$\boxed{1}$ 解答例

〔1〕

問1 $\rho V g$

問2 $M > \mu m + \rho V$

問3 物体の運動方程式：$ma = T - \mu' mg$

おもりの運動方程式：$Ma = Mg - \rho V g - T$

問4 $a = \dfrac{g(M - \rho V - \mu' m)}{m + M}$

$T = \dfrac{mg(M - \rho V + \mu' M)}{m + M}$

問5 $-\mu' mgL$

問6 物体が点Pに到達したときの物体とおもりの速さを v とすると，等加速度直線運動であることから，

$v^2 - 0 = 2aL$

問4の結果から，

$v^2 = \dfrac{2Lg(M - \rho V - \mu' m)}{m + M}$

ゆえに，運動エネルギーの和は，

$\dfrac{1}{2}(m + M)v^2 = Lg(M - \rho V - \mu' m)$

〔2〕

問1

水平方向　$T\sin\alpha = N\cos\theta$

鉛直方向　$T\cos\alpha + N\sin\theta = mg$

問2

$$T = \frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}mg$$
$$N = \frac{\sin\alpha}{\cos(\theta-\alpha)}mg \tag{1}$$

問3 半円柱が水平面から受ける摩擦力の大きさを f とおくと，

$$f = \frac{\sin\alpha\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}mg \tag{2}$$

問4 半円柱が水平面から受ける垂直抗力の大きさを N' とおくと，力のつり合いの式より，

$$N' = N\sin\theta + Mg \tag{3}$$

$f = \mu N'$ になるときが最大摩擦力なので

$$\mu N' \geqq f$$

これと，式 (1)，式 (2)，式 (3) より

$$\mu \geqq \frac{f}{N'} = \frac{\frac{\sin\alpha\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}mg}{\frac{\sin\alpha\sin\theta}{\cos(\theta-\alpha)}mg + Mg} = \frac{m\sin\alpha\cos\theta}{m\sin\alpha\sin\theta + M\cos(\theta-\alpha)}$$

$\boxed{2}$ 解答例

〔1〕

問1

$$\frac{3V}{5}$$

問2

$$\left(\frac{3}{5}-\frac{d}{L}\right)CV$$

問3

$$d_0=\frac{3}{5}L$$

問4 EF 間の合成抵抗の値は $5R$，AB 間の抵抗値は R なので，回路全体の抵抗値は $\frac{1}{\frac{1}{5R}+\frac{1}{R}}=\frac{5R}{6}$ であるので $\frac{6V^2}{5R}$

問5 コンデンサーの両端の電位差を V'，EG 間に流れる電流の大きさを I_{EG}, GF 間に流れる電流の大きさを I_{GF} とすると $V'=(3R+\frac{d_1R}{L})I_{\mathrm{EG}}=(2R+\frac{(L-d_1)R}{L})I_{\mathrm{GF}}$ を得る。これより，$\frac{I_{\mathrm{EG}}}{I_{\mathrm{GF}}}=\frac{3L-d_1}{3L+d_1}=\frac{4}{5}$ となるので，これを d_1 について解けば $d_1=\frac{L}{3}$

問6 回路全体で発生したジュール熱はコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーと等しく，それは問2から $\frac{1}{2}\left(\frac{3}{5}-\frac{d_1}{L}\right)^2CV^2$ である。$d_1=\frac{L}{3}$ を代入すると $\frac{8}{225}CV^2$

〔2〕

問 1 磁場の大きさは $\dfrac{I}{2\pi a}$，磁場の向きは③

問 2 力の大きさは $\dfrac{\mu_0 I^2 b}{4\pi a}$，力の向きは①

問 3 導線 C の座標を $(c, 0)$ とおく。導線 A からの力とつり合うためには，$c > -a$ である。導線 C と導線 A の電流が導線 B に及ぼす力の大きさが等しいので，

$$\frac{3\mu_0 I^2 b}{2\pi(c+a)} = \frac{\mu_0 I^2 b}{4\pi a}$$

これを解くと $c = 5a$

よって導線 C が置かれた位置の x 座標は，$x = 5a$

問 4 全ての導線の電流について，x 軸上に作る磁場は y 軸に平行になる。

x 軸上の点 $(x, 0)$ での磁場 $H(x)$ の y 成分は，それぞれの電流の作る磁場の和となる。

$$H(x) = \frac{-I}{2\pi(x+a)} + \frac{-I}{2\pi(x-a)} + \frac{3I}{2\pi(x-5a)}$$

これが 0 になるので，

$x^2 + 10ax - 3a^2 = 0$

これを解くと

$x = (-5 \pm 2\sqrt{7})a$

となる。

よって x 軸上で磁場が 0 になる点の x 座標は

$x = (-5 + 2\sqrt{7})a$ と $x = (-5 - 2\sqrt{7})a$

$\boxed{3}$ 解答例

〔1〕

問1 力のつり合いより

$$p_1 S = p_0 S + Mg \qquad \therefore p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$$

問2 状態方程式より

$$p_1 S\ell = nRT_1 \qquad \therefore T_1 = \frac{p_1 S\ell}{nR} = \frac{(p_0 S + Mg)\,\ell}{nR}$$

問3 状態Iと状態IIについてボイル・シャルルの法則より

$$\frac{p_1 S\ell}{T_1} = \frac{p_1 \times 2S\ell}{T_2} \qquad \therefore T_2 = 2T_1 = \frac{2\,(p_0 S + Mg)\,\ell}{nR}$$

問4 体積の変化量を ΔV とすると

$$W = p_1 \Delta V = \left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) S(2\ell - \ell) = (p_0 S + Mg)\ell$$

問5 温度の変化量を ΔT とすると，定圧変化より，定圧モル比熱 $\dfrac{5}{2}R$ を用いて

$$Q = n\left(\frac{5}{2}R\right)\Delta T = n\left(\frac{5}{2}R\right)(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(p_0 S + Mg)\ell$$

$\boxed{3}$ 〔2〕 解答例

問 1

$$L_2 - L_1 = \left[L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} - \left[L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= L\left[1 + \left(\frac{x + d/2}{L}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} - L\left[1 + \left(\frac{x - d/2}{L}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\fallingdotseq L\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{x + d/2}{L}\right)^2\right] - L\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{x - d/2}{L}\right)^2\right], \left(\because x + \frac{d}{2},\ \ x - \frac{d}{2} \ll L\right)$$

$$= \frac{dx}{L}$$

問 2

$$\frac{dx}{L} = m\lambda$$

問 3

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$$

問 4 薄膜の屈折率により S_1 側の光路長が増加する。点 O にあった明線は光路長の差が 0 であるため，S_2 側の光路長を伸ばす向き，すなわち点 O から紙面上向きに移動する。

問 5

$$\frac{(d + vt)x}{L} = m\lambda \quad \text{より} \quad x = \frac{m\lambda L}{d + vt}$$

上式から時刻 $t = 0$ における 3 番目の明線位置は $x = \dfrac{3\lambda L}{d}$ であり，明線の位置は時間経過とともに点 O に近づくことがわかる。よって，時刻 t に位置 x が再び明るくなったのは，4 番目の明線の到達を示しており，次式から時刻が求められる。

$$\frac{3\lambda L}{d} = \frac{4\lambda L}{d + vt} \quad \text{より} \quad t = \frac{d}{3v}$$