第 1 問

問 1 板 A と板 B の密度は等しく，板 B の体積は板 A の体積の 2 倍であるから，板 A と板 B の質量を m, $2m$ とおく．台の右端の位置を原点にとり，水平右向きに x 軸をとる．板 B の重心の座標が x のとき，板 A の重心の座標は $x-\dfrac{L}{2}$ である．板 A と板 B の重心が $x=0$ である式を立てると

$$0=\frac{m\times\left(x-\dfrac{L}{2}\right)+2m\times x}{m+2m}\qquad\therefore\quad x=\boldsymbol{\frac{L}{6}}$$

よって，$\boxed{\ 1\ }$ ⑤ **(答)**

問 2　容器 A，B 内に入っている気体に対して外部から仕事がされておらず，熱の出入りもないため，内部エネルギーの和が保存する．コックを開く前の容器 A 内の気体の内部エネルギーは $U_{\mathrm{A}}=\dfrac{3}{2}\cdot 3p\cdot V=\dfrac{9}{2}pV$*1，容器 B 内の気体の内部エネルギーは $U_{\mathrm{B}}=\dfrac{3}{2}\cdot\dfrac{p}{2}\cdot 2V=\dfrac{3}{2}pV$ である．コックを開いて十分時間が経過した後の絶対温度を T' とすると，全体の内部エネルギーは $U=\dfrac{3}{2}\cdot(3n+n)\cdot R\cdot T=6nRT'$ である．$U_{\mathrm{A}}+U_{\mathrm{B}}=U$ より

$$\frac{9}{2}pV+\frac{3}{2}pV=6nRT'\quad T'=\boldsymbol{\frac{pV}{nR}}$$

よって，$\boxed{\ 2\ }$ ④ **(答)**

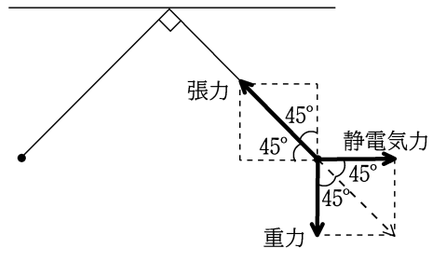
問 3 溝の間隔 d の回折格子に波長 λ の光を当てたときに，角度 θ の方向に回折するときを考える．このとき，隣り合う光の経路差は $d\sin\theta$ であり，整数を m とすると，強め合いの条件は

$$\frac{2\pi}{\lambda}\times d\sin\theta=2\pi m\qquad\therefore\quad\sin\theta=\frac{m\lambda}{d}$$

$m=1$ のとき $\theta=\theta_1$ とすると，$\sin\theta_1=\dfrac{\lambda}{d}$ であり，波長が大きいほど θ_1 が大きくなり明点の間隔が広がる．緑色の波長より，赤色の波長の方が大きいから，回折像の光の点の間隔は **広く** なる．

図 6 をみると，縦方向の明点の間隔は横方向より狭い．$\sin\theta_1=\dfrac{\lambda}{d}$ の式より，d が大きいほど $\sin\theta_1$ は小さくなり，明点の間隔は狭くなる．縦方向に広いのは図 5 の **(b)** である．((a) なら，図 6 の 2 つの対角線方向の明点の間隔が同じになるはずだがそうなっていない．) $\boxed{\ 3\ }$ ② **(答)**

問 4 図のように，右側の電荷にはたらく重力と静電気力と張力のつり合いから，重力と静電気力は同じ大きさである．運動方程式より，加速度は力に比例するので，糸を切った直後の x 方向と y 方向の加速度は同じである．加速度は縦軸を速度，横軸を時間にとったグラフの傾きに相当するので，$t=0$ での傾きが等しい ③ と ④ にしぼられる．また，重力は一定なので，時間が経っても y 方向の加速度が変化しない．つまり，速度と時間のグラフの傾きが一定の直線となる．一方，静電気力は距離が離れるほど小さくなるため，x 方向の加速度は小さくなっていき，速度と時間のグラフの傾きがだんだんと小さくなっていく．これを満たしたグラフは，$\boxed{\ 4\ }$ ④ **(答)**



問 5　u の電荷を q_u，d の電荷を q_d とする．電荷 $+e$ の陽子は 2 個の u と 1 個の d から出来ているので

$$2q_u+q_d=e\quad\cdots①$$

また，電荷 0 の中性子は 1 個の u と 2 個の d から出来ているので

$$q_u+2q_d=0\quad\cdots②$$

---

*1 物質量が n，気体定数が R，絶対温度が T である単原子分子理想気体の内部エネルギー U は $U=\dfrac{3}{2}nRT$ である．一方，圧力を p，体積を V とすると，理想気体の状態方程式より，$pV=nRT$ が成り立ち，これを用いて $U=\dfrac{3}{2}pV$ とも表すことができる．

①，② より，$q_u = \frac{2}{3}e$, $q_d = \boldsymbol{-\frac{1}{3}e}$

また，$\bar{\mathrm{d}}$ の電荷は $\frac{1}{3}e$ である．π^+ 中間子（電荷 $+e$）は 1 個の $\bar{\mathrm{d}}$ と n 個の u からできてるとして

$$\frac{1}{3}e + n \times \frac{2}{3}e = e \qquad \therefore \quad n = \mathbf{1}\text{個}$$

よって，$\boxed{5}$ ③（答）

第 2 問

問 1 小球の質量を m，床に到達する直前の速さを v として，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh \qquad \therefore \quad v = \boldsymbol{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}$$

$\boxed{\ 6\ }$ ①**(答)**

問 2 床で弾性衝突をするため，小球は床と衝突前後で力学的エネルギーが変化しない．つまり，小球の力学的エネルギーは高さ h で投げ出された後からずっと変化しない．高さ h の場所で運動エネルギーをもっていたので，床と衝突した後は高さ h よりさらに高いところまで到達する．$\boxed{\ 7\ }$ ③**(答)**

問 3 運動量保存則とはね返り係数の式より

$$\begin{cases} mv + km \times (-v) = mv_{\mathrm{A}} + kmv_{\mathrm{B}} \\ 1 = -\dfrac{v_{\mathrm{A}} - v_{\mathrm{B}}}{v - (-v)} \end{cases}$$

これを解いて，$v_{\mathrm{A}} = \boldsymbol{\dfrac{1-3k}{1+k}v}$, $v_{\mathrm{B}} = \dfrac{3-k}{1+k}v$. $\boxed{\ 8\ }$ ①**(答)**

問 4 A と床は弾性衝突するので，力学的エネルギーは変化しない．$\boxed{\ 9\ }$ ③**(答)**

問 5 $3 - k = -(1+k) + 4$ なので，

$$v_{\mathrm{B}} = \frac{-(1+k)+4}{1+k}v = -v + \frac{4}{1+k}v$$

この式から，k が小さいほど v_{B} が大きくなることがわかる．また，$0 < k < 1$ のすべての辺に 1 を足して，$1 < 1 + k < 2$. 逆数をとって 4 をかけて $2 < \dfrac{4}{1+k} < 4$，v をかけて v を引くと

$$v < -v + \frac{4}{1+k}v < 3v \qquad \therefore \quad v < v_{\mathrm{B}} < 3v$$

より，v_{B} は v より大きいから必ず自由落下前の高さを超える．$\boxed{\ 10\ }$ ⑤**(答)**

第 3 問

問 1 圧力が p，体積が V，物質量が n モル，気体定数が R，絶対温度が T のとき，理想気体の状態方程式は

$$pV = nRT \quad \cdots①$$

であり，1 モルあたりの質量を M，質量を w とすると，$n = \dfrac{w}{M}$ となり，

$$pV = \frac{w}{M}RT \quad \cdots②$$

ともかける．

(a) について，② より，p, V, T, R がわかっても M がわからないと気体分子の質量 w を求めることができないので誤り．

(b) について，① より，p, V, T, R がわかれば物質量 n もわかるので正しい．

(c) について，① より，T, V, R がわかっても n がわからないと，p を求めることができないので誤り．

以上から，$\boxed{11}$ **②（答）**

問 2 $\dfrac{p}{\rho}$ の単位を考えると

$$\frac{[\,\mathrm{kg/(m\cdot s^2)}\,]}{[\,\mathrm{kg/m^3}\,]} = [\,\mathrm{m^2/s^2}\,]$$

となるから，$\sqrt{\dfrac{p}{\rho}}$ の単位は [m/s] となり速さの単位と同じ．$\boxed{12}$ **⑤（答）**

問 3 $v = C\sqrt{\dfrac{RT}{M}}$ の式から，C（もちろん R も）が同じで T も同じとき，M が小さい方が v が大きい．いま，気体 X の方が v が大きいので，1 モルあたりの質量は **Y の方が大きい**$_{ア}$．

また，$T = T_1$ のときの速さを v_1，$T = T_2$ のときの速さを v_2 とすると

$$v_1 = C\sqrt{\frac{RT_1}{M}}, \qquad v_2 = C\sqrt{\frac{RT_2}{M}}$$

よって，その差 $v_2 - v_1$ は

$$v_2 - v_1 = C\sqrt{\frac{RT_2}{M}} - C\sqrt{\frac{RT_1}{M}} = \frac{1}{\sqrt{M}}\cdot C\sqrt{R}\left(\sqrt{T_2} - T_1\right)$$

より，M が小さいほど速さの差 $v_2 - v_1$ が大きくなるので，その差の大きさは **X の方が大きい**$_{イ}$．$\boxed{13}$ **④（答）**

問 4 $T_0 = 273$[K]，$T = 273 + t$[K] より

$$v = v_0\sqrt{\frac{273+t}{273}} = v_0\sqrt{1+\frac{t}{273}} \fallingdotseq v_0\left(1+\frac{1}{2}\cdot\frac{t}{273}\right) = \boldsymbol{v_0\left(1+\frac{t}{546}\right)}$$

$\boxed{14}$ **①（答）**

問 5 問 4 の $v = v_0\left(1+\dfrac{t}{546}\right)$ の式より，25°C のときの観測した時間を t とすると実際の距離 l_1 は

$$l_1 = v_0\left(1+\frac{25}{546}\right)t$$

であるが，$t = 20$°C として見積もったときの距離 l_2 は

$$l_2 = v_0\left(1+\frac{20}{546}\right)t$$

である．よって

$$\frac{l_2}{l_1}\times 100 = \frac{v_0\left(1+\frac{20}{546}\right)t}{v_0\left(1+\frac{25}{546}\right)t} = \frac{566}{571}\times 100 \fallingdotseq 99[\%]$$

より，**1 %小さく** 見積もってしまっている．$\boxed{15}$ **③（答）**

第 4 問

問 1 キルヒホッフの法則より

$$V_0 - V - RI = 0 \qquad \therefore \quad I = \frac{1}{R}(V_0 - V) \quad \cdots①$$

より，電流 I は $\boldsymbol{V_0 - V}$ に比例する．$\boxed{16}$ ③ **(答)**.

また，コンデンサーに電荷が蓄えられて，V が V_0 に近づくほど I が小さくなる．このことから，② と ⑤ にしぼられる．一方，① の式の時間変化分を計算して

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

コンデンサーに蓄えられる電荷を Q，電気容量を C とすると，$Q = CV$ より，$V = \dfrac{Q}{C}$ を上式に代入して

$$= -\frac{1}{RC} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ より

$$= -\frac{I}{RC}$$

よって，$I - t$ グラフにおいて，I が小さくなるほど傾きは小さくなる．このことを考慮して $\boxed{17}$ ⑤ **(答)**

問 2 ハンドルの手ごたえは電磁力によるものである．電磁力の大きさは電流の大きさに比例する．電圧が同じ場合，抵抗が小さい方が電流が大きくなる．（オームの法則）

豆電球 1 つの抵抗を R とすると，(ii) のように 2 つの豆電球を並列に接続すると，合成抵抗 R' は

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \qquad \therefore \quad R' = \frac{R}{2}$$

となり，(i) より抵抗が小さくなる．よって，**回路の抵抗値が小さい (ii)** の方がハンドルの手ごたえが重い．$\boxed{18}$ ② **(答)**

問 3 電圧が V_0 のとき，

$$P_1 = \frac{V_0^2}{R}, \qquad P_2 = \frac{V_0^2}{\frac{R}{2}} = \frac{2V_0^2}{R}$$

より，$\boldsymbol{P_1 = \frac{1}{2}P_2}$ $\boxed{19}$ ② **(答)**

問 4 等速円運動の速度の向きは円の接線方向なので，頂点 T の速度は ⑥ の向き．$\boxed{20}$ ⑥ **(答)**

このとき，ST の速度のうち，磁場に垂直な成分は図 3 右側図の下向きであり，S→T の向きに誘導起電力が生じる．同じように考えると QR 部分は Q→ R の向きに誘導起電力が生じ，コイルには Q → R → S → T の向きに電流が流れる．このときの ST に流れる電流が受ける電磁力はフレミング左手の法則より，図 3 右図の上方向であるから，①．$\boxed{21}$ ① **(答)**

問 5 ST の速さは $\boldsymbol{a\omega_{\mathcal{F}}}$ である．また，コイルが等速円運動をしているため，

（コイルを回す仕事率）＋（電磁力の仕事率）＝ 0

である．一方，

（電磁力の仕事率）＋（誘導起電力の仕事率）＝ 0

より，誘導起電力を V とすると

（コイルを回す仕事率）＝（誘導起電力の仕事率）＝ VI $\quad \cdots②$

図 4 より，ST 部分の磁場に垂直な速度成分は $a\omega\sin\theta$ であるから，誘導起電力の大きさは

$$V_0 = a\omega\sin\theta \times BL \quad \cdots③$$

QR 部分も同様の起電力なので，$V = 2V_0$．②, ③ より

$$（コイルを回す仕事率）= 2 \times a\omega\sin\theta \times BL \times I = \boldsymbol{2a\omega IBL\sin\theta}_{イ}$$

$\boxed{22}$ **②（答）**