$\boxed{1}$

問 1

ひも 1 の張力を T とすると，台車とおもりの加速度の大きさは同じだから，

おもりの鉛直下向きの運動方程式

$M_1 a_1 = -T + M_1 g$　・・・①

台車の水平右向きの運動方程式

$5ma_1 = T - \mu mg$　・・・②

①，②より，

$a_1 = \dfrac{M_1 - \mu m}{M_1 + 5m} g$　・・・(答)

小物体は静止しているから，水平方向の力のつり合いより，

$T_1 = \mu mg$　・・・(答)

問 2

右向きを正とすると，

小物体から見た台車の加速度＝$a_1 - 0 = a_1$

小物体から見た台車の変位＝h

小物体から見た台車の初速度＝0

より，$h = 0 + \dfrac{1}{2} a_1 {t_1}^2$　$\therefore t_1 = \sqrt{\dfrac{2h}{a_1}}$

$a_1 = \dfrac{M_1 - \mu m}{M_1 + 5m} g$ より，$t_1 = \sqrt{\dfrac{2(M_1 + 5m)h}{(M_1 - \mu m)g}}$　・・・(答)

問 3

動摩擦力の仕事＝$\mu mg \cdot h \cdot \cos 180° = -\mu mgh$

変化前の力学的エネルギー＋外力による仕事＝変化後の力学的エネルギー

失われた力学的エネルギー＝変化前の力学的エネルギー－変化後の力学的エネルギー

より，

失われた力学的エネルギー＝μmgh　・・・(答)

問 4

ひも 1 の張力を T とすると，台車，おもり，小物体の加速度の大きさは同じだから，

おもりの鉛直下向きの運動方程式

$M_2 a_2 = -T + M_2 g$　・・・③

台車の水平右向きの運動方程式

$5ma_2 = T - T_2 - \mu mg$　・・・④

小物体の水平左向きの運動方程式

$ma_2 = T_2 - \mu mg$　・・・⑤

④＋⑤より，

$6ma_2 = T - 2\mu mg$　・・・⑥

③＋⑥より，

$(M_2 + 6m)a_2 = (M_2 - 2\mu m)g$

$\therefore a_2 = \dfrac{M_2 - 2\mu m}{M_2 + 6m}g$　・・・(答)

これと⑤より，

$T_2 = ma_2 + \mu mg$

$= \left(\dfrac{M_2 - 2\mu m}{M_2 + 6m} + \mu\right)mg$

$= \dfrac{(1+\mu)M_2 + 4\mu m}{M_2 + 6m}mg$　・・・(答)

問 5

右向きを正とすると，

小物体から見た台車の加速度＝$a_2 - (-a_2) = 2a_2$

小物体から見た台車の変位＝h

小物体から見た台車の初速度＝0

より，$h = 0 + \dfrac{1}{2} \cdot 2a_2 \cdot t_2{}^2$　$\therefore t_2 = \sqrt{\dfrac{h}{a_2}}$

$a_2 = \dfrac{M_2 - 2\mu m}{M_2 + 6m}g$ より，$t_2 = \sqrt{\dfrac{(M_2 + 6m)h}{(M_2 - 2\mu m)g}}$　・・・(答)

問 6

$v^2 - 0^2 = 2 \cdot 2a_2 \cdot h$

$\therefore v = 2\sqrt{a_2 h} = \sqrt{\dfrac{M_2 - 2\mu m}{M_2 + 6m}gh}$　・・・(答)

2

問 1

荷電粒子の速さの磁場の向きと垂直な成分は $v_0 \cos\theta$ だから，

$F = qv_0 B\cos\theta$　・・・(答)

問 2

荷電粒子の運動を xy 平面上に投影すると，

ローレンツ力 $F = qv_0 B\cos\theta$ を向心力とする

軌道半径 $x_0 - x_1$ の等速円運動になるから，

その運動方程式は，

$$m\frac{(v_0\cos\theta)^2}{x_0 - x_1} = qv_0 B\cos\theta$$

$$\therefore x_1 = x_0 - \frac{mv_0\cos\theta}{qB}$$　・・・(答)

問 3

円周 $2\pi(x_0 - x_1)$ を速さ $v_0\cos\theta$ で一周するのにかかる時間が T に相当するから，

$$T = \frac{2\pi(x_0 - x_1)}{v_0\cos\theta}$$　・・・①

$m\dfrac{(v_0\cos\theta)^2}{x_0 - x_1} = qv_0 B\cos\theta$ より，

$$x_0 - x_1 = \frac{mv_0\cos\theta}{qB}$$　・・・②

①，②より，$T = \dfrac{2\pi m}{qB}$　・・・(答)

問 4

$$v_0\sin\theta\cdot T = \frac{2\pi m v_0\sin\theta}{qB}$$　・・・(答)

問 5

磁場による向心力 $F = qv_0 B\cos\theta$ は xy 平面と平行であり，

電界による静電気力 $-qE$ は $-z$ 方向（xy 平面と垂直）だから，

荷電粒子の z 方向の外力は $-qE$ である。

よって，その運動方程式は，$ma = -qE$

$$\therefore a = -\frac{qE}{m}$$　・・・(答)

問 6

$+z$ 方向の速度を v_z とすると， $v_z = v_0 \sin\theta + at$

$\therefore v_z = v_0 \sin\theta - \dfrac{qE}{m} t$

$t = 3T$ のとき， $v_z = 0$ になったから， $0 = v_0 \sin\theta - \dfrac{qE}{m} \cdot 3T$

$\therefore 0 = v_0 \sin\theta - \dfrac{qE}{m} \cdot \dfrac{6\pi m}{qB}$

$\therefore E = \dfrac{v_0 B \sin\theta}{6\pi}$ ・・・(答)

問 7

$0^2 - (v_0 \sin\theta)^2 = 2 \cdot a \cdot D_2$ より，

$D_2 = -\dfrac{(v_0 \sin\theta)^2}{2a}$

$2a = 2 \cdot \left(-\dfrac{qE}{m}\right) = -2 \cdot \dfrac{q}{m} \cdot \dfrac{v_0 B \sin\theta}{6\pi} = \dfrac{qBv_0 \sin\theta}{3\pi m}$

$\therefore D_2 = \dfrac{3\pi m v_0 \sin\theta}{qB}$ ・・・(答)

3

熱力学問題を要領よく解くためのコツ

・気体の状態量を，たとえば(P,V,n,T)のように成分表示する。

定性的に考える手間が軽減される。

気体の状態をメモすることにもなり，状態変化の過程を追いやすい。

・$PV=nRT$ から導かれる比例式$\dfrac{PV}{nT}=$一定 または$\dfrac{nT}{PV}=$一定 を活用する。

これは化学の「気体の法則と性質」についてもいえる。

・定圧（等圧）変化，定積（等積）変化，等温変化，断熱変化を見極め，それぞれの状態変化についての熱力学第一法則の式を立てる。

・熱力学第一法則の式が立てやすくなるように系の範囲を設定する。

問 1

ピストンに働く力のつり合いより，$P_1S=P_0S+Mg$

$\therefore P_1=P_0+\dfrac{Mg}{S}$ ・・・(答)

問 2

ばねの自然長からの伸びをΔlとすると，$V-\dfrac{1}{2}V=S\Delta l$ $\therefore \Delta l=\dfrac{V}{2S}$

ピストンに働く力のつり合いより，$P_2S+k\cdot\dfrac{V}{2S}=P_0S+Mg$

$\therefore P_2=P_0+\dfrac{Mg}{S}-\dfrac{kV}{2S^2}$ ・・・(答)

問 3

状態 A(P_1,V,T_1)，状態 B$\left(P_2,\dfrac{V}{2},T_2\right)$より，$\dfrac{T_2}{P_2\cdot\dfrac{V}{2}}=\dfrac{T_1}{P_1\cdot V}$

$\therefore T_2=\dfrac{P_2}{2P_1}\cdot T_1$ ・・・(答)

問 4

シリンダ内の気体の内部エネルギーの変化

定積モル比熱をC_v，理想気体の物質量をnとすると，

$\Delta U=nC_v\Delta T$

とくに，単原子分子の場合$C_v=\dfrac{3}{2}R$より，

$\Delta U=\dfrac{3}{2}nR\Delta T$

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$$
$$= \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$$
$$= \frac{3}{2}(nRT_2 - nRT_1)$$
$$= \frac{3}{2}\left(P_2 \cdot \frac{V}{2} - P_1 \cdot V\right)$$
$$= \frac{3}{4}(P_2 - 2P_1)V \quad ・・・(答)$$

シリンダ内の気体が外部からされた仕事

仕事 W は力ベクトル $\vec{F}$ と変位ベクトル $\vec{x}$ の内積であるから， $W = \vec{F} \cdot \vec{x} = |\vec{F}||\vec{x}|\cos\theta$

変位の大きさ＝ $\Delta l = \dfrac{V}{2S}$ より，

重力がした仕事＝ $Mg \cdot \dfrac{V}{2S}$

外圧がした仕事＝ $P_0 S \cdot \dfrac{V}{2S} = \dfrac{P_0 V}{2}$

弾性力がした仕事＝ $-\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V}{2S}\right)^2 = -\dfrac{kV^2}{8S^2}$

よって，

$$W = \frac{MgV}{2S} + \frac{P_0 V}{2} - \frac{kV^2}{8S^2} \quad ・・・(答)$$

問 5

ばねの自然長からの縮みは問 2 と同様にして求めると， $\dfrac{V}{2S}$

ピストンに働く力のつり合いより， $P_3 S = P_0 S + Mg + k \cdot \dfrac{V}{2S}$

$$\therefore P_3 = P_0 + \frac{Mg}{S} + \frac{kV}{2S^2} \quad ・・・(答)$$

問 6

図 3-3 において，

シリンダ内の状態 A の気体の物質量を n とすると，容器内の気体の物質量は $2n$

$\because$ 容器内の気体の物質量を n' とすると， $n = \dfrac{P_1 V}{RT_1}$， $n' = \dfrac{2P_1 V}{RT_1} = 2n$

よって，全体の物質量は $n + 2n = 3n$

状態 A $\left(P_1, V, n, T_1\right)$，図 3-4 の全体の状態$\left(P_3, \frac{3}{2}V + V, 3n, T_3\right)$より，

$$\frac{3n \cdot T_3}{P_3 \cdot \left(\frac{3}{2}V + V\right)} = \frac{n \cdot T_1}{P_1 \cdot V}$$

$$\therefore T_3 = \frac{5P_3}{6P_1} \cdot T_1$$ ・・・(答)