第V章　電気

17　電場と電位(p.212～223)

プロセス (p.214)

1　解答　3.0×10^{13} 個

解説　毛皮から塩化ビニル管へ電子が1個移動すると，塩化ビニル管の電荷は -1.6×10^{-19} C 変化する。移動した電子の数を N 個とすると，　$-1.6\times10^{-19}\times N=-4.8\times10^{-6}$

$$N=\frac{4.8\times10^{-6}}{1.6\times10^{-19}}=3.0\times10^{13}\text{個}$$

➲電気量保存の法則から，毛皮には 4.8×10^{-6} C の正の電荷が生じる。

2　解答　6.0×10^{-3} N

解説　静電気力の大きさを F〔N〕とすると，静電気力に関するクーロンの法則から，

$$F=k\frac{|q_1q_2|}{r^2}=9.0\times10^9\times\frac{|2.0\times10^{-6}\times(-3.0\times10^{-6})|}{3.0^2}$$
$$=6.0\times10^{-3}\,\mathrm{N}$$

➲異なる符号の電荷をもつので，両球間には引力がはたらく。なお，力の大きさを求めるので，計算では絶対値をとる。

3　解答　3.0×10^2 N/C，左向き

解説　負電荷は，電場とは逆向きに静電気力を受ける。負電荷が受ける静電気力は右向きなので，電場は左向きとなる。電場の強さは，$F=qE$ の関係から，

$$E=\frac{F}{q}=\frac{6.0\times10^{-4}}{2.0\times10^{-6}}=3.0\times10^2\,\mathrm{N/C}$$

➲電場の向きは別に考えて，$E=F/q$ の式では，電場の強さだけを求めているので，q には電気量の大きさを代入している。

4　解答　2.0×10^5 N/C

解説　点電荷 Q から距離 r はなれた点の電場の強さ E は，

$$E=k\frac{Q}{r^2}=9.0\times10^9\times\frac{8.0\times10^{-6}}{0.60^2}=2.0\times10^5\,\mathrm{N/C}$$

5　解答　(ア) B　(イ) 15V

解説　(ア)　正電荷を点AからBへ運ぶのに，外力が正の仕事をしているので，Bの電位が高い。

(イ)　電荷 q を電位が V だけ高い位置に移すとき，外力が電荷にする仕事 W は，$W=qV$ と表される。電位差は，

$$V=\frac{W}{q}=\frac{30}{2.0}=15\,\mathrm{V}$$

➲正電荷を電位の低い点から高い点に移すとき，外力は正の仕事をする。また，正電荷が受ける静電気力は，高い点から低い点への向きとなる。

6　解答　6.0×10^3 V/m，1.2×10^{-2} N

解説　平行板極間の電場の強さ E〔V/m〕は，

$$E=\frac{V}{d}=\frac{300}{5.0\times10^{-2}}=6.0\times10^3\,\mathrm{V/m}$$

電場 E の中に置かれた大きさ q の電荷が受ける力の大きさ F は，$F=qE$ と表され，　$F=(2.0\times10^{-6})\times(6.0\times10^3)=1.2\times10^{-2}$ N

➲極板間には一様な電場ができるので，$E=\dfrac{V}{d}$ の式を用いる。

➲q には電気量の大きさを代入している。

問題 (p.217～219，221～223)

435. 電荷の保存と静電気力

解答　(1) 29N，引力　(2) 3.6N，斥力

指針　同じ大きさ，材質の導体球をしばらく接触させると，均等に電荷が分かれる。静電気力に関するクーロンの法則 $F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}$ を利用する。

解説　(1)　静電気力の大きさを F〔N〕とすると，静電気力に関するクーロンの法則から，

$$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}=9.0\times10^9\times\frac{(2.0\times10^{-5})\times(4.0\times10^{-5})}{0.50^2}=28.8\,\mathrm{N}\qquad 29\,\mathrm{N}$$

異符号の電荷なので，静電気力は引力となる。

(2)　それぞれの導体球に帯電した電気量 q〔C〕は等しくなる。電気量保存の法則から，

$$q=\frac{(2.0\times10^{-5})+(-4.0\times10^{-5})}{2}=-1.0\times10^{-5}\,\mathrm{C}$$

静電気力の大きさを F'〔N〕とすると，静電気力に関するクーロンの法則 $F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}$ から，

$$F'=9.0\times10^9\times\frac{(1.0\times10^{-5})\times(1.0\times10^{-5})}{0.50^2}=3.6\,\mathrm{N}$$

同符号の電荷なので，静電気力は斥力となる。

➲静電気力に関するクーロンの法則を単にクーロンの法則ということもある。

➲$F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}$ の式では，力の大きさを求めており，q_1，q_2 には電気量の大きさを代入している。

➲接触させる前後において，導体球がもつ電気量の和は一定に保たれる。

436. クーロンの法則

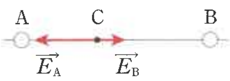
解答　(1) 2.3×10^{-8} N　(2) 50V/m，B→Aの向き
(3) 8.0×10^{-8} N，A→Bの向き

指針　A，Bの電荷が，それぞれ点Cにつくる電場をベクトルとして求め，それらを合成する。(3)では，$\vec{F}=q\vec{E}$ の関係式を用いる。$q<0$ なので，$\vec{F}$ と $\vec{E}$ は互いに逆向きである。

解説　(1)　静電気力の大きさを F とすると，静電気力に関するクーロンの法則から，

$$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}=9.0\times10^9\times\frac{(1.6\times10^{-9})\times(1.6\times10^{-9})}{1.00^2}$$
$$=2.30\times10^{-8}\,\mathrm{N}\qquad 2.3\times10^{-8}\,\mathrm{N}$$

(2)　A，Bの電荷が点Cにつくる電場を $\vec{E_A}$，$\vec{E_B}$ とする(図)。それぞれの電場の強さ E_A，E_B を計算すると，



$$E_A=9.0\times10^9\times\frac{1.6\times10^{-9}}{0.40^2}=90\,\mathrm{V/m}\qquad \text{B→Aの向き}$$

$$E_B=9.0\times10^9\times\frac{1.6\times10^{-9}}{0.60^2}=40\,\mathrm{V/m}\qquad \text{A→Bの向き}$$

合成電場を $\vec{E}$ とすると，その強さ E は，

$E=E_A-E_B=50$ V/m　B→Aの向き

(3)　静電気力の大きさ F' は，

$F'=qE=(1.6\times10^{-9})\times50=8.0\times10^{-8}$ N

負電荷は電場と逆向きに力を受けるので，静電気力はA→Bの向き

➲$F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}$ の式では，力の大きさを求めており，q_1，q_2 には電気量の大きさを代入している。

➲電場の強さは，$E=k\dfrac{Q}{r^2}$ の式を用いて計算している。

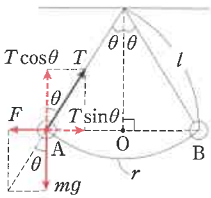
➲合成電場の強さ E を求めるには，大きい E_A から小さい E_B を引く。向きは，大きい $\vec{E_A}$ と同じ向きとなる。

437. 電気振り子

解答 (1) $mg\tan\theta$ (2) $2l\sin\theta\sqrt{\frac{mg\tan\theta}{k}}$

指針 小球にはたらく力は，重力，糸の張力，静電気力の3力であり，静電気力は水平方向にはたらく。(1) 小球にはたらく力のつりあいの式を立てる。(2) 静電気力に関するクーロンの法則を用いる。

解説 (1) AB間にはたらく静電気力は斥力となる。糸の張力をT，静電気力をFとすると，Aが受ける力は図のようになる。水平方向，鉛直方向の力のつりあいの式を立てると，



水平方向：$F=T\sin\theta$ …①

鉛直方向：$mg=T\cos\theta$ …②

式①，②から，Tを消去して，　$F=mg\tan\theta$

(2) AO間の距離は$l\sin\theta$なので，AB間の距離rは$2l\sin\theta$である(図)。静電気力に関するクーロンの法則$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$と，(1)の結果を用いると，$q>0$なので，

$$k\frac{q^2}{(2l\sin\theta)^2}=mg\tan\theta \qquad q=2l\sin\theta\sqrt{\frac{mg\tan\theta}{k}}$$

438. 点電荷のつくる電場と電位

解答 (1) $2k\frac{Q^2}{a^2}$，y軸の負の向き (2) $\frac{2kQc}{(a^2+c^2)^{\frac{3}{2}}}$，$x$軸の正の向き (3) C：$2k\frac{Q}{\sqrt{a^2+c^2}}$，O：$2k\frac{Q}{a}$

指針 AとBを接触させると，両者の電荷が等しくなる。複数の点電荷による電場は，それぞれの電荷による電場のベクトル和として求められる。電位は，それぞれの電荷による電位のスカラー和として求められる。

解説 (1) A，Bの電荷は異種であるため，引力がはたらく。したがって，Aにはたらく静電気力の向きは，y軸の負の向きである。静電気力の大きさは，AB間の距離が$2a$なので，静電気力に関するクーロンの法則を用いて，$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$から，　$k\frac{4Q\times 2Q}{(2a)^2}=2k\frac{Q^2}{a^2}$

(2) 同じ金属球なので，接触後のAとBの電荷は等しい。したがって，

A，Bの電荷は，　$\frac{4Q+(-2Q)}{2}=Q$　（A，Bの電荷はともにQ）

A，Bの電荷が，点Cにつくる電場をそれぞれ$\vec{E_{AC}}$，$\vec{E_{BC}}$とする。A，Bから点Cまでの距離は等しく，$\sqrt{a^2+c^2}$である。また，A，Bの電荷も等しいので，それぞれがつくる電場の強さは等しい。その強さは，

$$E_{AC}=E_{BC}=k\frac{Q}{a^2+c^2}$$

図の角をθとすると，

➡静電気力は，2つの電荷を結ぶ直線方向にはたらく。

➡(1) 力を示した図から，$\frac{F}{mg}=\tan\theta$の式が成り立ち，$F=mg\tan\theta$がすぐに求められる。

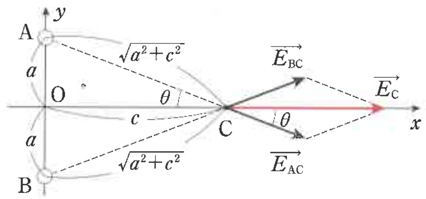
➡(1)では，指定された記号を用いて解答をするために，力のつりあいの式を立てる。クーロンの法則の式は，(2)で用いる。

➡静電気力の大きさを求めるので，電気量の大きさを用いて計算する。

➡単に電荷という場合でも，電気量を示すことがある。

➡電場$\vec{E_{AC}}$，$\vec{E_{BC}}$のようすを図示すると，上下対称となる。合成電場は，この対称性を利用して効率的に計算する。

$$\cos\theta=\frac{c}{\sqrt{a^2+c^2}}$$



点Cの合成電場を$\vec{E_C}$とすると，向きはx軸の正の向きである。その強さE_Cは，

$$E_C=2\times E_{AC}\cos\theta$$
$$=2\times k\frac{Q}{a^2+c^2}\times\frac{c}{\sqrt{a^2+c^2}}$$
$$=\frac{2kQc}{(a^2+c^2)^{\frac{3}{2}}}$$

(3) 点C，原点Oの電位は，A，Bの各電荷による電位のスカラー和となる。Aの電荷が，点CとOにつくる電位をそれぞれV_{AC}，V_{AO}，Bの電荷が，点CとOにつくる電位をそれぞれV_{BC}，V_{BO}とする。A，Bの電荷はともにQであり，V_{AC}とV_{BC}，V_{AO}とV_{BO}はそれぞれ等しい。電位の公式$V=k\frac{Q}{r}$から，

$$V_{AC}=V_{BC}=k\frac{Q}{\sqrt{a^2+c^2}}$$
$$V_{AO}=V_{BO}=k\frac{Q}{a}$$

点CとOの合成電位をそれぞれV_C，V_Oとすると，

$$V_C=V_{AC}+V_{BC}=2k\frac{Q}{\sqrt{a^2+c^2}}$$
$$V_O=V_{AO}+V_{BO}=2k\frac{Q}{a}$$

439. 電気力線の本数

解答 (1) $k\frac{q}{r^2}$〔N/C〕 (2) $4\pi kq$本

指針 電場の強さがE〔N/C〕のところでは，電場に垂直な面を単位面積あたりE本の電気力線が貫く。この定義を利用する。

解説 (1) 球面は点電荷からr〔m〕の距離にあるので，球面の位置での電場の強さE〔N/C〕は，

$$E=k\frac{q}{r^2}\text{〔N/C〕}$$

(2) 半径r〔m〕の球面を垂直に貫く電気力線は，単位面積あたり$E=k\frac{q}{r^2}$〔本〕である。球の表面積は$4\pi r^2$〔m²〕なので，電気力線の総本数をN本とすると，

$$N=4\pi r^2\times E=4\pi r^2\times k\frac{q}{r^2}=4\pi kq\text{ 本}$$

➡電場の強さE_{AC}，E_{BC}は，$E=k\frac{Q}{r^2}$の式を用いて計算している。

➡$\frac{c}{\sqrt{a^2+c^2}}=\frac{c}{(a^2+c^2)^{\frac{1}{2}}}$から，$E_C$の分母の計算は，$(a^2+c^2)\times(a^2+c^2)^{\frac{1}{2}}=(a^2+c^2)^{\frac{3}{2}}$

➡電場の対称性を考えると，電気力線は，点電荷から放射状に均等に広がり，点電荷を中心とした球面を垂直に貫く。