

1

静電気力

◎ 解説動画

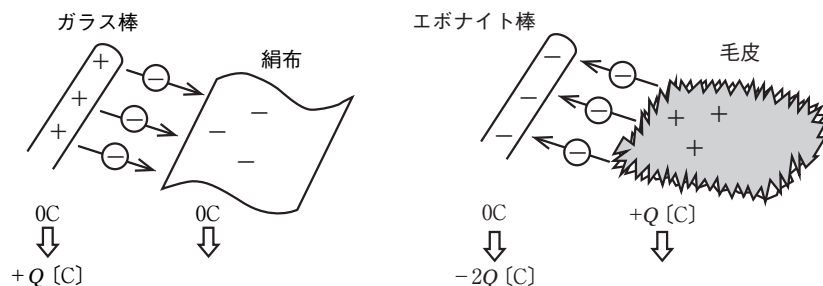


\ 押さえよ /

クーロンの法則 $F =$

① 物質が帯電するとは、どういうことか？

すべての物質は からできている。原子は、正(+)の電気をもつ1つの と、そのまわりにある負(-)の電気をもついくつかの から成り立っている。物質中の原子は、電気的に であるため、物質はふつう電気を帯びていない。物質が電気を帯びる()のは、物質内の に過不足が生じるためである。



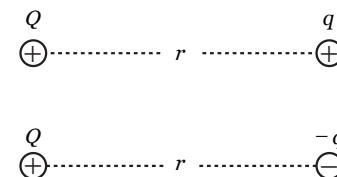
物質内の電子が余分になると、その物質は に帯電し、物質内の電子が不足すると、その物質は に帯電する。帯電した物体を といい、帯電体がもつ電気の量を , または という。電気量の単位には, [] が用いられる。

② 電気量保存の法則とは何か？

2つの物体が電荷をやりとりしても、それらの物体が外部と電気的に独立していれば、2つの物体の電気量の和は 。これを () という。

③ クーロンの法則とは何か？

同符号の電荷は互いに を及ぼしあい、異符号の電荷は互いに を及ぼしあう。これらの力を () という。



クーロンは、2つの電荷の間にはたらく静電気力の大きさを調べて、次の を発見した。
『2つの点電荷 Q [C], q [C] が r [m] だけ離れているとき、それらの間にはたらく静電気力の大きさ F [N] は

$F =$
と表される』

ここで、比例定数 k は、電荷をとりまく によって値が変わる。真空中(空気中でもほぼ同じ)では、およそ $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ である。

POINT

クーロンの法則 $F =$

2

電場①

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

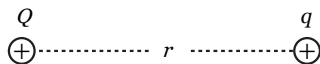
電場 \Rightarrow の電荷が受ける

復習

クーロンの法則に

よれば、 q [C] の正電荷は、 r [m]離れた Q [C] の正電荷から F [N] の静電気力を受けるとして、

次のように表される。



$$F = \quad (k: \text{比例定数})$$

⬇ 静電気力は、離れている物体どうしにはたらく作用、すなわち
遠隔作用なのだろうか？

q [C] の電荷が受ける静電気力 F [N] は離れて存在する Q [C] の電荷から直接およぼされる作用、すなわち遠隔作用。 Q [C] の電荷が空間に存在すると、その周囲の空間が他の電荷に静電気力をおよぼすような状態に変化し、その空間が q [C] の電荷に力をおよぼすと考えられている。このように、他の電荷に静電気力をおよぼす性質をもった空間を または という。

したがって q [C] の電荷が受ける静電気力 F [N] は、 Q [C] の電荷によってつくられた から受ける力であり、 q [C] の電荷に している空間から受ける力なので、 と考え

ることができる。

⬇ 見えない電場をどのように表したらよいか？

電場は、電荷に をおよぼす空間だから、電場は

「 の電荷が受ける 」によって表す。

の電荷が受ける力の向きが で、 の電荷が受ける力の大きさが である。

POINT

電場 \Rightarrow

⬇ 電荷が電場から受ける力について考えよう。

+1C の電荷が受ける静電気力が だから、 $+q$ [C] の電荷が受ける静電気力 \vec{F} は、 \vec{E} の 倍となり、 $\vec{F} =$ と表される。

POINT



電荷が電場から受ける力

$$\vec{F} =$$

また、電場 $\vec{E} =$ の式から、電場の単位は であることがわかる。

3

電場②

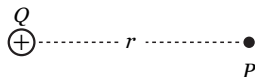
◎ 解説動画



\ 押さえよ /

点電荷による電場 $E =$

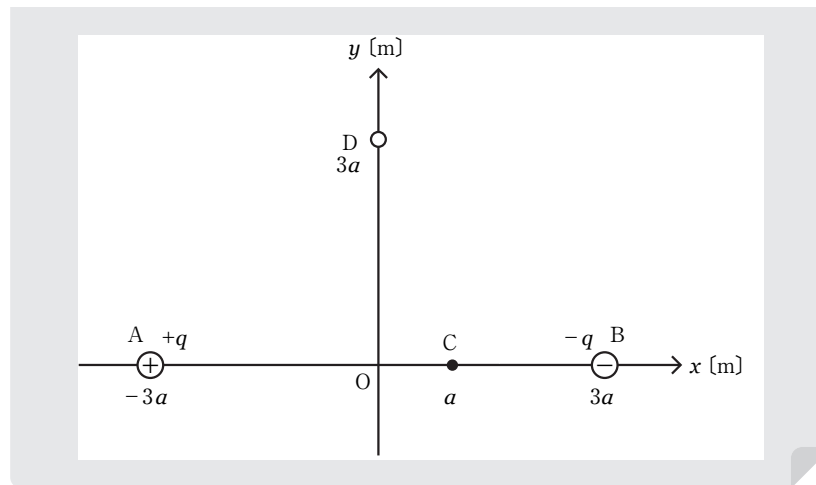
復習

電場 \Rightarrow の電荷が受ける⬇ Q [C] の正の点電荷から r [m] 離れた点 P の電場の強さ E [N/C] は、どのように表されるか？ $E =$

POINT

点電荷による電場 $E =$ \ やって
みよう /

図のように、 xy 平面上の点 $A(-3a, 0)$ に $+q$ [C]、点 $B(3a, 0)$ に $-q$ [C] の点電荷が固定されている。クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$] とする。



\ つづき /

(1) 点 $C(a, 0)$ における電場の向きと強さを求めよ。

解答

..... 答

\ つづき /

(2) 点 $D(0, 3a)$ における電場の向きと強さを求めよ。

解答

..... 答

4

電気力線

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



電気力線の性質

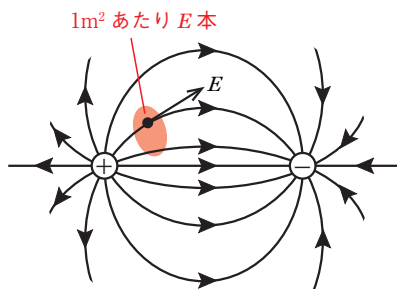
電気力線の接線の向き \Rightarrow 電気力線の本数密度 \Rightarrow

⬇ 電場の様子を線で表してみよう。

よう。

「+1C の電荷が受ける静電気力」は を表していたので、+1C の電荷が受ける静電気力の向きに少しずつ動かし線を描くと、

この線によって のようすを表現することができる。この線を といい、+1C の電荷が動いた向きを電気力線の向きとする。したがって、電気力線は の電荷から出て の電荷に入り、電気力線の接線の向きは、その点での になる。



⬇ 電気力線の性質についてまとめよう。

POINT



電気力線の性質

- ① の電荷から出て の電荷に入る。
- ② 電気力線の接線の向きは、 の向きを表す。
- ③ 交差・枝分かれは 。
- ④ 電場の強さが E [N/C] のところでは、電場に垂直な面 あたり 本の割合で引く。
すなわち、電場の強さ [N/C] とその点での電気力線の本数密度 [本/m²] の値を させている。

⬇ 電場の強さは、電気力線の何によって表されるか？

電場が強いところほど電気力線は しているので、電場の強さは電気力線の [] で表すことができる。すなわち、電場の強さが E [N/C] のところでは、電気力線を電場と垂直な断面 あたり 本の割合で引くことにしている。

5

ガウスの法則

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



ガウスの法則

 $+Q$ [C] の帯電体から出る電気力線の総本数 N $N =$

復習

電場の強さが E [N/C] のところでは、電気力線を電場と垂直な面あたり 本の割合で引く。

📌 $+Q$ [C] の点電荷から出ている電気力線の総本数を求めよう。

$+Q$ [C] の点電荷を中心とする半径 r [m] の球面 S 上での電場の強さ E [N/C] は、クーロンの法則の比例定数 k [$\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$] を用いて表すと

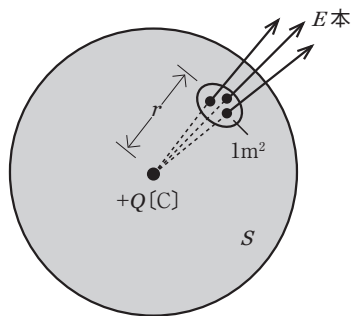
 $E =$

である。また、 S を貫く電気力線の数は、 1m^2 あたり 本で、 S

の面積は $[\text{m}^2]$ だから、 S を貫く電気力線の総本数 N は

 $N =$

となる。これが、 $+Q$ [C] の点電荷から出ている電気力線の総本数 N である。



一般に、電気量 Q [C] の帯電体から出る電気力線の総本数 N は一定で、 $N =$ と表される。これを という。

POINT



ガウスの法則

 $+Q$ [C] の帯電体から出る電気力線の総本数 N $N =$

6

ガウスの法則の使いかた

○ 解説動画



\ 押さえよ /



電場の強さ E は、ガウスの法則を使って求める
電場の強さ $E =$ (本数密度)

復習

- ① 電場の強さが E [N/C] のところでは、電気力線を電場と垂直な面あたり 本の割合で引く。
- ② $+Q$ [C] の帯電体から出る電気力線の総本数 N は、 $N =$ である。

秘

テクニック

電場の強さ E は、ガウスの法則を使って求める
電場の強さ $E =$ (本数密度)

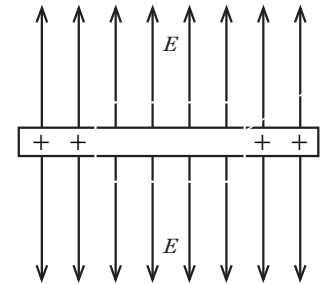
\ やって
みよう /

Q

S [m²] あたり Q [C] の正の電荷が一様に分布している無限に広い平面のまわりの電場の強さ E [N/C] を求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を k [N・m²/C²] とする。

解答

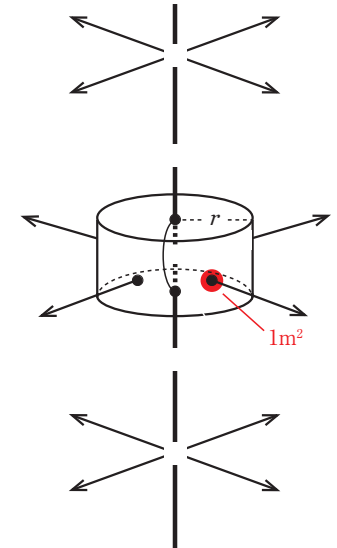
..... 答

\ つづき /
Q

l [m] あたり Q [C] の正の電荷が一様に分布している無限に長い直線から、 r [m] 離れた点における電場の強さ E [N/C] を求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を k [N・m²/C²] とする。

解答

..... 答



7

電位

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



電位 ⇒ の電荷がもつ

⬇ 基準面から高さ h [m] の点 P にある質量 m [kg] の物体がもつ重力による位置エネルギー U [J] は、どのようにして求めたか？

ただし、下向きの重力加速度を g [m/s²] とする。

$$U =$$

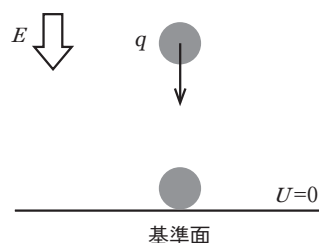
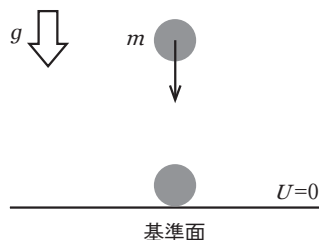
復習

位置エネルギーの定義

「 から まで物体を運ぶとき、
 」

⬇ 基準面から距離 d [m] の点 P にある電気量 $q(>0)$ [C] の電荷がもつ静電気力による位置エネルギー U [J] はいくらか？

ただし、下向きの一様な電場を E [N/C] とする。

$$U =$$


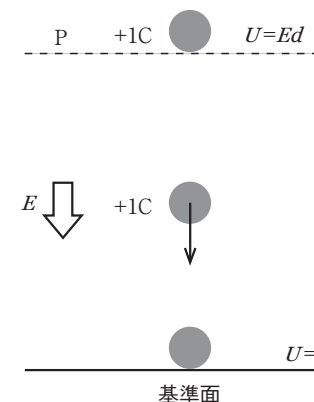
⬇ 基準面から距離 d [m] の点 P にある +1C の電荷がもつ静電気力による位置エネルギー U [J] はいくらか？

ただし、下向きの一様な電場を E [N/C] とする。

$$U = \dots \textcircled{1}$$

点 P にある +1C の電荷がもつ静電気力による位置エネルギーを、点 P の という。したがって、点 P の電位は、 の電荷を から点 P まで

運ぶとき、 として求めることができる。



POINT



電位 ⇒ の電荷がもつ

ここで、+1C の電荷を基準点から点 P まで運ぶとき、外力のした仕事が 1J であるとき、点 P の電位を 1 [] という。①式は点 P の電位を表しているので、点 P の電位を V [V] とすると

$$V = \quad , \quad E = \quad \dots \textcircled{2}$$

の関係が成り立つ。②式から、電場の強さ E の単位は [] と表せることがわかる。

8

点電荷のまわりの電位

○ 解説動画



\ 押さえよ /



点電荷のまわりの電位(無限遠が基準)

 $V =$

秘

テクニック

電場 \Rightarrow 電位 \Rightarrow

⬇ 電場内の電荷がもつ位置エネルギーを求めよう。

電場内の点Pの電位が V であるとき、点Pに置かれた電気量 q の電荷がもつ静電気力による位置エネルギー U は、次の式で表される。

POINT

静電気力による位置エネルギー $U =$

⬇ 点電荷のまわりの電位を求めよう。

電気量 Q の点電荷から距離 r の点
 の電位 V は、万有引力による位置エ
 ネルギーと同様に無限遠を基準として、次の式で表される。

Q 電位 $V = ?$
 $\oplus \cdots \cdots r \cdots \cdots \bullet$

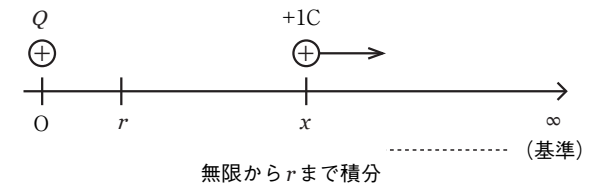
POINT



点電荷のまわりの電位(無限遠が基準)

 $V =$

⬇ $V = k \frac{Q}{r}$ の式を導いてみよう。

 $V =$ 

9

電場・電位の合成

◎ 解説動画



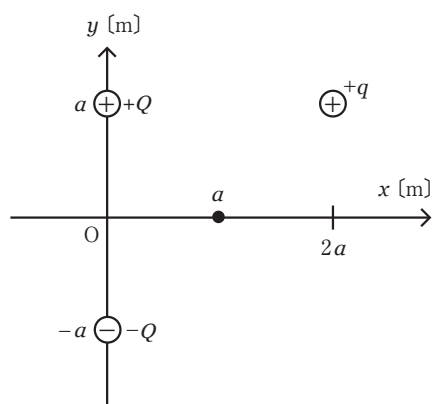
復習

電場、電位の定義

電場 \Rightarrow の受ける電位 \Rightarrow のもつ電気量 Q の点電荷から距離 r の点においては電場の強さ $E =$ 電位 $V =$ (無限遠が基準)やっ
て
みよう /

Q

図のように、 xy 平面
上の点 $(0, a)$ に $+Q$ [C],
点 $(0, -a)$ に $-Q$ [C] の
点電荷を固定する。クー
ロンの法則の比例定数
を k [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] として、
次の問いに答えよ。



つづき /

Q

(1) 点 $(a, 0)$ における電場の向きと強さ E [V/m] を求めよ。

解答

..... 答

つづき /

Q

(2) 無限遠を基準として、点 $(a, 0)$ における電位 V [V] を求めよ。

解答

..... 答

POINT

電場の合成 \Rightarrow 電位の合成 \Rightarrow

つづき /

Q

(3) 点 $(2a, a)$ に $+q$ [C] の電荷を置く。この電荷がもつ静電気力による位置エネルギー U [J] を求めよ。

解答

..... 答

10

電場と電位

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



一様な電場と電位

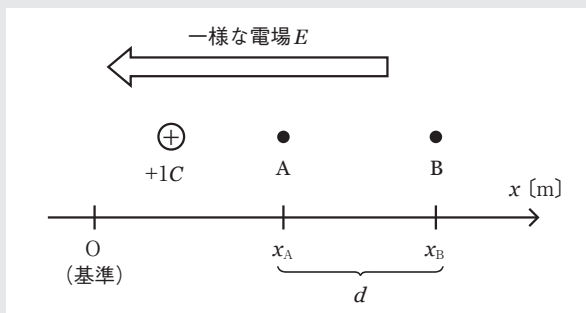
電場の強さ $E =$ 電場の向き： 電位 \Rightarrow 電位

2点間の電位の差を ， または という。

\ やって
みよう /

Q

図のように、 x 軸負の向きに一様な電場 E [V/m] が生じている。 $x=0$ を電位の基準とし、2点 A、B の x 座標を x_A 、 x_B [m] とする。



\ つづき /

Q

(1) A、B における電位 V_A 、 V_B [V] をそれぞれ求めよ。

解答

 $V_A =$ 答 $V_B =$ 答

\ つづき /

Q

(2) A、B どちらが高電位か。

解答

..... 答

\ つづき /

Q

(3) 2点 A、B 間の距離 d [m] と電位差 V [V] との関係を求めよ。

解答

..... 答

POINT



一様な電場と電位

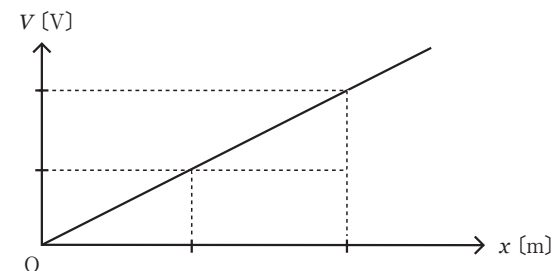
電場の強さ $E =$ 電場の向き： 電位 \Rightarrow 電位

\ つづき /

Q

(4) 位置 x [m] に対する電位 V [V] の変化をグラフをかけ。また、グラフの傾きは何を表すか。

解答



..... 答

11

電荷が電場からされる仕事

◎ 解説動画

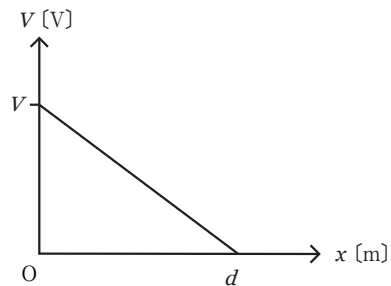


\ 押さえよ /

電荷が電場からされる仕事 $W =$ \ やって
みよう /

Q

x 軸方向に一様な電場が生じており、位置座標 $x[\text{m}]$ とその点の電位 $V[\text{V}]$ との関係は、右の図で表される。



\ つづき /

Q

(1) この電場の向きと強さを求めよ。

解答

向き :

..... 答

強さ :

..... 答

質量 $m [\text{kg}]$ 、電荷 $q [\text{C}]$ の陽イオンが、 x 軸にそって負の側から進んできて、原点 O を速さ $v_0 [\text{m/s}]$ で通過した。



\ つづき /

Q

(2) 陽イオンが電場から受ける力の向きと大きさを求めよ。

解答

向き :

強さ :

..... 答

\ つづき /

Q

(3) 陽イオンが $x=0$ から $x=d [\text{m}]$ まで進む間に、電場からされる仕事 $W [\text{J}]$ を求めよ。

解答

 $W =$

..... 答

POINT

電荷が電場からされる仕事 $W =$

\ つづき /

Q

(4) 陽イオンが $x=d [\text{m}]$ の点を通る速さ $v [\text{m/s}]$ を求めよ。

解答

..... 答

12

等電位面

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



電気力線と等電位面は

点電荷のまわりの電位 V は $V =$ (無限遠が基準)

と表されるから、グラフは、右の図のようになる。正電荷のまわりの電位は で、正電荷に近づくほど電位は くなる。逆に、負電荷のまわりの電位は で、負電荷に近づくほど電位は くなる。電位の等しい点を連ねた面を という。

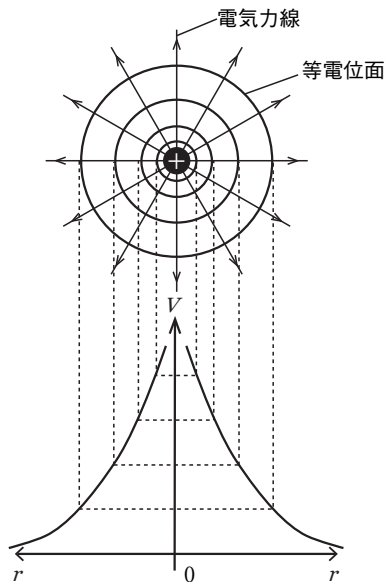
⬇ 電気力線と等電位面の位置関係について考えよう。

電気力線に垂直な方向には (それとつりあう) の成分がないから、その方向に C の電荷を動かしても () は をしない。したがって、電気力線に垂直な方向は となる。すなわち電気力線と等電位面は になる。

POINT



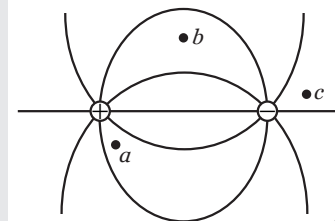
電気力線と等電位面は



やっ
て
み
よう

Q

図のように、正負等量の点電荷が平面上に固定されている。曲線は点電荷による電気力線である。

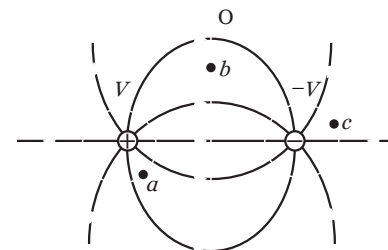


つづ
き

Q

- (1) 電気力線の向きを矢印で記入せよ。
- (2) a , b , c の各点を通る等電位線を記入せよ。

解答



..... 答

つづ
き

Q

- 点 a の電位を V , 点 b の電位を 0 , 点 c の電位を $-V$ とする。
- (3) 正電荷 $+q$ を a , b , c の各点に置いたとき、この電荷がもつ静電気力による位置エネルギー U_a , U_b , U_c をそれぞれ求めよ。

解答

..... 答

つづ
き

Q

- (4) 正電荷 $+q$ を点 c から点 a に運ぶとき、要する仕事 W を求めよ。

解答

..... 答

13

導体の性質

◎ 解説動画


 \押さえよ/
→

導体の性質(静電状態)

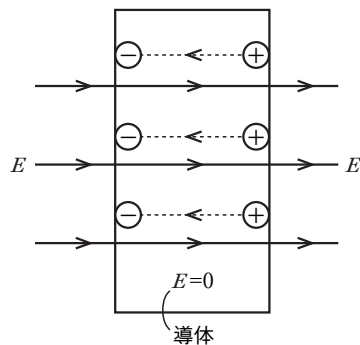
- ① 導体内部の電場は で, 導体全体は 。
- ② 電荷は導体の に分布。
⇒電気力線は導体表面に で, 導体内部には 。

⬇ 導体とは何か？

電気をよく通す物質を という。金属は導体である。これは、金属内に自由に移動することのできる電子()があり、この自由電子によって電気が運ばれているためである。

⬇ 静電誘導とは何か？

図のように右向きの電場中に導体を置くと、導体中の が電場から力を受けて移動し、導体の左の表面には が、右の表面には が現れる。導体表面に現れた電荷は、外部の電場を 向きに電場をつくり、導体内部の電場が となったところで電子の移動が終る。この現象を という。したがって、電荷の移動が終わった状



態()では、導体内部の電場は で、導体全体は になる。

⬇ 導体に電荷を与えるとどうなるか？

導体に電荷を与えると、電荷は必ず導体の に分布する。仮に内部に電荷が分布すると考えると、そこから電気力線()が生じてしまい、矛盾する。

⬇ 静電状態での導体の性質をまとめてみよう。

導体の性質(静電状態)

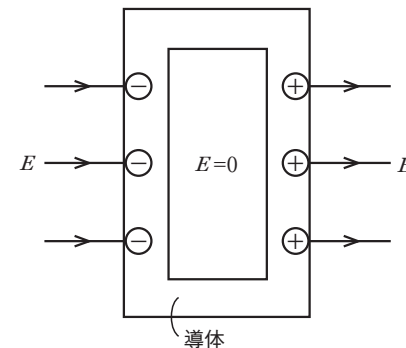
- ① 導体内部の電場は で, 導体全体は 。
- ② 電荷は導体の に分布。
⇒電気力線は導体表面に で, 導体内部には 。

POINT



⬇ 静電しゃへいとは何か？

導体内部に空洞がある場合、外部の電気力線は導体に ので、空洞部分の電場は になる。このように、導体で囲むことにより外部の電場をさえぎるはたらきを という。



14

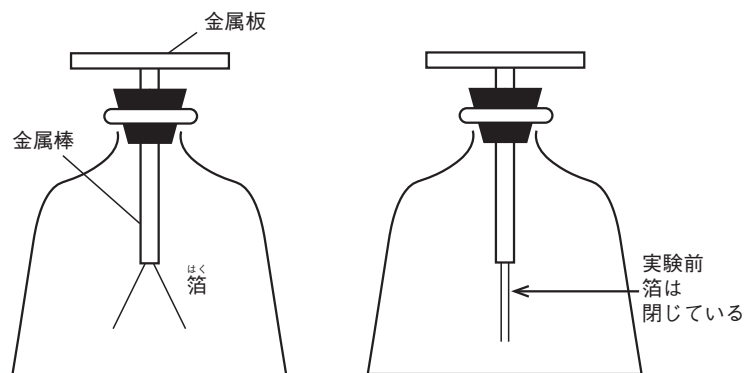
箔検電器

◎ 解説動画

\\ やって
みよう /

Q

次の図は箔検電器とよばれる装置であり、箔の開きかたから電荷の有無や帯電の程度を知ることができる。箔検電器を用いた次の(1)～(4)の一連の実験について、自由電子の移動の様子と箔の開きかたを答えよ。はじめ、箔検電器に電荷は蓄えられておらず、箔は閉じていた。

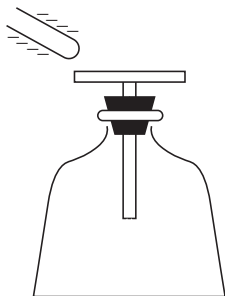


\\ つづき /

Q

(1) 負の帯電棒を金属板に近づける。

解答



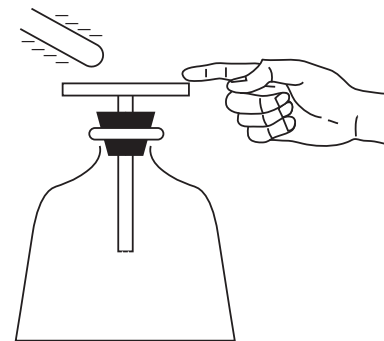
..... 答

\\ つづき /

Q

(2) 帯電棒を近づけたまま、金属板に指を触れる。

解答



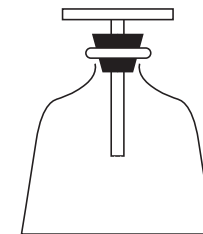
..... 答

\\ つづき /

Q

(3) 指を離してから負の帯電棒を遠ざける。

解答



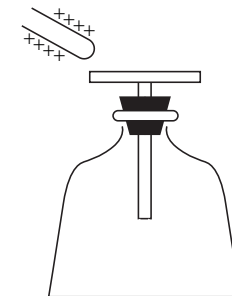
..... 答

\\ つづき /

Q

(4) 正の帯電棒を金属板に近づける。

解答



..... 答

15

平行板コンデンサー①

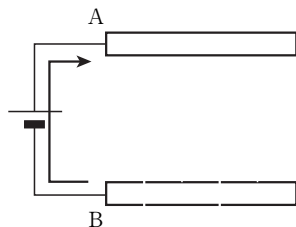
◎ 解説動画



⬇️ 平行板コンデンサーとは何か？

2枚の金属板()を近づけて平行に置いたものを

という。はじめ電荷を蓄えていない極板 A, B に電池をつなぐ。電池は正の電荷を低電位側の極板 から高電位側の極板 へ運ぶはたらきをする。AB 間の電位差が電池の電位差と等しくなったところで



は完了し, A には $+Q$ [C], B には [C] の電荷が蓄えられる。極板間隔に比べて極板面積 S [m²] が十分に大きいとすると, 極板に蓄えられた電荷によって生じる電場は, 極板に になる。

復習

電場の強さ E は, ガウスの法則を使って求める

電場の強さ E = (本数密度)

⬇️ 極板 A が単独で置かれていると考えた場合, A のまわりの電場の強さ E_A [V/m] はいくらになるか？

ただし, クーロンの法則の比例定数を k [N・m²/C²] とする。

⬇️ 極板 B が単独で置かれていると考えた場合, B のまわりの電場の強さ E_B [V/m] はいくらになるか？

極板の外側では, それぞれの極板からの電気力線が逆向きになって打ち消しあってしまう。

したがって, 平行板コンデンサーで実際に電場が生じるのは, だけであり, その電場の強さ E [V/m] は

$$E =$$

で, 向きは → である。

⬇️ 簡略化して考えてみよう。

この授業で考えてきたことは, 次のように簡略化することもできる。

「A にある [C] からわき出した 本の電気力線は, B にある [C] にすべて と考えることができ, ガ

ウスの法則より $E =$ としてもよい。」