Ⅰ

問 1　鉛直方向の力のつり合いの式：　$mg = \dfrac{4}{5}\rho hSg$

※　以下で質量 m を $\dfrac{4}{5}\rho hS$ で表して解答してもよい。

問 2　直方体の上面が液面に達するまでの運動方程式：

$$ma = \rho hSg - mg \quad \text{または} \quad ma = \frac{1}{4}mg$$

問 3　問 1・問 2 より，$a = \dfrac{g}{4}$ である。等加速度運動の式より，

$$\begin{cases} d = 0 + \dfrac{1}{2}a{t_1}^2 \\ {v_1}^2 - 0^2 = 2ad \end{cases} \quad \therefore \quad \begin{cases} t_1 = \sqrt{\dfrac{2d}{a}} = \sqrt{\dfrac{8d}{g}} \\ v_1 = \sqrt{2ad} = \sqrt{\dfrac{gd}{2}} \end{cases}$$

問 4　直方体の上面が液面から出た後の運動方程式：

$$mA = \rho(h-z)Sg - mg \quad \text{または} \quad mA = -\frac{5mg}{4h}\left(z - \frac{h}{5}\right)$$

速度が最大となるのは $A = 0$ となる力のつり合いの位置であり，その座標は $z = \dfrac{h}{5}$ である。

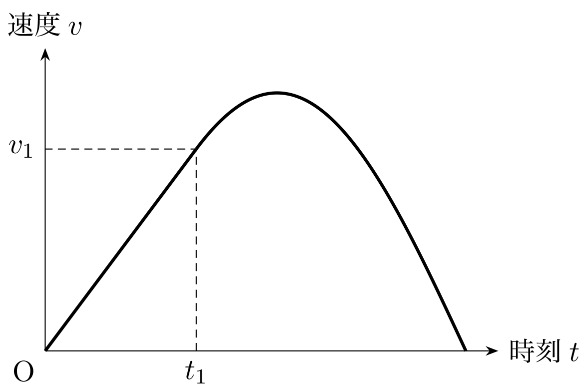
問 5　$v - t$ グラフの概形は右図。

$0 \leqq t \leqq t_1$ ：

傾き $a = \dfrac{g}{4}$ で時刻 t に比例する直線で変化。

$t_1 \leqq t$ ：

時刻 t_1 で接線の傾きが $a = \dfrac{g}{4}$ となる正弦関数で変化。



II

問 1　電場の大きさ：$\dfrac{V}{\ell}$，　電場の向き：右向き，　力の大きさ：$e\dfrac{V}{\ell}$，　力の向き：左向き

問 2　電場による力と抵抗力のつり合いより，

$$kv = e\frac{V}{\ell} \qquad \therefore \quad v = \frac{eV}{k\ell}$$

求める電流の大きさを I として，電流の式より，

$$I = envS = \frac{e^2nSV}{k\ell}$$

求める電気抵抗の大きさを R として，オームの法則より，

$$R = \frac{V}{I} = \frac{k\ell}{e^2nS}$$

問 3　1 個の自由電子が電場からされる単位時間当たりの仕事は，

$$e\frac{V}{\ell}\cdot v = \frac{1}{k}\left(\frac{eV}{\ell}\right)^2$$

導体から発生する単位時間当たりのジュール熱は，

$$\frac{V^2}{R} = \frac{e^2nSV^2}{k\ell} \qquad \left(= nS\ell\cdot\frac{1}{k}\left(\frac{eV}{\ell}\right)^2\right)$$

問 4　力のつり合いより，電磁力は左向きである必要があり，フレミングの左手の法則より，電流の向きは C → D である。このとき流れる電流の大きさを i とすると，

$$\begin{cases} \text{力のつり合い} & F = iBL \\ \text{キルヒホッフの第 2 法則} & uBL = Ri \end{cases} \qquad \therefore \quad \begin{cases} i = \dfrac{F}{BL} \\ u = \dfrac{RF}{(BL)^2} \end{cases}$$

抵抗 $\mathrm{R_1}$ で発生する単位時間当たりのジュール熱は，

$$Ri^2 = R\left(\frac{F}{BL}\right)^2 \qquad \left(= \frac{(uBL)^2}{R}\right)$$

問 5　問 4 で $R=0$ とすると $u=0$ である。すなわち，外力 F につり合う電磁力を生じる，誘導電流の発生に必要な導体棒の速度は 0 であるため。

III

問 1　うなりの式より，$f = f_{\mathrm{A}} - f_{\mathrm{B}}$

問 2　ドップラー効果の式より，

$$f_{\mathrm{A}} = \frac{V}{V-v} f_{\mathrm{B}} \qquad \therefore \quad f_{\mathrm{B}} = \frac{V-v}{V} f_{\mathrm{A}} \quad \cdots ①$$

である。問 1 の関係と①式より，

$$f = \left(\frac{V-v}{V} - 1 \right) f_{\mathrm{A}} = \frac{v}{V} f_{\mathrm{A}} \qquad \therefore \quad f_{\mathrm{A}} = \frac{V}{v} f \quad \cdots ②$$

①・②式より，

$$f_{\mathrm{B}} = \frac{V-v}{V} \cdot \frac{V}{v} f = \frac{V-v}{v} f \quad \cdots ③$$

問 3　ドップラー効果の式より，

$$\begin{cases} f_{\mathrm{A}}{}' = \dfrac{V}{V+v} f_{\mathrm{A}} & \left(= \dfrac{V}{V+v} \cdot \dfrac{V}{v} f \,, \quad \because \quad ②式 \right) \\ f_{\mathrm{B}}{}' = \dfrac{V}{V+v} f_{\mathrm{B}} & \left(= \dfrac{V}{V+v} \cdot \dfrac{V-v}{v} f \,, \quad \because \quad ③式 \right) \end{cases}$$

問 4　うなりの式より，

$$f_{\mathrm{O}} = f_{\mathrm{A}}{}' - f_{\mathrm{B}}{}' = \{ V - (V-v) \} \frac{Vf}{v(V+v)} = \frac{V}{V+v} f$$

問 5　閉管における定在波が基本振動，すなわち，波長が $4L$ となるときが L が最小となる場合である。

波の基本式より，

$$V = f_{\mathrm{A}} \cdot 4L$$

$$\therefore \quad L = \frac{V}{4 f_{\mathrm{A}}} = \frac{340}{4 \cdot 680} = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ m}$$