第 1 問 (小問集合)

問 1 板が体重計 a，b をおす力の大きさを N_{A}[N], N_{B}[N] とする．重力加速度の大きさを g として，板のつり合いの式と力のモーメントのつり合いの式より

$$\begin{cases} N_{\mathrm{A}} + N_{\mathrm{B}} = 60g \\ 2N_{\mathrm{A}} = N_{\mathrm{B}} \end{cases}$$

これを解いて，$N_{\mathrm{A}} = 20g$[N]，$N_{\mathrm{B}} = 40g$[N] だから，$\boxed{\ 1\ }$ ③(答)

問 2 A から B の断熱膨張では熱量が 0 で気体が正の仕事をするので，内部エネルギーが減少し，B から C は定積変化で圧力が増加するので，絶対温度も上昇し，内部エネルギーが増加する．C から A は等温変化で内部エネルギーが変化しない．また，1 周すると温度変化は 0 なので，内部エネルギー変化は 0．つまり，サイクルを 1 周する間，気体の内部エネルギーは「変化するがもとの値にもどる.」$\boxed{\ 2\ }$ ③答

A→B では気体が仕事をし，B→C では仕事をしない．C→A では気体は仕事をされる．pV 図をみると，C→A で気体がされた仕事の方が A→B で気体がした仕事の絶対値より大きいため，気体がされた仕事の総和は正であり，1 サイクルでの気体がされた仕事を W，吸収した熱量を Q として，熱力学第一法則より

$$0 = Q + W \qquad \therefore \quad Q = -W\,(< 0)$$

より，吸収した熱量の総和は負である．$\boxed{\ 3\ }$ ③(答)

問 3 摩擦力がはたらいているので力学的エネルギーは保存しない．そりが岸に固定されていると固定することで外力がはたらき運動量は保存しない．$\boxed{\ 4\ }$ ④(答)

また，氷の上を動くこができる場合は水平方向の外力の和が 0 なので運動量の総和は保存する．$\boxed{\ 5\ }$ ②(答)

問 4 磁束密度の大きさが B，速さが v，質量が m，電荷の絶対値が q のとき，円運動の半径を r とすると，向心力がローレンツ力 qvB であり，運動方程式は

$$m\frac{v^2}{r} = qvB \qquad \therefore \quad r = \frac{mv}{Bq}$$

したがって，電荷の絶対値，速さ，磁束密度の大きさが同じであるとき，質量が大きい方が半径も大きくなる．正の荷電粒子の方が質量が大きいので ③ と ④ にしぼられる．ローレンツ力の向きも考慮すれば適するのは $\boxed{\ 6\ }$ ④(答)

問 5 振動数 ν の光子をあてたとき

$$K = h\nu - W$$

が成り立つ．グラフより，$\nu = \nu_0$ のとき，$K = 0$ であるから

$$0 = h\nu_0 - W \qquad \therefore \quad h = \frac{W}{\nu_0}$$

7	⑤(答)

第 2 問 (力学)

問 1 抵抗力は運動の方向と逆向きにはたらく．質量 m の物体が鉛直下向きの速度 v で運動しているとき，重力加速度を g，鉛直下向きの加速度を a，空気抵抗の比例係数を k として運動方程式を立てる[*1]と

$$ma = mg - kv$$

である．抵抗力の大きさ kv は v が大きくなるにつれて大きくなり，その分加速度は小さくなる．$\boxed{8}$ ⑥(答)

問 2 表 1 より $n = 3$ では 20 cm 落下するのに 0.13 s かかっているので，

$$v_{\mathrm{f}} = \frac{0.20}{0.13} = 1.5 \times 10^0\ [\mathrm{m/s}]$$

したがって，$\boxed{9}$ ①(答) $\boxed{10}$ ⑤(答) $\boxed{11}$ ⓪(答)

問 3 m は n に比例するとので終端速度の大きさ v_{f} は n に比例すると予測できる．つまり，すべての点を結ぶと原点を通る直線になるはずだが，図 3 をみるかぎりそのようにはなっていない．

$\boxed{12}$ ②(答)

問 4 $v_{\mathrm{f}} = \sqrt{\dfrac{g}{k'}} \times \sqrt{m}$ より，v_{f} は $\sqrt{m}$ に比例する．m は n に比例するので縦軸を v_{f}，横軸を $\sqrt{n}$ にすればよい．また，

$$v_{\mathrm{f}}^2 = \frac{g}{k} \times m$$

とすれば，v_{f}^2 は m に比例する．したがって，縦軸を v_{f}^2，横軸を n にしても原点を通る直線になる．

$\boxed{13}$・$\boxed{14}$ ④・⑧(答)

問 5 加速度は時間 Δt の間の速度変化 Δv なので $\boxed{\text{エ}}$ は (c).

運動方程式を立てると

$$ma = mg - R \qquad \therefore \quad R = m(g - a)$$

であるから，$\boxed{\text{オ}}$ は (c)．以上から $\boxed{15}$ ⑨(答)

[*1] 空気抵抗の大きさが速さに比例するとしています．

第 3 問（波動）

問 1 向心力の大きさを F として向心方向の運動方程式を立てると

$$m\frac{v^2}{r} = F$$

より，向心力の大きさは $\dfrac{mv^2}{r}$．また，物体は等速円運動をしているため，速度の方向に力がはたらいていない．したがって仕事は 0. $\boxed{16}$ **⑤(答)**

問 2 ドップラー効果が起こらないのは音源が観測者に近づきも遠ざかりもしないときである．これは C，D にいるに発した音を測定したとき．$\boxed{17}$ **⑥(答)**

問 3 ドップラー効果の式より

$$\begin{cases} f_{\mathrm{A}} = \dfrac{V}{V-v} f_0 \\ f_{\mathrm{B}} = \dfrac{V}{V+v} f_0 \end{cases}$$

この 2 式から f_0 を消去し v について求めると $v = \dfrac{f_{\mathrm{A}} - f_{\mathrm{B}}}{f_{\mathrm{A}} + f_{\mathrm{B}}} V$．したがって $\boxed{18}$ **⑥(答)**

問 4 音源に近づく速度成分が最も大きいのは A なので，A で観測する振動数が最も大きい．また，音源から遠ざかる成分が最も大きいのは B なので，B で観測する振動数が最も小さい．$\boxed{19}$ **①(答)**

問 5 音の速さは音源の速度に無関係なので (a) は不適．図 1 の円周上の各点において，音源の O 方向の速度成分は常に 0 のため，音源の位置によらず波長は等しく (b) は正しい．図 3 では音源は静止しているので音源からみた音の速さはどの方向も同じである．したがって，(c) も正しい．図 3 において，音源が静止しているため，点 C も点 D も波長は同じである．したがって (d) は不適．$\boxed{20}$ **④(答)**

第 4 問（電磁気）

問 1 電場と電位差と距離の関係より．$E = \dfrac{V}{d}$ $\boxed{\text{ア}}$．また，ガウスの法則より，

$$E = \frac{4\pi k_0 Q}{S}$$

であり，$E = \dfrac{V}{d}$ でもあることから

$$\frac{4\pi k_0 Q}{S} = \frac{V}{d} \qquad \therefore \quad Q = \frac{S}{4\pi k_0 d} V$$

したがって，$C = \dfrac{S}{4\pi k_0 d}$ $\boxed{\text{イ}}$．$\boxed{21}$ ⑧**(答)**

問 2 スイッチを開いた直後，まだ電荷は移動しておらずコンデンサーの基本式より電圧も 5.0 V のままなので，抵抗にかかる電圧も 5.0 V である．抵抗値を $R[\Omega]$ として，オームの法則より

$$R = \frac{5.0}{0.100} = 50[\Omega]$$

$\boxed{22}$ ⑦**(答)**

問 3 横軸 1 cm を 10 s，縦軸 1 cm を 10 mA = 0.010 A としているので，1 cm^2 では

$$10[\mathrm{s}] \times 0.010[\mathrm{A}] = 0.1[\mathrm{C}]$$

に対応している．$\boxed{23}$ ③**(答)**

45 cm^2 分で

$$45 \times 0.1 = 4.5\,\mathrm{C}$$

であるから，スイッチを開いた直後のコンデンサーの基本式より

$$4.5[\mathrm{C}] = C[\mathrm{F}] \times 5.0[\mathrm{V}] \qquad C = 9.0 \times 10^{-1}\,\mathrm{F}$$

したがって $\boxed{24}$ ⑧**(答)**

問 4 $\dfrac{1}{1000} \fallingdotseq \dfrac{1}{2^{10}}$ なので，おおよそ

$$10 \times 35 = 350[\mathrm{s}]$$

かかる．$\boxed{25}$ ④**(答)**

問 5　時刻 t で流れる電流を I，コンデンサーおよび抵抗にかかる電圧を V，コンデンサーに蓄えられている電荷を Q とすると，コンデンサーの基本式とオームの法則より

$$\begin{cases} Q = CV \\ V = RI \end{cases}$$

V を消去して $Q = RCI$ となるから，Q は I に比例する．電流が I_0 の半分のとき，$t = 0$ で蓄えられていた電荷 Q_0 も $\dfrac{Q_0}{2}$ となる．このとき，放電した電荷も $\dfrac{Q_0}{2}$ であるから

$$\frac{Q_0}{2} = Q_1 \qquad \therefore \quad Q_0 = 2Q_1$$

となる．最初の実験でははじめに蓄えられていた電荷を少な目に見積もっているので，$C = \dfrac{Q}{V}$ より，電気容量は実際より小さくなる．したがって，$\boxed{26}$ **⑤(答)**