

夏期第3講 演習問題

① [2011 神戸大]

【解答】 (1)  $k_0 \frac{Q^2}{L^2}$  (2) 加速度:  $\frac{2QE}{M+m}$ , 張力:  $\frac{M-m}{M+m}QE + k_0 \frac{Q^2}{L^2}$  (3)  $k_0 \frac{Q^2 L}{d^3}$

(4)  $\sqrt{\frac{2k_0 M(L-d)}{Ldm(M+m)}} Q$

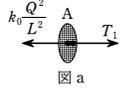
【解説】

② (2) 糸の張力がはたらいっていることから、AB間の距離は一定に保たれる。そのためAとBの加速度は等しい。

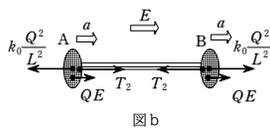
(4) A、Bにはたらく水平方向の力は内力である静電気力だけなので、運動量と力学的エネルギーはともに保存される。

(1) ビーズAにはたらく水平方向の力を図示すると、図aのようになる。求める糸の張力の大きさを $T_1$ とすると、水平方向の力のつりあいの式より

$$T_1 = k_0 \frac{Q^2}{L^2}$$



(2) ビーズA、Bにはたらく水平方向の力を図示すると、図bのようになる。糸の張力がはたらいっていることから、AB間の距離はLである。よって、AB間にはたらく静電気力の大きさは(1)と同様  $k_0 \frac{Q^2}{L^2}$  であり、



またAとBの加速度はともに等しい。求める加速度と糸の張力の大きさをそれぞれ $a$ 、 $T_2$ とすると、A、Bそれぞれの運動方程式は図bより

$$A: Ma = QE + T_2 - k_0 \frac{Q^2}{L^2} \quad \dots\dots ①$$

$$B: ma = QE + k_0 \frac{Q^2}{L^2} - T_2 \quad \dots\dots ②$$

①式+②式より $T_2$ を消去して  $(M+m)a = 2QE$

ゆえに  $a = \frac{2QE}{M+m}$

また、これを①式に代入して

$$T_2 = Ma - QE + k_0 \frac{Q^2}{L^2} = M \cdot \frac{2QE}{M+m} - QE + k_0 \frac{Q^2}{L^2} = \frac{M-m}{M+m}QE + k_0 \frac{Q^2}{L^2}$$

(3) 求める糸の張力の大きさを $T_3$ とすると、AとBそれぞれにはたらく力は図cのようになる。図cのように角度 $\theta$ を定めると、Aにはたらく水平方向の力のつりあいより

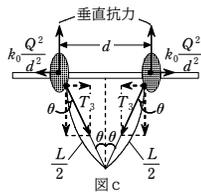
$$k_0 \frac{Q^2}{d^2} = T_3 \sin \theta$$

ここで、 $\sin \theta$ は図cより

$$\sin \theta = \frac{d}{L} = \frac{d}{L}$$

$$\text{よって } T_3 = k_0 \frac{Q^2}{d^2 \sin \theta} = k_0 \frac{Q^2}{d^2 \cdot \frac{d}{L}} = k_0 \frac{Q^2 L}{d^3}$$

(4) 糸に張力が発生する直前のA、Bの速さをそれぞれ $v$ とする。A、Bにはたらく



水平方向の力は内力である静電気力だけなので、運動量は保存される。糸を静かにはなした瞬間のA、B全体の運動量は0であるから、運動量保存則より

$$0 = -Mv + mv \quad \dots\dots ③$$

また、静電気力による位置エネルギーは「 $U=qV$ 」であるので、力学的エネルギー保存則より

$$k_0 \frac{Q^2}{d} = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}mv^2 + k_0 \frac{Q^2}{L} \quad \dots\dots ④$$

③式より  $V = \frac{m}{M}v$

これを④式に代入して

$$k_0 \frac{Q^2}{d} = \frac{1}{2}M \left( \frac{m}{M}v \right)^2 + \frac{1}{2}mv^2 + k_0 \frac{Q^2}{L}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 \left( \frac{m}{M} + 1 \right) = k_0 Q^2 \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{L} \right)$$

$$\frac{m(M+m)}{2M}v^2 = k_0 Q^2 \frac{L-d}{Ld}$$

$$\text{よって } v = \sqrt{\frac{2k_0 M(L-d)}{Ldm(M+m)}} Q$$

←※A 静電気力による位置エネルギーは、片方の電荷に対して、もう片方の電荷を近づけるときに必要な仕事を表すので、 $2k_0 \frac{Q^2}{L}$ とはならない。

② [福岡大]

【解答】 (1) (a) (ア) 開いた (イ) ③ (b) (ウ) 閉じた (エ) ⑤

(c) (オ) 開いた

(2) (a) (カ) 小さくなる (b) (キ) ⑨ (c) (ク) 負

(3) 箱の開きは変わらない

理由：帯電体の周囲の電気力線は金属の板の内部に入りこまない(静電遮へい)から、内部には電場がない。よって、箱の開きは変わらない。

【解説】

①(a) 『Xを正に帯電』⇒Xに引かれて、Zの電子の一部がYに移動

(b) 『XをYに近づけたまま、Yを指で触れる』⇒Xに引かれて指から電子が移動

(c) 箱検電器全体は負に帯電。

(2)(a) 静電誘導によってXの上側に正、下側に負の電荷が生じる。

(b) 同じ金属の中では電位は等しい。

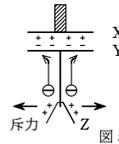
(c) 『Xを指で触れて接地』⇒Yの電荷とつりあうように電子が移動

(3) 静電遮へいにより金属の板の内部に電場は生じない。

(1)(a)(ア) 開いた

(イ) 正に帯電したXが金属板Yに近づくと、図aのように静電誘導が起きて箱Zの電子の一部がYに移動する。その結果、Yは電子過剰で負に、Zは電子不足で正に帯電する。この正電荷どうしの斥力によってZは開く(図a)。……③

(b)(ウ) 閉じた



(エ) 指を触れると地面と導通し、指を通してZの正電荷に引かれて電子がZに移動する。よって、Zの電荷は中性となりZどうしの斥力がなくなって閉じる(図b)。……⑤

(c)(オ) 指を遠ざけると箱検電器は地面から絶縁されるため、(b)で入ってきた電子はもどれないので、箱検電器全体は負に帯電している。XをYから遠ざけると、Xに引きつけられていたY上の負電荷(電子)が互いに反発し、箱検電器の金属部分全体に分布するようになる。よって、Zも負に帯電して斥力によって開く。……開いた

(2)(a)(カ) 図cのように、箱検電器が正に帯電しているので、静電誘導によりXの下側に負、Xの上側に正の電荷が生じる。Xの下側の負電荷と反発して箱検電器内の電子がZに移動する。よってZは正電荷が減少し、開きが小さくなる(図c)。……小さくなる

(b)(キ) Xを接地することにより  $V_X=0$ 、Y、Zには正の電荷があるので、電位は正( $V_Y>0, V_Z>0$ )であり、同じ金属の中は同電位であることから  $V_Y=V_Z$  よって  $V_X<V_Y=V_Z$  ……⑨

(c)(ク) Xを接地することにより、地面からXへ電子が入りこみ、Yの電荷とつりあうところで安定する。よって、Xは中性の状態から電子が加わり負の電荷をもつ。……負

(3) 箱の開きは変わらない。

(理由) 帯電体の周囲の電気力線は金属の板の内部に入りこまない(静電遮へい)から、内部には電場がない。よって、箱の開きは変わらない。

