物理基礎・物理

問題１

(1)

衝突前に小球 B に働いている力は重力だけなので、小球の糸に働いている張力は重力に等しい。したがって、

$$T_B = M_B g \text{〔N〕}$$

答．$M_B g$〔N〕

(2)

衝突直前に小球 A に働く力は重力と遠心力である。それらの向きは鉛直下向きであり、糸の張力とつり合っている。

重力は$M_{\mathrm{A}} g$〔N〕である。

遠心力を求める。衝突直前の小球 A の速度をv_{A} とすると、力学的エネルギー保存の法則より、

$$\frac{1}{2} M_A v_A^2 = M_A g(L_A - L_A \cos 60°)$$

よって

$$v_A^2 = 2gL_A\left(1 - \frac{1}{2}\right) = gL_A$$

遠心力は

$$M_A \frac{v_A^2}{L_A} = M_A \frac{gL_A}{L_A} = M_A g \text{〔N〕}$$

したがって、糸の張力は

$$T_A = M_{\mathrm{A}} g + M_{\mathrm{A}} g = 2M_{\mathrm{A}} g \text{〔N〕}$$

答．$2M_A g$〔N〕

(3)

衝突直前の小球 A の速度をv_{A} とすると、前問の計算過程から

$$v_{\mathrm{A}} = \sqrt{gL_A} \quad 〔\mathrm{m/s}〕$$

運動量保存の法則より、

$$M_B v_B = M_A v_A$$

よって、

$$v_B = \frac{M_A}{M_B} v_A = \frac{M_A}{M_B}\sqrt{gL_A} \quad 〔\mathrm{m/s}〕$$

答. $\frac{M_A}{M_B}\sqrt{gL_A}$ 〔m/s〕

(4)

小球 B の速度が再び 0m/s になった時、小球の糸と鉛直線のなす角は十分に小さいことから、小球 B の振り子の振幅は十分に小さく、単振り子とみなせる。

この周期をTとすると、

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L_B}{g}} \quad 〔\mathrm{s}〕$$

小球 A と小球 B が最初に衝突してから再び衝突するまでの時間t は小球 B の振り子の $\frac{1}{2}$ 周期と考えられるので、

$$t = \frac{1}{2}T = \pi\sqrt{\frac{L_B}{g}} \quad 〔\mathrm{s}〕$$

答. $\pi\sqrt{\frac{L_B}{g}}$ 〔s〕

問題２

(1)

点 A および点 B から、点 C までの距離は 2 m であるから、

点 A による電位　$V_A = k \cdot \frac{-q}{2}$

点 B による電位　$V_B = k \cdot \frac{4q}{2}$

となる。よって、点 C での電位　$V_C = V_A + V_B = \frac{3}{2}kq$

答.　$\frac{3}{2}kq$〔V〕

(2)

原点 O での電位 V_O を求める

点 A による電位 $V_A = k \cdot (-q)$　点 B による電位 $V_B = k \cdot 4q$ であるから、

$V_O = V_A + V_B = 3kq$

点 O と点 C の電位差

$$V_O - V_C = 3kq - \frac{3}{2}kq = \frac{3}{2}kq \ [\mathrm{V}]$$

よって、必要な仕事を W とすると

$W = q(V_O - V_C) = \frac{3}{2}kq^2$

答.　$\frac{3}{2}kq^2$〔J〕

(3)

点 A による電場の強さ

$E_A = k \cdot \frac{q}{2^2}$

点 A による電場の x 成分：$-E_A \times \frac{1}{2} = -\frac{1}{8}kq$

点 A による電場の y 成分：$-E_A \times \frac{\sqrt{3}}{2} = -\frac{\sqrt{3}}{8}kq$

点 B による電場の強さ

$E_B = k \cdot \frac{4q}{2^2}$

点 B による電場の x 成分：$-E_B \times \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}kq$

点 B による電場の y 成分：$E_B \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}kq$

よって、点 C における電場の x 成分

$-\frac{1}{8}kq - \frac{1}{2}kq = -\frac{5}{8}kq$

また、点 C における電場の y 成分

$-\frac{\sqrt{3}}{8}kq + \frac{\sqrt{3}}{2}kq = \frac{3\sqrt{3}}{8}kq$

答.　x 成分　$-\frac{5}{8}kq$〔N/C〕、y 成分　$\frac{3\sqrt{3}}{8}kq$　〔N/C〕

(4)

点 A による電場と点 B による電場の向きが反対、また、
強さが同じ点において電場の強さが 0 になる。

これらを満たすのは、点 A の左側である。
ここで、この点の座標を（x , 0）とする。ただし、$x<-1$

点 A による電場の強さ：$k\dfrac{q}{(x+1)^2}$

点 B による電場の強さ：$k\dfrac{4q}{(x-1)^2}$

この両者が釣り合う点において、電場の強さが 0 になる。

$$k\frac{q}{(x+1)^2} = k\frac{4q}{(x-1)^2}$$

式を変形して、
$3x^2+10x+3=0$
$(3x+1)(x+3)=0$

$x<-1$ であるから、$x=-3$

答.　$(-3,\ 0)$

問題３

(1)

ピストンのつりあいから

$$P_1 2S + 2Mg + P_0 S + Mg = P_0 2S + P_2 S$$
$$P_2 S = 2P_1 S + 3Mg - P_0 S$$
$$P_2 = 2P_1 + \frac{3Mg}{S} - P_0$$

答．$2P_1 + \frac{3Mg}{S} - P_0$〔Pa〕

(2)

シリンダーB 内の気体の圧力 P_B は、ピストンのつり合いから

$$P_\mathrm{A} S = P_\mathrm{B} 2S$$
$$P_\mathrm{B} = \frac{1}{2} P_\mathrm{A}$$

答．$\frac{1}{2} P_\mathrm{A}$〔Pa〕

(3)

シリンダーA、B 内の気体を状態方程式で表すと、

$$P_\mathrm{A} V_\mathrm{A} = nRT_0 \quad \cdots ①$$
$$P_\mathrm{B} V_\mathrm{B} = 3nRT_0 \quad \cdots ②$$

(2)の結果および式①②より、

$$\frac{1}{2} P_\mathrm{A} V_\mathrm{B} = 3 P_\mathrm{A} V_\mathrm{A}$$
$$V_\mathrm{B} = 6 V_\mathrm{A}$$

答．$6V_\mathrm{A}$〔m^3〕

(4)

温度変化後のシリンダーA の気体の圧力を P'_{A}、シリンダーB の気体の圧力と体積を P'_{B}、V'_{B} とすると、

$$P'_{\mathrm{A}}V'_{\mathrm{A}} = nR2T_0 \qquad \cdots③$$

$$P'_{\mathrm{B}}V'_{\mathrm{B}} = 3nRT_0 \qquad \cdots④$$

シリンダー内のピストンの力のつり合いより、

$$P'_{\mathrm{A}}S = P'_{\mathrm{B}}2S$$

$$P'_{\mathrm{B}} = \frac{1}{2}P'_{\mathrm{A}} \qquad \cdots⑤$$

温度上昇により、ピストンが右方向に x だけ移動したとすると、シリンダーA の体積増加は Sx となり、断面積を考慮するとシリンダーB の体積減少は $2Sx$ となる。

ここで $Sx = V'_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{A}}$ であることから、変化後のシリンダーB の体積 V'_{B} は

$$\begin{aligned} V'_{\mathrm{B}} &= V_{\mathrm{B}} - 2Sx \\ &= V_{\mathrm{B}} - 2(V'_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{A}}) = 6V_{\mathrm{A}} - 2V'_{\mathrm{A}} + 2V_{\mathrm{A}} \\ &= 8V_{\mathrm{A}} - 2V'_{\mathrm{A}} \qquad \cdots⑥ \end{aligned}$$

式③⑤⑥を式④に代入して、

$$\frac{1}{2}P'_{\mathrm{A}}(8V_{\mathrm{A}} - 2V'_{\mathrm{A}}) = \frac{3}{2}P'_{\mathrm{A}}V'_{\mathrm{A}}$$

$$8V_{\mathrm{A}} = 5V'_{\mathrm{A}}$$

$$\frac{V'_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{A}}} = \frac{8}{5} = 1.6$$

答．1.6 倍

問題４

(1)

ア	可 視	イ	紫 外 線
ウ	赤 外 線	エ	屈　折
オ	紫	カ	赤

(2)

空気中での光の速さ、振動数、波長をそれぞれ c, ν, λ とすると、式 $c = \nu\lambda$ が成り立つ。この式を変形して、

$$\nu = c/\lambda = \frac{3.0\times10^{8}}{7.5\times10^{-7}} = 4.0\times10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

答．4.0×10^{14} 〔Hz〕

(3)

波長が短い光ほど多くの割合を散乱させる

(4)

雲粒子によって太陽光が散乱される割合が光の波長によらず一定であり、光の分散が起こりにくいためであると考えられる。