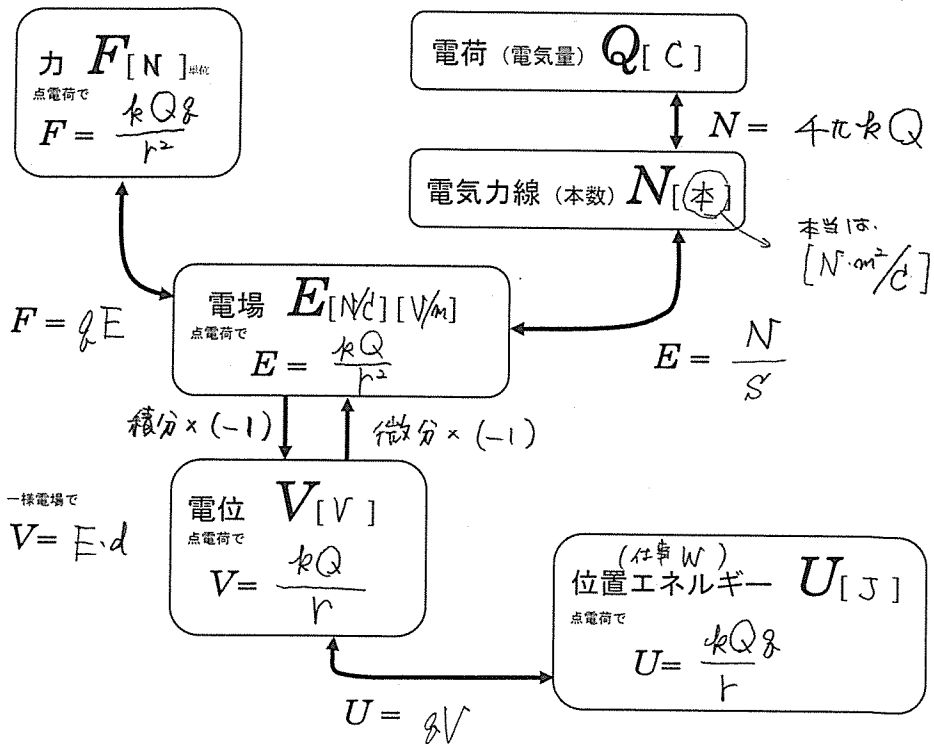


単元テスト(6.18)に向けて 出題が予想される問題 (文責: 樋掛)

今回は問題を解く前に、チェックリストの確認。要点は次の通り。

□石田流電場の要点図 (Q N E F V U(W)) の関係・関係式を自分で書くことができる



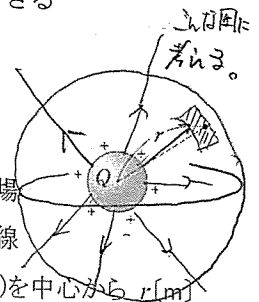
「この図は分からないけど、電場は分かるよ」 = 「4で割り切れる奇数」 = 「空集合」

- 電場を3つの解釈 (電位の傾き・1Cあたりの静電気力・電気力線の密度) で説明できる
- ガウスの法則を使って、点電荷 平面 線状の各帯電体について周囲の電場が計算できる
- 点電荷周りの電場と一様電場について電気力線、等電位線をイメージすることができる
- 2つ以上の電荷がある場合について、ベクトル和で電場、スカラー和で電位を計算できる
- 力学的エネルギー保存則を用いて、電場によって加速された粒子の速さを計算できる

1 ガウスの法則を用いて、帯電体の周りに出来る電場の強さを計算しよう。

クーロンの法則の比例定数を $k_0 [N \cdot m^2 / C^2]$ として、次の各問に答えよ。

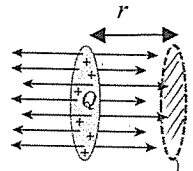
- (1) $+Q$ [C] に帯電した半径 R [m] の金属球の中心から、 r [m] ($R < r$) は離れた点の電場の強さを求める。いま、 $+Q$ [C] の電荷からはガウスの法則より (ア) 本の電気力線が出ていていることになる。各点における電気力線の (イ) が電場の強さであるから、(ア) を中心から r [m] 離れた点を含む球殻の表面積 (ウ) で除することで、電場の強さ (エ) を得ることが出来る。



ア、 Q からは、 r により $4\pi k_0 Q$ イ、密度

ウ $4\pi r^2$ エ、 $E = \frac{N}{S} = \frac{4\pi k_0 Q}{4\pi r^2} = \frac{kQ}{r^2} [N/C]$

(2) 半径 $R[m]$ の薄い金属円板が $+Q[C]$ に帯電している。電荷は金属板の表面に一律に分布し、電気力線は表面に垂直である。表面から $r[m]$ ($\ll R$) はなれた点の電場の強さを求めよう。この帯電体から出る電気力線の本数は(オ)本である。また、この電気力線は図の右側に(カ)本、左側に右側に(キ)本出ている。表面から $r[m]$ ($\ll R$) はなれた点での電気力線の(イ)を求めるには、例えば右側を考えて図の円の面積(ク)で(キ)を除することで電場の強さ(ケ)を得ることが出来る。



$S = \pi R^2$

オ. $Q [C]$ から、平均により $4\pi k_0 Q$ 本

カ. 各々、半分!

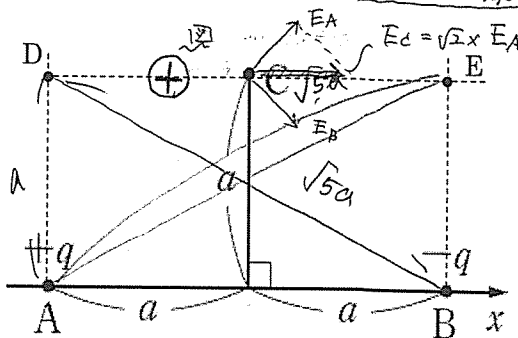
キ $\frac{1}{2} \times 4\pi k_0 Q = 2\pi k_0 Q$

ク. 円の面積は $\pi R^2 [m^2]$

ケ. $E = \frac{N}{S} = \frac{2\pi k_0 Q}{\pi R^2} = \frac{2k_0 Q}{R^2} [N/C]$

注. r により \rightarrow 一律電場!!

2 右の図のように、 x 軸上の点 A, B にそれぞれ $+q, -q (q > 0)$ の電気量をもつ小球があり、それらの間の距離は $2a$ である。小球の半径は a に比べて非常に小さいとし、また、クーロンの法則の比例定数を k とする。



(1) A, B にある 2 つの小球間にはたらく静電気力の大きさはいくらか。

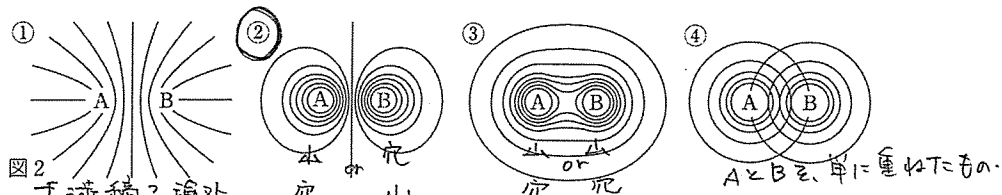
(2) 線分 AB の垂直 2 等分線上で、 x 軸より a の

距離にある点 C での電場の強さ E_C を求めよ。また、その方向と向きを矢印で示せ。

(3) 点 D の電位 V_D および点 E の電位 V_E を求めよ。

(4) E から D に正の電荷 Q を運ぶとき、外力のする仕事と静電気力のする仕事はそれぞれいくらか。

(5) 図に対応した等電位線を、図 2 から選べ。



(1) $F = k \frac{(+q)(-q)}{(2a)^2} = -\frac{kq^2}{4a^2}$ (引), $\frac{kq^2}{4a^2}$

(2) A の $+q$ による C への $E_A = \frac{kq}{(2a)^2}$
 B の $-q$ による C への $E_B = \frac{k(-q)}{(2a)^2} = -\frac{kq}{(2a)^2}$
 $E_C = \sqrt{2} E_A = \frac{\sqrt{2} kq}{2a^2}$

(3) A の $+q$ による D への $V_{AD} = \frac{kq}{a}$
 B の $-q$ による D への $V_{BD} = \frac{-kq}{\sqrt{5}a}$
 $V_D = V_{AD} + V_{BD} = \frac{kq}{a} - \frac{kq}{\sqrt{5}a} = \frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a}$
 A の $+q$ による E への $V_{AE} = \frac{kq}{\sqrt{5}a}$
 B の $-q$ による E への $V_{BE} = \frac{-kq}{a}$
 $V_E = V_{AE} + V_{BE} = \frac{kq}{\sqrt{5}a} - \frac{kq}{a} = -\frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a}$

(4) $W = \int F dx$

		電位変化	
		高 \rightarrow 低	低 \rightarrow 高
各力の仕事	外力	負	正
	静電気力	正	負

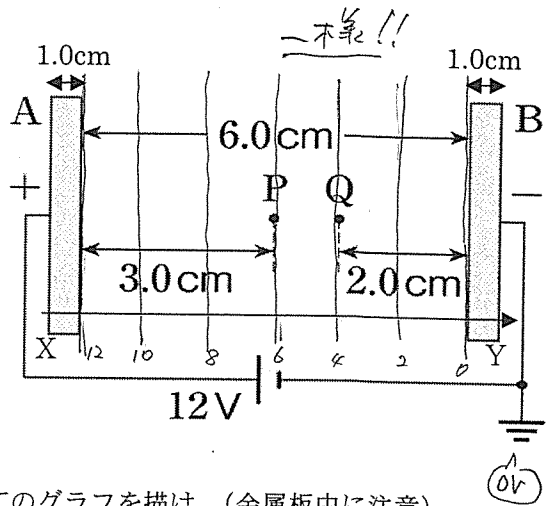
7. 7. 正の電荷をよこるとき、負は逆

二つの把握が大事.

(4) $W = \int F dx = Q(V_D - V_E)$
 $= Q \left(\frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a} - \left(-\frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a} \right) \right) = \frac{(10-2\sqrt{5})kq^2}{5a}$

正... 外力
負... 静電気力

3 図のように、厚さ 1.0cm の 2 枚の十分に広い金属板 A, B を 6.0cm の間隔で平行に置き、電圧 12V の電源につないで負極側を接地して、金属板間に一様な電場をつくる。図が示す金属板間位置に点 P, Q をとる。X, Y は A, B の外側表面の点を表す。

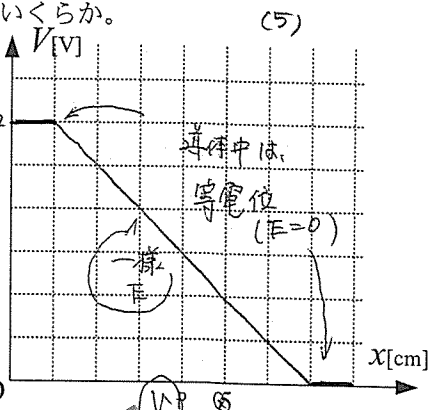


- (1) 点 P, Q の電場の強さは、それぞれいくらか。
- (2) 点 P の電位はいくらか。
- (3) PQ 間の電位差はいくらか。また、P と Q ではどちらが高電位か。
- (4) AB 間に 2V ごとの等電位線を図示せよ。
- (5) 横軸に位置、縦軸に電位をとり、XY 間についてのグラフを描け。(金属板中に注意)
- (6) 横軸に位置、縦軸に電場の強さをとり、XY 間についてのグラフを描け。(金属板中に注意)
- (7) 電荷 $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ の電子が、静電気力によって Q から P に運ばれるとき、電場がする仕事はいくらか。
- (8) Q を静かに出発した電子(質量 $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$)の P での速さはいくらか。

(1) $E = \frac{V}{d} = \frac{12}{6 \times 10^{-2}} = 2.0 \times 10^2 \text{ (V/m)}$
P, Q ともに (一様な電場!!)

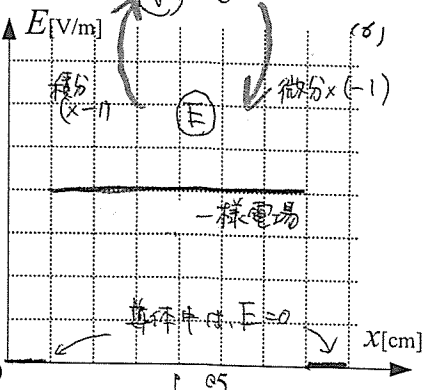
(2) $V_P = E \cdot d = 2 \times 10^2 \times \frac{3.0 \times 10^{-2}}{3 \text{cm}} = 6.0 \text{ (V)}$
原点から (キ=1)

(3) $V_{PQ} = E \cdot d = 2 \times 10^2 \times \frac{1.0 \times 10^{-2}}{1 \text{cm}} = 2.0 \text{ (V)}$
P, Q 間 (キ=1) $V_Q = 4.0 \text{V}$ を算出して、差を $(6 - 4 = 2)$ とおく。



(7) 電場がする仕事
 静電気力による仕事。(負電荷の場合、この仕事は正)
 $W = qV = -1.6 \times 10^{-19} \times (6 - 4) = 3.2 \times 10^{-19} \text{ (J)}$
正の値。

(8) エネルギーの原理から
 $\frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = W$
 今、 $\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2 - 0 = 3.2 \times 10^{-19}$
 $v = 8.4 \times 10^5 \text{ m/s}$

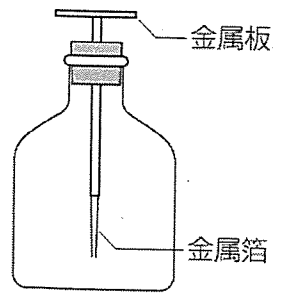


- 1 (1) (ア) $4\pi k_0 Q$ (イ) 密度 (ウ) $4\pi r^2 \text{ [m}^2\text{]}$ (エ) $k_0 Q / r^2 \text{ [N/C]}$ 詳解・図などの
 (2) (オ) $4\pi k_0 Q$ (カ) $2\pi k_0 Q$ (キ) $2\pi k_0 Q$ (ク) $\pi R^2 \text{ [m}^2\text{]}$ (ケ) $2k_0 Q / R^2 \text{ [N/C]}$ 解答例はこちら

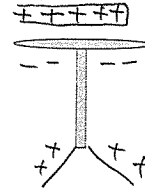
2 (1) $\frac{kq^2}{4a^2}$ (2) $\frac{\sqrt{2}kq}{2a^2}$ 略(x 軸正向) (3) $\frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a}$ $\frac{(5-\sqrt{5})kq}{5a}$
 (4) $\frac{(10-2\sqrt{5})kqQ}{5a}$ $\frac{(10-2\sqrt{5})kqQ}{5a}$ (5) ②



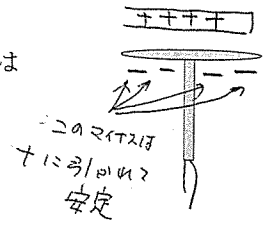
4問：次の{ }内から正しいものを選び。また、その作業後の金属部分（金属板、接続部、金属箔）の箔の状態及び帯電の様子の概略を+,-の記号を用いて図に記入せよ。



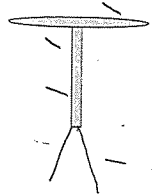
(1) 箔検電器がある。はじめ、箔は閉じていたとする。正に帯電した棒を上部の金属板に近づけると(a) ① 静電誘導 ② 誘電分極}により、金属板は(b) ① 正 ② 負}に、箔は(c) ① 正 ② 負}に帯電し、箔は(d) ① 開く ② 閉じたままである。



(2) 次に、帯電した棒を近づけたまま、箔検電器の金属板に指を触れる。このとき、箔は (e) ① 開いたままである ② 閉じたままである ③ 開く ④ 閉じる}。これは、箔検電器から(f) ① 正 ② 負}の電気が人体に逃げるためである。



(3) 続いて指を金属板から離し、次に棒を遠ざけた。このとき、箔は(g) ① 開く ② 閉じる ③ 開いたままである ④ 閉じたままである}。

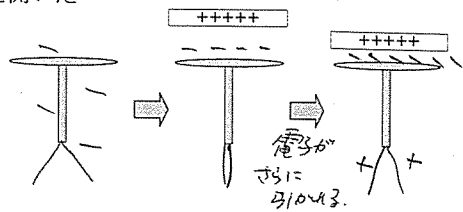


問 (3)の後、正に帯電した物体 A と負に帯電した物体 B を上部の金属板に徐々に近づける。それぞれの場合の箔の様子について、最も適当なものを選択肢から選び、何故そうなるのかを図を用いて説明しなさい。

- ①箔の様子は開いたままあるいは閉じたまま変化しない。
- ②箔は(3)の状態から徐々に開いていく
- ③箔は開いた状態からだんだんと閉じていき、閉じた後開くことはなかった
- ④箔は開いた状態からだんだんと閉じていき、閉じた後また開いた

物体 A を近づける時

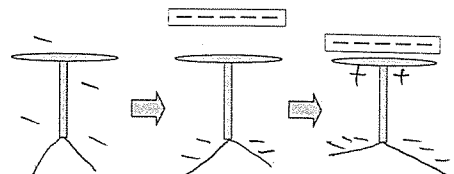
番号: ④ 様子



物体 B を近づける時

番号: ② 様子

{3}からさらに開いていく



3(1) とともに $2.0 \times 10^2 \text{V/m}$ (2) 6.0V (3) 2.0V, P (4)~(6)略 (7) $3.2 \times 10^{-19} \text{J}$ (8) $8.4 \times 10^5 \text{m/s}$

4(a)① (b)② (c)① (d)① (e)④ (f)① (g)① A④ B② 図は略