+q)}{l^2} < 0 \quad (\text{引力}) \text{ 右向き}$$

$$f_C = k \frac{(+q)^2}{(3l)^2} = k \frac{q^2}{9l^2} > 0 \quad (\text{斥力}) \text{ 左向き}$$

BCの受ける力を  $\vec{f}_{BC}$  とすると、 $\vec{f}_{BC} = \vec{f}_B + \vec{f}_C$   
右向きを正にとると、

$$f_{BC} = +k \frac{q^2}{l^2} - k \frac{q^2}{9l^2} = \frac{8}{9} k \frac{q^2}{l^2} = \frac{8}{9} f_B$$

$$\frac{8}{9} k \frac{q^2}{l^2} = \frac{8}{9} \times 9.0 \times 10^9 \times \frac{q^2}{l^2} = 8.0 \times 10^9 \left( \frac{q}{l} \right)^2 \text{ [N]}$$