1.

(1)(ア) $\dfrac{M}{\rho S}$　(イ) $\rho S g x$　(ウ) $\dfrac{1}{2}\rho S g x^2$

(2)(エ) $\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$　(オ) $L\sqrt{\dfrac{g}{2d}}$　(カ) $\dfrac{M-m}{M+m}\sqrt{2gd}$　(キ) $\dfrac{2m}{M+m}\sqrt{2gd}$

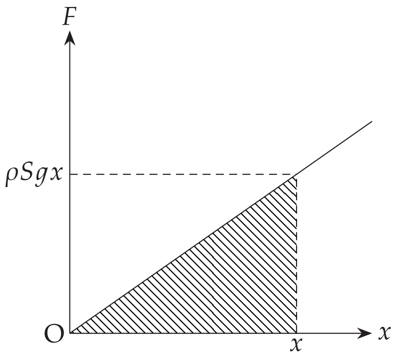
(3)(ク) $\left(\dfrac{M-m}{M+m}\right)^2 d$　(ケ) $\dfrac{2m}{M+m}\sqrt{\dfrac{2Md}{\rho S}}$　(コ) $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{M}{\rho S g}}$

解答のポイント

(1)(ウ)　物体を図 1 の状態から x だけ沈めているときにかける外力 F は(イ)より沈める向きを正として，

$$F = \rho S g x$$

である。したがって，$F-x$ グラフを書くと右図のようになる。求める仕事 W は，右図の斜線部の面積より，



$$W = \frac{1}{2}\cdot\rho S g x\cdot x = \underline{\frac{1}{2}\rho S g x^2}$$

(2)(カ)・(キ)

小球は水平投射されるため，物体と衝突するときの小球の速度の鉛直成分 v_0 は(エ)の答から，

$$v_0 = g\cdot\sqrt{\frac{2d}{g}} = \sqrt{2gd}$$

ただし，速度の鉛直成分は鉛直下向きを正とした（以下の議論でも同様にとる）。

衝突直前・直後の小球と物体について，運動量の鉛直成分の和は保存する。衝突直後の小球・物体の速度を v，V とそれぞれおくと，運動量保存則と反発係数の式は，

$$mv + MV = mv_0$$

$$\frac{v-V}{v_0-0} = -1 \quad (\because\ \text{弾性衝突})$$

これを解くことで，

$$|v| = \underbrace{\frac{M-m}{M+m}\sqrt{2gd}}_{(カ)}$$

$$|V| = \underbrace{\frac{2m}{M+m}\sqrt{2gd}}_{(キ)}$$

を得る。

(3)(ケ)・(コ)

図 1 の状態からの物体の変位を x（鉛直下向きを正）とし，物体の加速度を a とおく。このとき，物体の運動方程式は

$$Ma = -\rho S g x$$

となる。これより物体の運動は，振動中心 $x=0$，角振動数 $\omega=\sqrt{\dfrac{\rho Sg}{M}}$ の単振動である。(ケ)で求める長さはこの単振動の振幅 A にあたる。衝突直後の物体の位置は振動中心であるので，(ｱ)で求めた速さ $|V|$ は単振動の速さの最大値である。よって A の値は，

$$A=\frac{|V|}{\omega}=\frac{2m}{M+m}\sqrt{\frac{2Md}{\rho S}}\ \text{(ケ)}$$

また，(コ)で求める時間は，物体が振動中心を通過してから最初に静止するまでの時間であるから，周期の $\dfrac{1}{4}$ であり，

$$\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi}{\omega}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{M}{\rho Sg}}\ \text{(コ)}$$

2.

(1)(ア) $B\,(ut)^2$　(イ) $2Bu^2t$　(ウ) $\dfrac{(2Bu^2t)^2}{R}$

(2)(エ) $\dfrac{uBa}{R}$　(オ) uBa　(カ) $\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{uBa}{R}\right)^2$

(3)(キ) $2\pi\sqrt{LC}$　(ク) c　(ケ) a　(コ) $\dfrac{uBa}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}}$

解答のポイント

(1)(ア)　磁場領域にあるコイルの面積は $S=(ut)^2$ であるから，磁束 Φ は $\Phi=BS$ より求められる。

(イ)　電磁誘導の法則より，誘導起電力の大きさ V は $V=\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=2Bu^2t$

(ウ)　消費電力は $\dfrac{V^2}{R}$ より計算できる。

(2)(エ)　コイルを貫く磁束 Φ は $\Phi=Baut$ であるから，誘導起電力の大きさは uBa となる。スイッチ S_2 を閉じた直後，コンデンサーに蓄えられている電荷は 0 であるから FG 間の電圧は 0 である。よって S_2 に流れる電流 i_0 は $i_0=\dfrac{uBa}{R}$

(オ)　コイルに一定電流が流れることより，FG 間の電圧は 0 である。よって，抵抗にかかる電圧の大きさは誘導起電力に等しく uBa である。

(カ)　コンデンサーには電流が流れないから，コイルを流れる電流は抵抗を流れる電流に等しい。よって，コイルに蓄えられるエネルギーは $\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{uBa}{R}\right)^2$

(3)(キ)　電気振動の周期は公式として覚えておこう。

(ク)・(ケ)

電気振動に関する問題である。初期値（点 O における値）とその直後の振る舞いに着目すればよい。

(コ)　電位の最大値は V_m は，エネルギー保存より

$$\frac{1}{2}C{V_\mathrm{m}}^2=\frac{1}{2}L\left(\frac{uBa}{R}\right)^2 \qquad \therefore\quad V_\mathrm{m}=\frac{uBa}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

3.

(1)(ア) eN　　(イ) $\sqrt{\dfrac{2eV_0}{m}}$　　(ウ) $\dfrac{h\nu - W}{e}$

(2)(エ) $v + \dfrac{h}{m\lambda} - \dfrac{h}{m\lambda'}\cos\theta$　　(オ) $-\dfrac{h}{m\lambda'}\sin\theta$　　(カ) $\dfrac{ch}{\lambda}$

(キ) $\dfrac{1}{2}mv^2 + \dfrac{ch}{\lambda} - \dfrac{ch}{\lambda'}$　　(ク) $\left(1 - \dfrac{\lambda}{\lambda'}\right)c$

解答のポイント

(1)(イ)　求めたい速さを v_{M} とする。ちょうど陽極に到達する電子を考えれば，

$$\frac{1}{2}m{v_{\mathrm{M}}}^2 = eV_0 \qquad \therefore \quad v_{\mathrm{M}} = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}}$$

(ウ)　金属を脱出した電子の運動エネルギーの最大値が $h\nu - W$ なので，

$$h\nu - W = eV_0 \qquad \therefore \quad V_0 = \frac{h\nu - W}{e}$$

(2)(ク)　$\theta = 90^\circ$ とし，(エ)，(オ)，(キ)の結果を整理して v' を消去すればよい。まず(エ)，(オ)を平方して加えれば ϕ が消えて

$$v'^2 = \left(v + \frac{h}{m\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{m\lambda'}\right)^2$$

これを(キ)の結果に代入して

$$\frac{1}{2}m\left(v + \frac{h}{m\lambda}\right)^2 + \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda'}\right)^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{ch}{\lambda} - \frac{ch}{\lambda'}$$

$$\therefore \quad v = \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda'}\right)c - \frac{h}{2m\lambda'}\left(\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'}\right)$$