第１問

Ⅰ(1)　求める速さをVとすれば，力学的エネルギー保存則より，

$$mgl\sin\theta=\frac{1}{2}mV^2 \qquad \therefore\ V=\underline{\sqrt{2gl\sin\theta}}$$

(2)　最下点での速さは，　$v=\sqrt{2gl}$

求める張力の大きさをS_0とすれば，円運動の運動方程式より，

$$m\frac{v^2}{l}=S_0-mg \qquad \therefore\ S_0=\underline{3mg}$$

(3)　加速度の大きさは$\dfrac{v^2}{l}=\underline{2g}$　，向きは，<u>鉛直上向き</u>

Ⅱ(1)　２個の小球からなる物体系には外力として重力だけがはたらくので，重心Gの加速度の大きさは$\underline{g}$で，向きは<u>鉛直下向き</u>である。

(2)　重心Gの速度は$\dfrac{v+0}{2}=\dfrac{v}{2}$であり，Gに対する小球A，Bの相対速度の大きさは，

A：$v-\dfrac{v}{2}=\underline{\sqrt{\dfrac{gl}{2}}}$　，向きは<u>水平右向き</u>　　B：$\dfrac{v}{2}-0=\underline{\sqrt{\dfrac{gl}{2}}}$　，向きは<u>水平左向き</u>

(3)　重心Gから見れば，上向きの慣性力と下向きの重力が打ち消し合うので，小球A，Bは半径$\dfrac{l}{2}$の等速円運動をする。求める張力の大きさをS_1とすれば，

$$S_1=m\frac{\left(\dfrac{v}{2}\right)^2}{\dfrac{l}{2}}=\underline{mg}$$

(4)　下向きを正とした小球A，Bの加速度をそれぞれa_A，a_Bとすると，運動方程式より，

A：$ma_A=mg-S_1$　　$\therefore\ a_A=\underline{0}$

B：$ma_B=S_1+mg$　　$\therefore\ a_B=\underline{2g}$　，向きは<u>鉛直下向き</u>

(5)　重心Gに対する小球A，Bの等速円運動の角速度は$\omega=\dfrac{\dfrac{v}{2}}{\dfrac{l}{2}}=\sqrt{\dfrac{2g}{l}}$なので，求める時刻$t_1$は，

$$t_1=\frac{\pi}{2\omega}=\underline{\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{2g}}}$$

(6)　重心Gは水平右向きに速度$\dfrac{v}{2}$の等速度運動をし，Gに対する小球Aは角速度ωの等速円運動をするので，求める位置xは，

$$x=\underline{\sqrt{\frac{gl}{2}}t+\frac{l}{2}\sin\sqrt{\frac{2g}{l}}t}$$

第2問

I (1) 棒1の速さがuで一定になり，棒1の電流がPからQへ向かう向きにIのとき，

棒2～Nの電流はQからPへ向かう向きにそれぞれ$\dfrac{I}{N-1}$となるから，回路の式より，

$$LuB\cos\theta = RI + R\frac{I}{N-1} \qquad \therefore\ I=\underline{\left(1-\frac{1}{N}\right)\frac{uBL\cos\theta}{R}}$$

(2) 棒1のレール方向の力のつり合いより，

$$0 = mg\sin\theta - LIB\cos\theta \qquad \therefore\ u=\underline{\frac{NmgR\sin\theta}{(N-1)(BL\cos\theta)^2}}$$

II 棒2～NにPからQへ向かう向きに流れる電流を共通のiとして，

各棒のレール方向の力のつり合いより，

$$0 = mg\sin\theta - LiB\cos\theta \qquad \therefore\ i=\frac{mg\sin\theta}{BL\cos\theta}$$

棒1の電流は，QからPへ向かう向きに$(N-1)i$だから，回路の式より，

$$LwB\cos\theta = R(N-1)i + Ri$$

この式にiを代入して解くと，$w=\underline{\dfrac{NmgR\sin\theta}{(BL\cos\theta)^2}}$

III IIの状況を，棒1とともに動く座標で見た場合に対応するので，

$$u' = w = \underline{\frac{NmgR\sin\theta}{(BL\cos\theta)^2}}$$

IV (1) n番目の棒の電流を，PからQへ向かう向きにI_nとする。

n番目の棒のレール方向の運動方程式は，

$$ma_n = mg\sin\theta - LI_nB\cos\theta \quad \cdots①$$

これより，$a_1+a_2+\cdots+a_N = Ng\sin\theta - \dfrac{BL\cos\theta}{m}(I_1+I_2+\cdots+I_N)$

ここで，$I_1+I_2+\cdots+I_N=0$だから，$a_1+a_2+\cdots+a_N=\underline{Ng\sin\theta}$

(2) ①式より，$a_{n+1}-a_n = -\dfrac{BL\cos\theta}{m}(I_{n+1}-I_n) \quad \cdots②$

n番目の棒と$n+1$番目の棒から成る回路の式より，

$$Lv_{n+1}B\cos\theta - RI_{n+1} = Lv_nB\cos\theta - RI_n$$

$$\therefore\ I_{n+1}-I_n = \frac{BL\cos\theta}{R}(v_{n+1}-v_n) \quad \cdots③$$

②，③式より，$a_{n+1}-a_n = -\dfrac{(BL\cos\theta)^2}{mR}(v_{n+1}-v_n)$

よって，$k=\underline{\dfrac{(BL\cos\theta)^2}{mR}}$

(3) ある棒から見た他の棒の相対速度は0に近づくから，v_1とv_Nも等しくなっていく。

また加速度はどちらも，$g\sin\theta$に近づく。　<u>ア</u>

(4) 相対速度が0に近づくから，棒1と棒Nの距離も一定値に近づく。　<u>イ</u>

第3問

I (1) 力のつり合いの式　$mg=\rho Sdg$　より　$d=\underline{\dfrac{m}{\rho S}}$

(2) 等温変化なので，もとの体積をV_0とすると　$(P+\rho gd)V_0=PrV_0$　　∴　$r=\underline{1+\dfrac{\rho gd}{P}}$

II (1) 気体の圧力をP'，もとの体積をV_0，加熱後の温度をT'とすると，状態方程式は

$$P'V_0=RT,\quad P'\times\frac{6}{5}V_0=RT'$$

定圧変化なので，

$$W=P'\times\frac{1}{5}V_0=\underline{\frac{1}{5}RT}$$

(2) 定圧モル比熱は$\dfrac{5}{2}R$なので　$Q=\dfrac{5}{2}R(T'-T)=\underline{\dfrac{1}{2}RT}$

III (1) 気体の体積をV'とすると，力のつり合いの式　$mg=\rho V'g$，状態方程式　$(P+\rho gh)V'=RT$ より

$$h=\underline{\frac{P}{\rho g}\left(\frac{\rho RT}{mP}-1\right)}$$

(2) (1)の式よりPが大きくなればhは小さくなる。また，気体の体積は小さくなるので，浮力も小さくなり，容器は下降する。　以上より　<u>エ.</u>

IV (1) $(\text{圧力})\times(\text{体積})^{\frac{5}{3}}=$一定より　$(\text{温度})\times(\text{体積})^{\frac{2}{3}}=$一定

沈めたあとの温度をT_2とすると　$T_1V_1^{\frac{2}{3}}=T_2V_2^{\frac{2}{3}}$

$\Delta U=\dfrac{3}{2}R(T_2-T_1)$なので　$\Delta U=\underline{\dfrac{3}{2}RT_1\left\{\left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{2}{3}}-1\right\}}$

(2) 浮力に逆らってする仕事と，容器にはたらく重力による位置エネルギーの変化分