

【16 電場と電位】

- ・クーロンの法則

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} [\text{N}]$$

- ・電場

$$E [\text{N/C}] \quad (+1 \text{ Cが受ける静電気力の大きさと向き})$$

- ・ $q [\text{C}]$ が受ける力

$$F = qE [\text{N}]$$

- ・点電荷のつくる電場

$$E = k \frac{Q}{r^2} [\text{N/C}]$$

- ・電位

$$V [\text{V}] \text{ or } [\text{J/C}] \quad (+1 \text{ Cが持つ静電気力による位置エネルギー})$$

- ・ $q [\text{C}]$ が持つ位置エネルギー

$$U = qV [\text{J}]$$

- ・点電荷のつくる電位

$$V = k \frac{Q}{r} [\text{V}]$$

- ・一様な電場と電位の関係

$$V = Ed \quad E = \frac{V}{d} [\text{V/m}]$$

()年 ()科 ()組 ()番 名前()

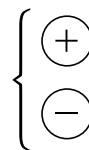
第1章 電場

1 静電気力

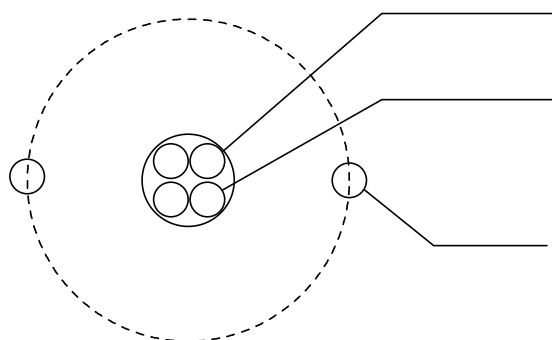
A 静電気 B 物体が帯電するしくみ

物理において、電気のことを「」とよびます。

そして世の中には2種類の電荷が存在します。→



また、電荷の量のことを「」といい、単位には「」を使います。化学と同じですね。では、その電気(電荷)とやらはどこにあるのでしょうか。そう、原子の中ですね。ここで原子の構造についておさらいしましょう。

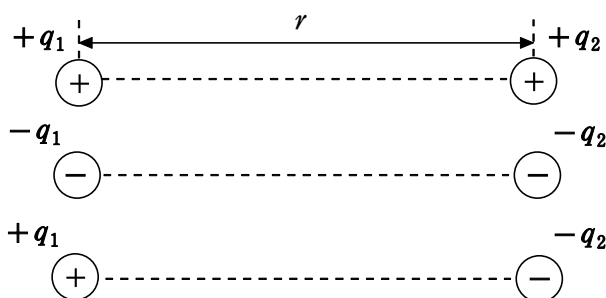


陽子1個、電子1個が持つ電気量($1.6 \times 10^{-19} \text{C}$)の大きさのことを「」といいます。この世界の電気はすべて電気素量 e の整数倍になっています。

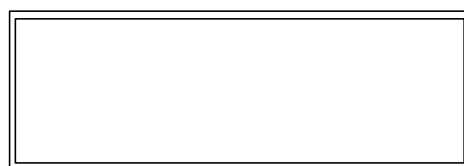
そして、電氣的に中性な原子が電子を受け取ると「」になり、電子を放出すると「」になります。そうして電気を帯びる、いわゆる「」が起きます。

また、電気は急に生み出されたり、急に消滅したりせず、その総和は変わらないという法則を「」といいます。

C クーロンの法則



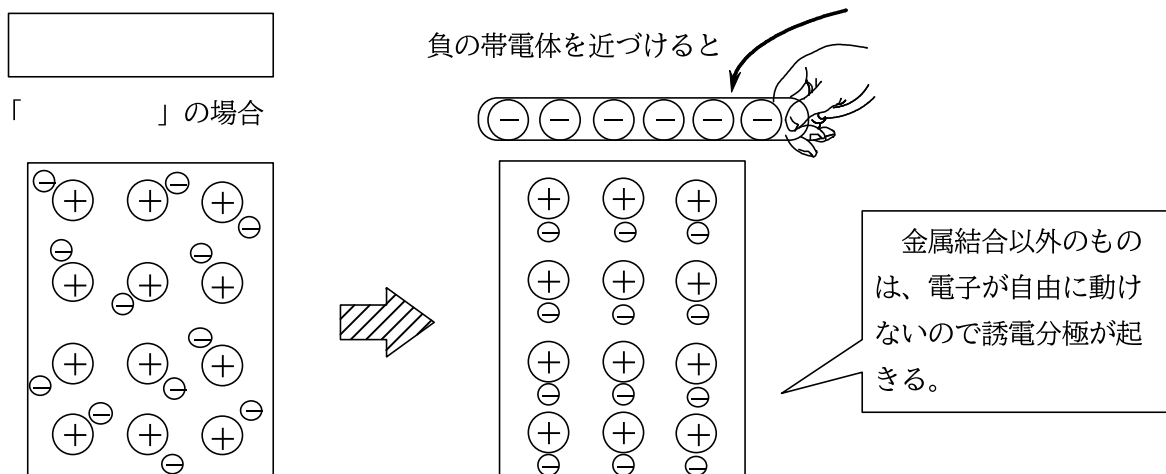
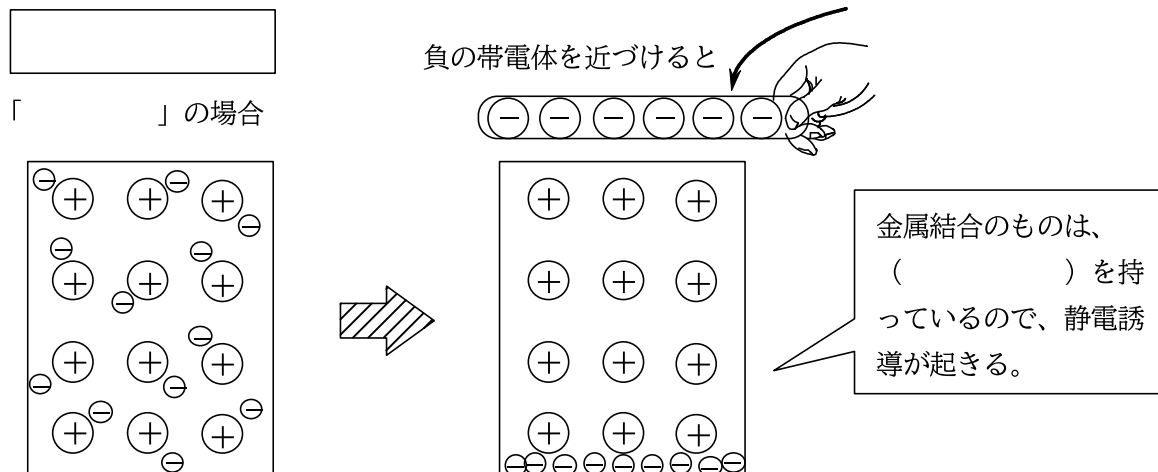
【クーロンの法則】



[]

2つの点電荷の間にはたらく静電気力の大きさ $F[\text{N}]$ は、それぞれの電気量の大きさ $q_1, q_2[\text{C}]$ の積に比例し、点電荷の距離 $r[\text{m}]$ の2乗に反比例する。 $k \dots$ クーロンの法則の比例定数

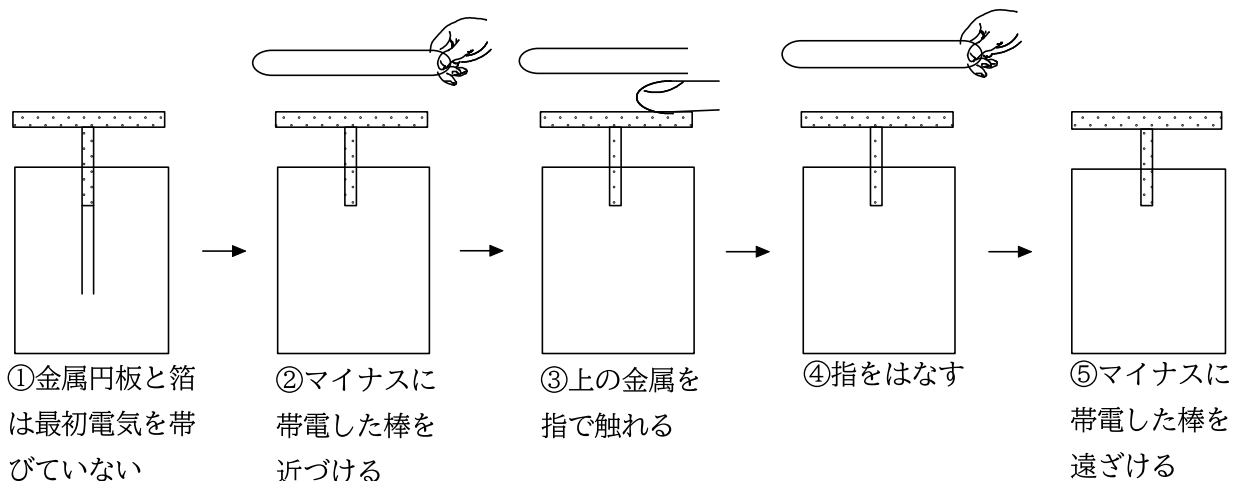
D 静電誘導



箔検電器

ルール

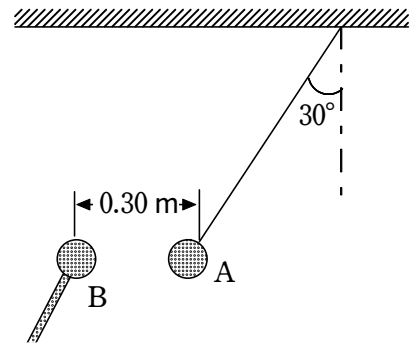
- 1、金属板と箔の間で静電誘導が起きる。(＋は－に引き寄せられ、－は＋に引き寄せられる。)
- 2、指で触れたら箔は絶対に閉じる。(箔の電荷を打ち消すように電子が移動する。)
- 3、導体棒に引き寄せられている間は金属板の電荷は動けない。



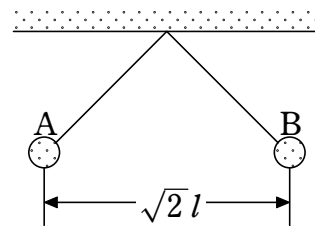
- 1 塩化ビニルが $-3.2 \times 10^{-8} \text{ C}$ の電気量をもつとき、この電気量は電子何個分か。
電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

- 2 $+6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ と $-2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ に帯電させた、材質・形状・大きさの等しい金属球を 2 つ用意し、接触させてから離すと、2 つの金属球は等量に帯電した。このとき、それぞれの金属球がもつ電気量を求めよ。

- 3 軽い絹糸につるした小球 A に、 $2.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ の電気量を与える。これに帯電した小球 B を近づけたところ、A は B と同じ水平面上で 0.30 m の距離まで引き寄せられ、糸は鉛直線から 30° 傾いた。B の電気量 $q [\text{C}]$ を求めよ。A にはたらく重力の大きさを $6.0 \times 10^{-3} \text{ N}$ 、クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ とする。



- 4 質量がともに m [kg] の小球 A と B をそれぞれ長さ l [m] の軽い絹糸につるし、上端を同じ点に固定した。A, B に等量の正の電気量を与えたところ、A, B は同じ水平面上で静止し、このとき A, B 間の距離は $\sqrt{2}l$ [m] であった。A, B がそれぞれもっている電気量 q [C] を求めよ。重力加速度の大きさを g [m/s²]、クーロンの法則の比例定数を k [N・m²/C²] とする。



- 5 次の { } 内から正しいものを選べ。また、問いに答えよ。

- (1) 箔検電器がある。初め、箔は閉じていたとする。
負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 この後、再び負に帯電した棒を上部の金属板に近づけると、箔はどうか。

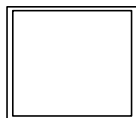
ヒント (2) 金属板に指を触れると、箔の電荷はより遠くへ逃げようとする。

2 電場

A 電場

電気を帯びた物体のまわりには電氣的な力がはたらく空間があるといえます。それが「電場」です。

【電場】

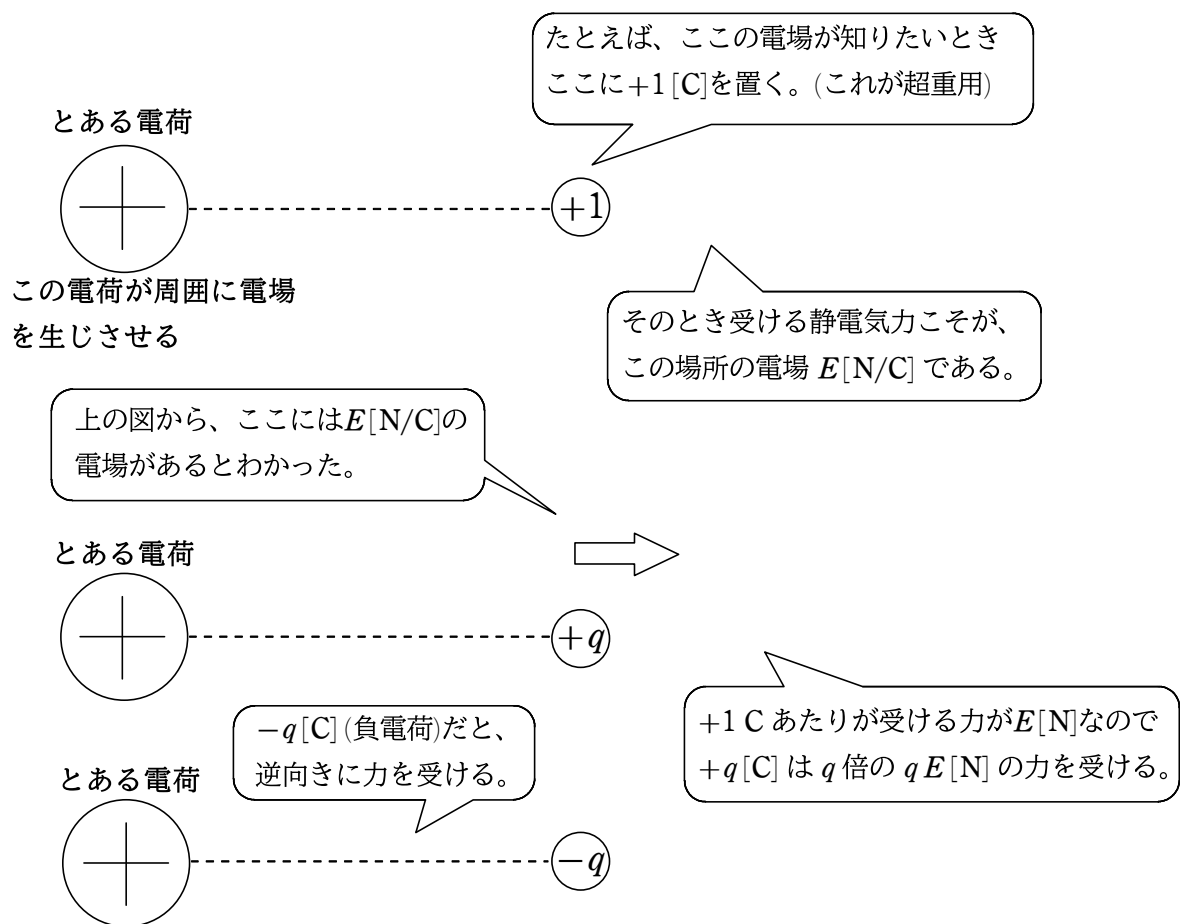


[]

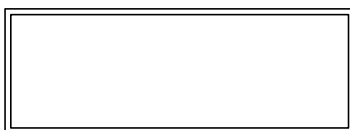
<電場の定義>

電場とは、その位置に置いた [] が受ける静電気力の大きさと向きのことである。

※ 電場の概念を理解するのはとても難しいです。結局最後まで理解できない人もいるぐらいです。簡単に言うと、空間に「とある電荷」をポンと置くとその周囲に電氣的なフィールドが広がるわけです。そのフィールド上の各点各点には「電場」があり、それを確かめるためには「+1C」という道具を使います。そして、そのとき「+1C」が受ける静電気力こそが「電場」なのです。



【電荷が電場から受ける力】

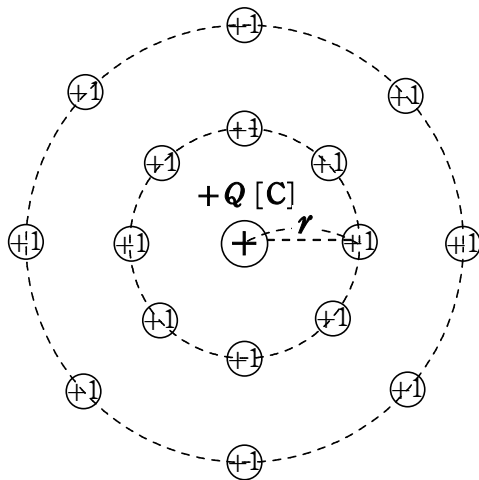


[]

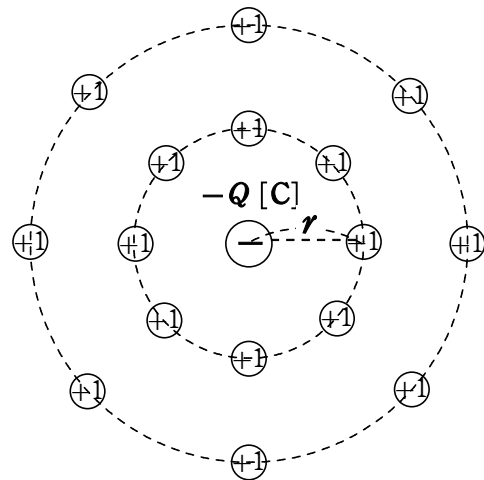
E (電場)とは、+1Cが受ける力だから、 q [C]の場合は q 倍すればいいってだけの話だよね。また、電場は「 [] 」だということにも注意しておきましょう。大きさと向きの2つが大事なのです。

B 点電荷が作る電場

＜正電荷のまわりの電場＞



＜負電荷のまわりの電場＞



電場は目に見えないため、このように「+1C」を置いて可視化する必要があります。慣れれば自然と見えるようになります。(その眼を獲得できれば電磁気はだいぶ楽になりますが...) それはさておき、上図のように点電荷から放射状に電場が存在しており、近いと強く、遠いと弱いということをおさえておいてください。そして正電荷の場合は中心から出て、負電荷の場合は中心へ入る向きとなります。

クーロンの法則より
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F =$$

電場はその場所で +1 [C] が受ける静電気力という定義なので、これそのものが電場の値となります。

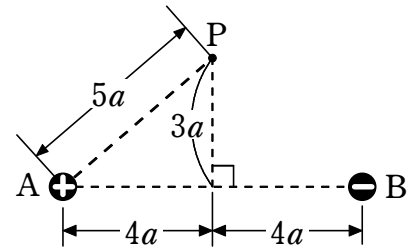
【点電荷のまわりにできる電場】

[]

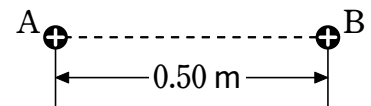
また、点電荷が2つ以上ある場合は、1つ1つについて電場を考え、最後にそれらを合成することで合成電場を考えることができます。これを「電場の重ね合わせ」といいます。ただし、単純に足すのではなく、ベクトルの足し算をする必要があることに注意です。

- 1 電場が右向きに $1.2 \times 10^3 \text{ N/C}$ の位置に次の点電荷を置く。それぞれの場合の電荷が受ける力の大きさと向きを求めよ。
- (1) $+2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の正電荷
 - (2) $-3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の負電荷
- 2 $+2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の電荷が東向きに $4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ の力を受ける場所の電場の強さ $E[\text{N/C}]$ を求めよ。また、その向きはどの向きか。
- 3 $+8.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の点電荷から 2.0 m 離れた位置の電場の強さは何 N/C か。また、電場の向きは、点電荷に近づく向きか、点電荷から遠ざかる向きか。クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ とする。
- 4 x 軸の原点に $-9.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の電荷を固定する。 x 軸上で、原点から正の向きに 0.30 m 離れた点の電場の強さ $E[\text{N/C}]$ を求めよ。また、その向きはどの向きか。クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ とする。

- 5 図のように、 $8a$ [m] だけ離れた点 A, B に、 $+Q$, $-Q$ [C] の点電荷を置いた。AB の垂直二等分線上、AB の中点から $3a$ [m] の点 P における電場 $\vec{E}_P$ の向きと強さ E_P [N/C] を求めよ。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。



- 6 0.50 m 離れた 2 点 A, B に点電荷を置く。点 A には $+4.5 \times 10^{-9}$ C の正電荷を、点 B には $+2.0 \times 10^{-9}$ C の正電荷を置くと、線分 AB 上で電場の強さが 0 となる点 P はどこか。A からの距離で答えよ。



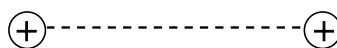
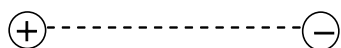
C 電気力線

【電気力線の4つのルール】

- ・電気力線は正電荷から出て負電荷に入る
- ・電気力線上の接線の向きが電場の向きである
- ・電気力線が密集しているところほど電場が強い
- ・電気力線は交わったり枝分かれしたりしない

⊕

⊖



D ガウスの法則

【電気力線5つ目のルール】

電場の強さが E [N/C] の所では、 1m^2 あたり E 本の電気力線が貫いているものとする。

まずは、 $+Q$ [C] に帯電したとある点電荷を半径 r [m] の球体で覆っているイメージを持ちます。
距離 r [m] 離れた場所にできる電場は、

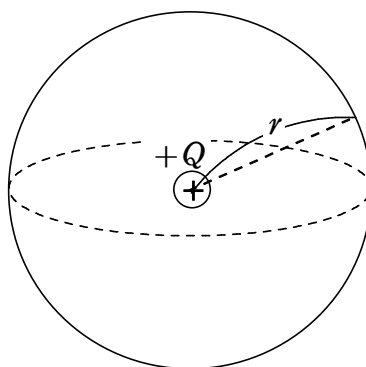
$E =$ となります。

球の表面積は、

$S =$ となります。

上のルールに従うと、電気力線の総数は、

$N =$ となります。



【ガウスの法則】

Q [C] の帯電体から出る電気力線の総数はいつでも 本である。(これは暗記)

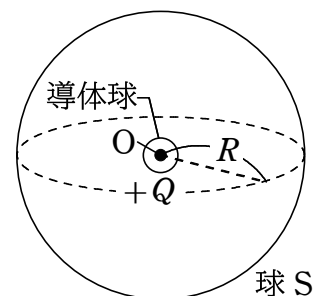
ガウスの法則って何に使うの？

→ これを逆に計算していけば、簡単な計算で電場を求めることができます。そして一番のメリットは、点電荷ではなく大きさのある帯電体の電場を考えるときに役に立ちます。しかし、正直言って、そんなの大学の物理で扱うくらいで、高校物理ではあまり使わないかもしれません。(もちろん難関大の入試では出題されます。) あと、コンデンサーのときにもう一回出てきます。

- 1 静電気力が及ぶ空間には $\vec{E}$ が生じている。電場から $+1\text{ C}$ の試験電荷にはたらく力の向きを電場の向き、力の大きさを電場の強さという。電場ベクトルを $\vec{E}$ とし、その中に電気量 q の電荷を置くと、電荷が受ける力は $\vec{F} = q\vec{E}$ となる。電気量の大きさ Q の電荷が距離 r 離れた点につくる電場の強さはクーロンの法則の比例定数を k として $E = k\frac{Q}{r^2}$ と表される。電場の中で正電荷を、電場から受ける力の向きに動かすと $\vec{r}$ が描かれる。 $\vec{r}$ の数を、電場の強さ E の所で単位面積当たり E 本とすると、電気量の大きさ Q の正電荷から出る電気力線の総数 N 本は、正電荷を中心とする半径 r の球の表面積が $4\pi r^2$ だから $N = 4\pi r^2 E$ となる。

- 2 $+Q\text{ [C]}$ に帯電した導体球が置かれている。図のように導体球の中心点 O からの距離が $R\text{ [m]}$ の位置での電場の強さ $E\text{ [N/C]}$ を、次の手順で求めよう。真空中のクーロンの法則の比例定数を $k_0\text{ [N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2]$ 、円周率を π とする。

- (1) 導体球表面から出る電気力線の総数は何本か。
- (2) 半径 $R\text{ [m]}$ の球 S の表面積はいくらか。
- (3) 電場は、単位面積当たりを垂直に貫く電気力線の数に等しい。電場の強さ $E\text{ [N/C]}$ を求めよ。

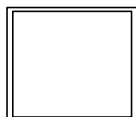


3 電位

A 電位

電場がはたらく空間に電荷を置くと静電気力によって基準点まで運ばれます。つまり、静電気力によって仕事をされるわけです。しかも、それは重力と同じ保存力なので、位置エネルギーを考えることができます。「電」気による「位」置エネルギーなので「電位」といいます。

【電位】



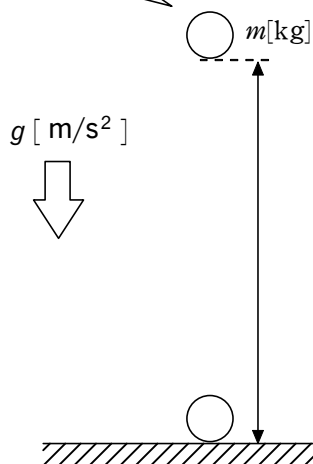
[] または []

<電位の定義>

電位とは、その位置に置いた [] が持つ静電気力による位置エネルギーのことである。

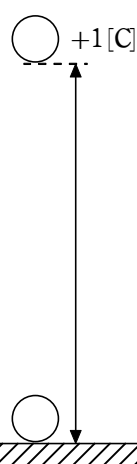
<力学の世界>

重力によって基準点まで $mg[N]$ $\times h[m]$ の仕事をされる能力がある状態。つまり $mgh[J]$ の位置エネルギーを持っている。

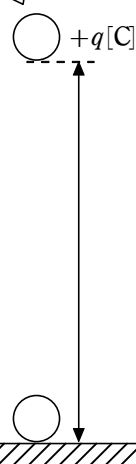


<電気の世界>

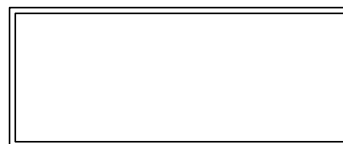
正電荷は静電気力によって基準点まで仕事をされる。つまり位置エネルギーがある。特に $+1C$ が持つ位置エネルギーをその場所における電位 $V[V]$ という。



$+1C$ あたりが持つ位置エネルギーが $V[V]$ なので $+q[C]$ は q 倍の $qV[J]$ の位置エネルギーを持つ。



【静電気力による位置エネルギー】



[]

V (電位)とは、 $+1C$ が持つ位置エネルギーだから、 $q[C]$ の場合は q 倍すればいいだけの話です。また、電位は電場と違って「 [] 」です。向きはありません。

B 電位差と仕事

<力学の世界>

m [kg]の物体を点Aから点Bまで運ぶのに重力がする仕事は、位置エネルギーの差に等しい。重力がする仕事を W_{AB} とすると、

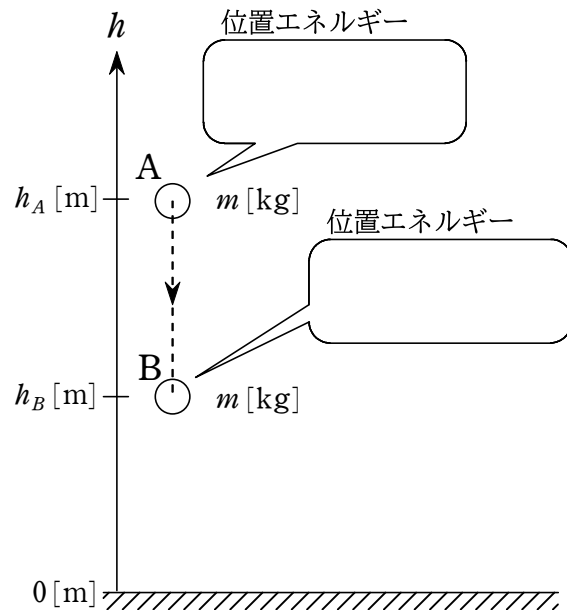
$$W_{AB} =$$

=

=

$h = h_A - h_B$ とすると、

h のことを「高低差」という。



<電気の世界>

$+q$ [C]の電荷を点Aから点Bまで運ぶのに静電気力がする仕事は、位置エネルギーの差に等しい。静電気力がする仕事を W_{AB} とすると、

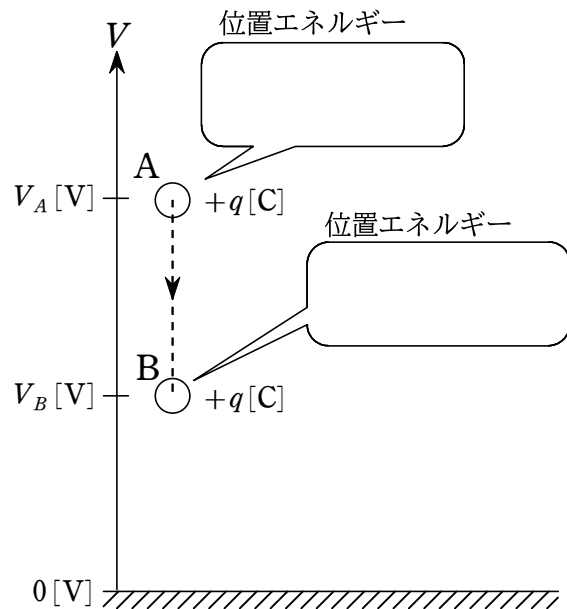
$$W_{AB} =$$

=

=

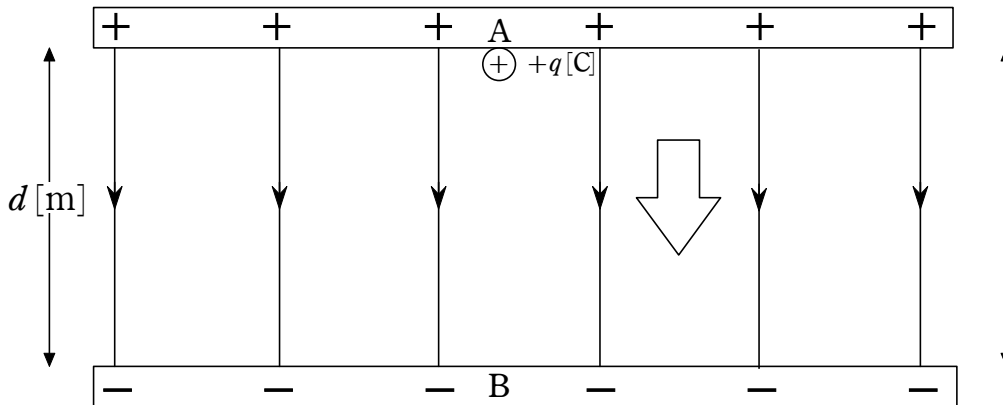
$V = V_A - V_B$ とすると、

V のことを「電位差」または「電圧」という。



C 電場と電位差の関係

ふつう、電場は帯電した物体に近いほど強く、遠くなるほど弱くなっていきます。しかし、正・負ひとしく帯電させた金属板を接近させて平行に置くと、その間の電場は一様とみなすことができます。これを「 」といいます。



強さ E [N/C] の電場中にある $+q$ [C] が受ける静電気力は、

$$F =$$

であり、点Aから点B までの d [m] を移動させるときに静電気力がする仕事は、

$$W =$$

となる。AB 間の電位差を V [V] として、点Bを基準にすれば、点Aで持っている位置エネルギーは、

$$U =$$

となる。点Aから点B までに静電気力がする仕事と点Aにおける位置エネルギーは同じ意味なので、

$$=$$

【一様な電場と電位の関係】

また、このページから分かる通り、「電場は電位の高いほうから低いほうへ向かう」ことになります。イメージとしては坂道があって、高い電位の方が文字通り坂道の高いところで、低い電位の方が坂道の下所になります。その傾斜の方向こそが電場の向きになります。それから式変形した2つ目の式に着目すると、電場にはもう一つの単位があることがわかります。

【電場】

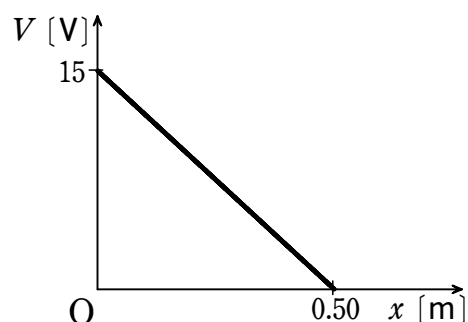
[] または []

問題演習(アウトプット) シャべる、質問する、説明する、動く、他者と協力する

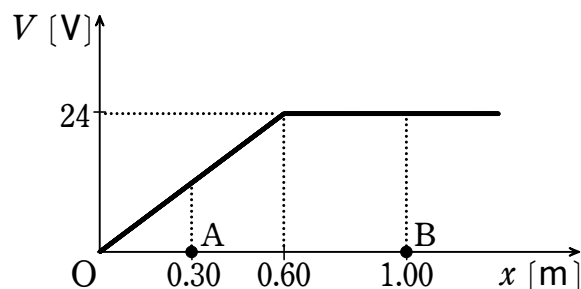
- 1 電位が 2.0 V の位置に置かれた、電気量 $+6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の点電荷のもつ、静電気力による位置エネルギーは何 J か。
- 2 点 A は点 B よりも電位が 2.0 V 高いとする。電気量 $+3.2 \times 10^{-7} \text{ C}$ の電荷を A から B まで運ぶとき、静電気力のする仕事は何 J か。
- 3 強さ 30 V/m の一様な電場の、同じ電気力線上に点 A, B がある。A は B より電位が 15 V 高い。AB 間の距離は何 m か。

- 4 x 軸に平行な一様な電場があり、位置の座標 $x [\text{m}]$ とその点の電位 $V [\text{V}]$ との関係は、図のように表される。

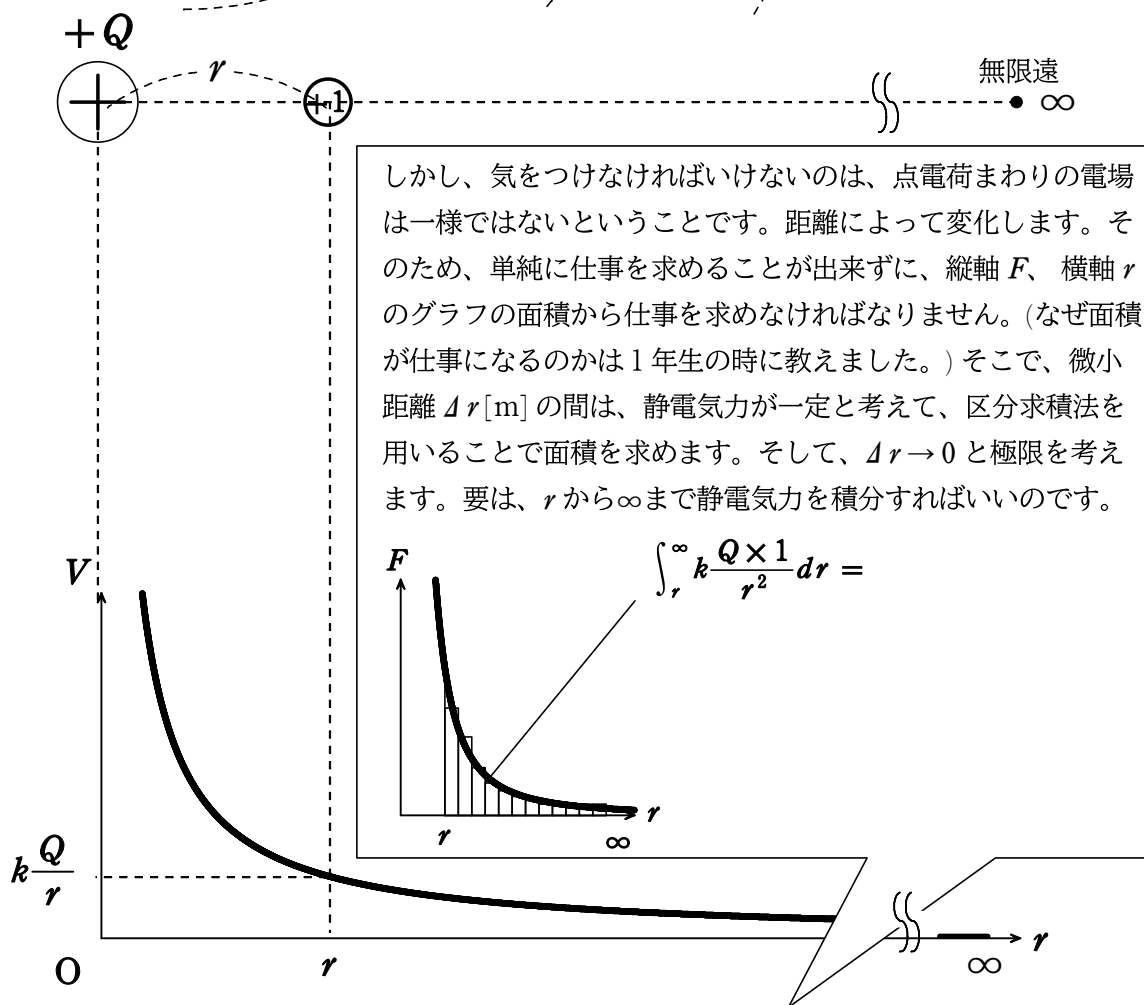
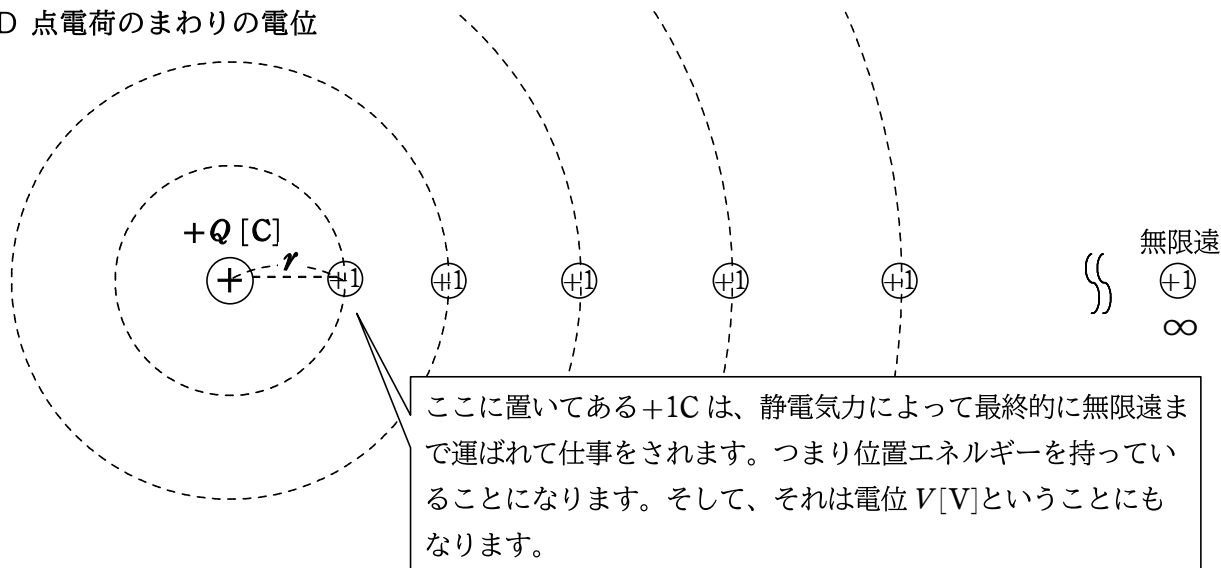
- (1) 電場の向きと強さ $E [\text{V/m}]$ を求めよ。
- (2) この電場内に $+2.4 \times 10^{-7} \text{ C}$ の電荷を置くと、この電荷が電場から受ける力の向きと大きさ $F [\text{N}]$ を求めよ。



- 5 x 軸に平行な方向の電場があり、位置の座標 $x [\text{m}]$ とその点の電位 $V [\text{V}]$ との関係は、図のように表される。
- (1) 点 A, B の電場の強さはそれぞれ何 V/m か。
- (2) $+2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の電荷を点 B から原点 O まで運ぶとき、静電気力のする仕事は何 J か。



D 点電荷のまわりの電位



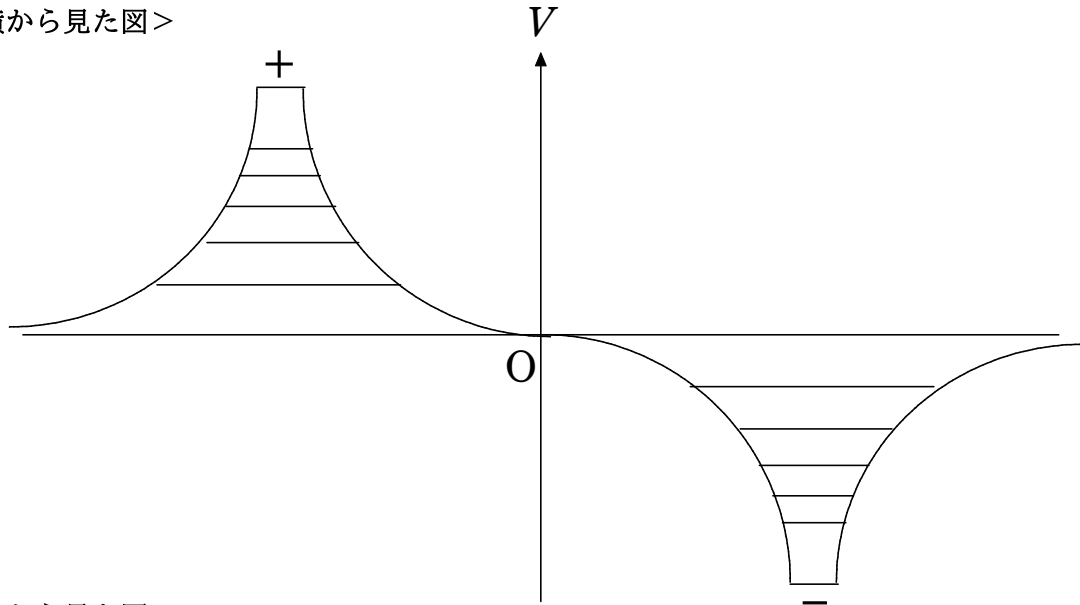
【点電荷まわりの電位】

E 等電位面

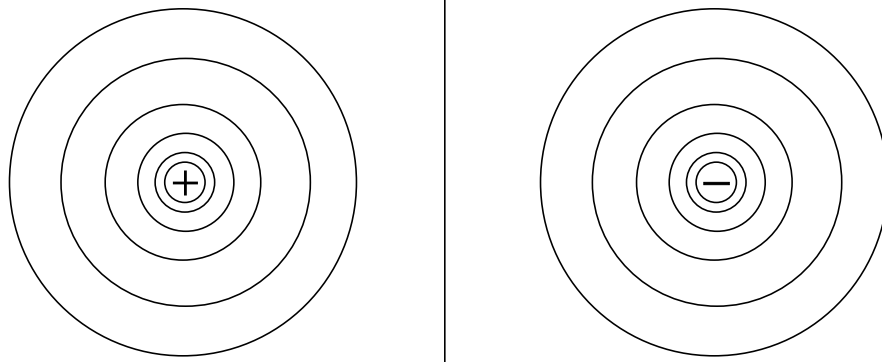
点電荷まわりの電位 $V = k \frac{Q}{r}$ を図で表すと、

- 正電荷まわりでは、遠ざかるほど電位が低くなる → 『山』
- 負電荷まわりでは、中心ほど電位が低くなる → 『谷』

<真横から見た図>



<真上から見た図>



地図の見方と一緒に！！

等電位面・・・電位が等しい点を連ねた面 等電位線・・・電位が等しい点を連ねた線

【等電位線の3つのルール】

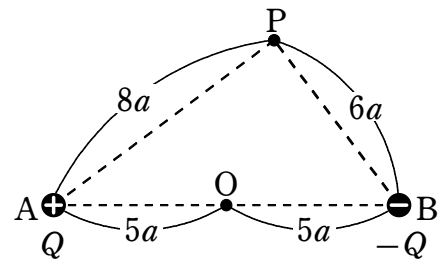
- ・電位の傾きは電場の強さを表している
- ・等電位線の間隔が密なところほど電場が強い
- ・等電位線と電気力線は直行する

電位に関して、ここまで見える眼が獲得できれば申し分ないです。正電荷はそこを中心に盛り上げて電位(高さ)をつくり、その傾斜の方向に傾きに応じた強さの電場ができるのです。見えますか？

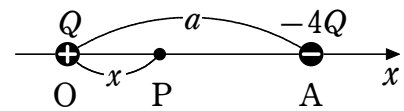
- 1 $+6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の点電荷から 2.0 m 離れた位置の電位を，無限遠を基準として求めよ。クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ とする。

- 2 $-6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ の電荷から 3.0 m 離れた点 A の電位 $V[\text{V}]$ を求めよ。ただし，電位の基準点は無限遠とする。クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ とする。

- 3 図のように， $10a [\text{m}]$ だけ離れた点 A，B に，電気量 Q ， $-Q [\text{C}]$ の点電荷を置いた。点 O，P の電位を，無限遠を基準としてそれぞれ求めよ。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。

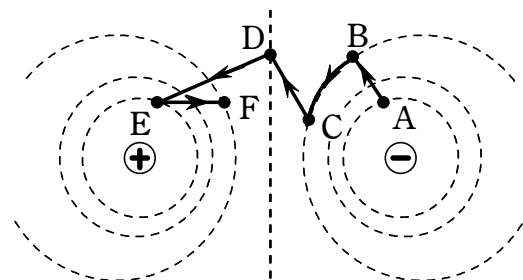


- 4 図のように、電気量 Q , $-4Q$ [C] の2つの点電荷を x 軸上の点 O , A に置いた。点 O , A の間の距離は a [m] である。クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] とする。



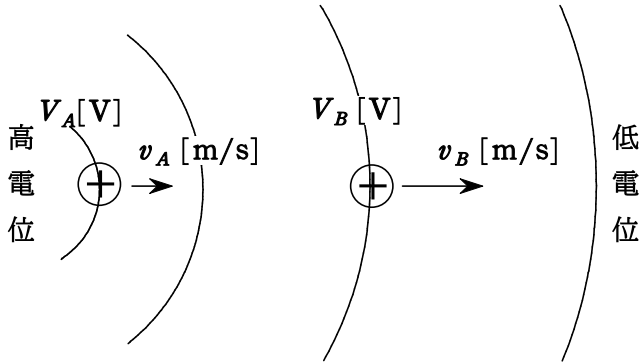
- (1) 点 O , A の間に点 P をとる。 OP の長さを x [m] ($0 < x < a$) として、点 P の電位 V [V] を x を含む式で表せ。電位の基準を無限遠とする。
- (2) $V=0$ となると、点 P の x 座標を a を用いて表せ。

- 5 図で (+), (-) はそれぞれ正, 負で等量の電荷, 破線は 2V ごとの等電位面を表す。 $+1\text{C}$ の試験電荷を A に置き, 外力を加えて A から F まで太線の経路でゆっくりと運ぶ。このとき, 外力がする仕事は, AB , BC , CD , DE , EF の各区間で何 J か。

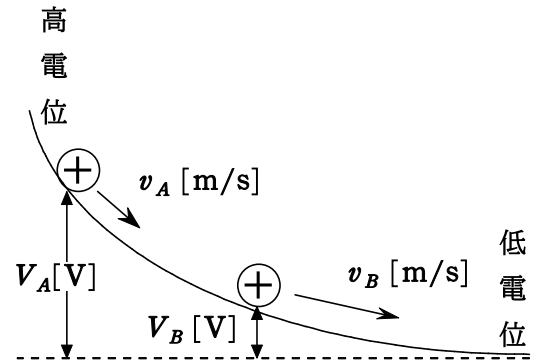


F 静電気力を受ける電荷の運動

<真上から見た図>



<真横から見た図>



【力学的エネルギー保存則
(電気Ver)】

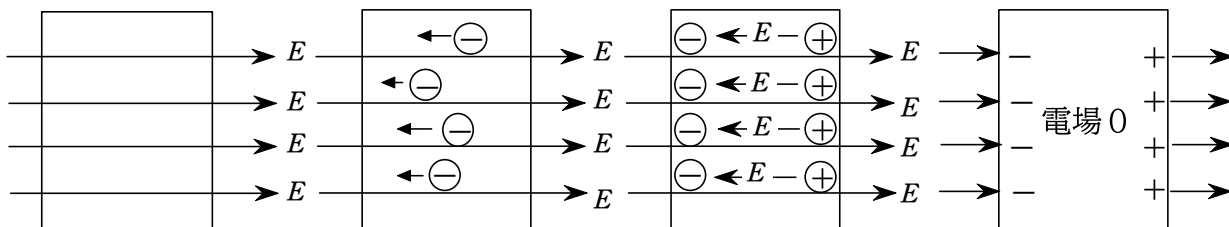
- 1 質量 $6.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、電気量 $3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$ の陽イオンが、静電気力のみを受けて運動する。原点 O (電位 $3.3 \times 10^3 \text{ V}$) を $2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ の速さで通過したとき、点 P (電位 0 V) を通過するときの速さ v [m/s] を求めよ。

- 2 真空中に一様な電場がある。その電場の電気力線にそって 0.30 m 離れた 2 点 A, B 間の電位差が $6.0 \times 10^3 \text{ V}$ である。ただし、電位は A のほうが B より高いとする。
- (1) 電気量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ の陽イオンがこの電場の中にあるとき、このイオンが電場から受ける力の大きさ F [N] を求めよ。
 - (2) このイオンが A から B へ運ばれる間に、電場から受ける仕事 W [J] を求めよ。
 - (3) このイオンは質量 $1.2 \times 10^{-26} \text{ kg}$ のリチウムイオンであり、初め A に静止していたものとする、B に到達したときの速さ v [m/s] を求めよ。

4 物質と電場

A 導体と電場 自由電子があるので静電誘導によって完全に電場を打ち消すことができる。

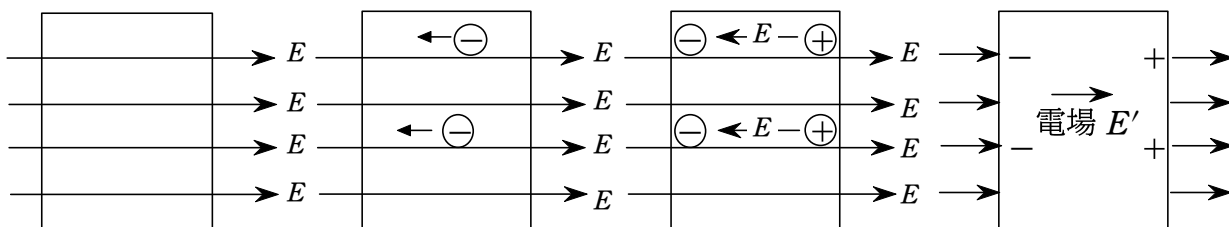
- | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|---|
| ① 導体（金属）を
電場の中に置く。 | ② 導体中の電荷が静
電誘導により、導体
の両端に移動する。 | ③ 移動した電荷が導
体内に電場をつくる。 | ④ この電場が、外の電場
をちょうど打ち消すよう
に配置され、導体内の電
場は0になる。 |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|---|



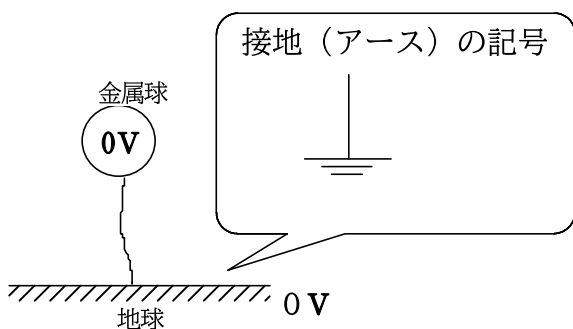
導体内に電場は絶対にできない！！ 電場がない、つまり導体全体は等電位！！

B 不導体と電場 自由電子がないので完全に電場を打ち消すことができない。

- | | | | |
|------------------------|--|-----------------------------------|--|
| ① 不導体（金属）を
電場の中に置く。 | ② 不導体中の電荷が
誘電分極により、不導
体の両端に移動する。 | ③ 移動した電荷が不
導体内に少し弱い電場
をつくる。 | ④ この電場が、外の電場
を打ち消すように配置され
るが、完全には不導体内の
電場は0にならない。 |
|------------------------|--|-----------------------------------|--|

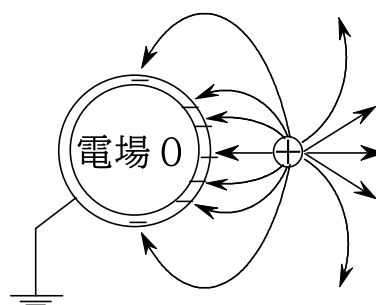


接地（アース）



接地(アース)すると地球の
電位(0V)と等しくなる。

静電遮蔽（せいでんしゃへい）



導体表面の電荷が外の電場の影響を打
ち消すように静電誘導するため、導体
に囲まれた空間に電場はできない。



「不屈不撓の物理ホームページリンク」

パスワード ○○○○