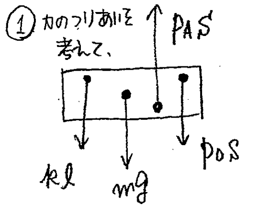
14−2 図1に示すようにシリンダー(円筒容器)が水平な床に対して垂直に固定されている。n[mol]の単原子分子の理想気体Gが，ばね定数k[N/m]のばねで連結されたなめらかに上下に移動できる質量m[kg]のピストンによってシリンダーに封入されている。ばねの質量は無視できる。ピストンの上部の空間は容器にあけられた穴によって大気圧P_0[Pa]となっている。シリンダー内の気体Gは，シリンダー底部に設置された加熱・冷却器とのみ熱のやり取りを行う。また，ピストンとシリンダーの熱膨張はないものとする。

重力加速度の大きさをg[m/s^2]，気体定数をR[J/(mol·K)]，ピストンの断面積をS[m^2]とする。また，定積モル比熱C_v [J/(mol·K)]，定圧モル比熱C_p [J/(mol·K)]は，それぞれ以下のように表される。

$$C_v=\frac{3}{2}R,\quad C_p=\frac{5}{2}R$$

以下の文章の空欄に適切な数式を入れよ。

① カのつりあいを考えて，



$P_AS-P_0S-mg-kl=0$

$P_A=P_0+\frac{mg}{S}+\frac{kl}{S}$ //

② $P_A\cdot V_A=nRT_A$

$T_A=\frac{P_AV_A}{nR}=\frac{(P_0S+mg+kl)V_A}{nRS}$

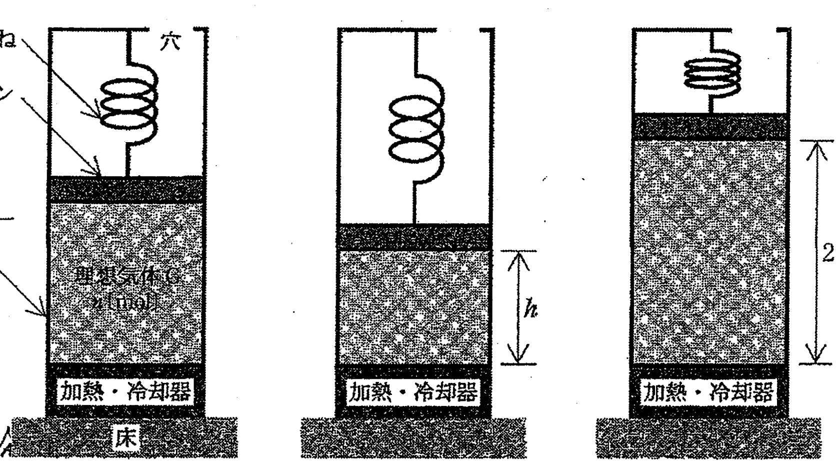
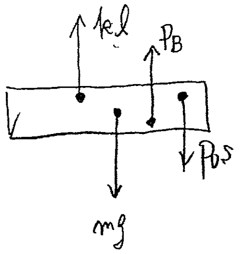


図1（状態A）　図2（状態B）　図3（状態C）

1. 図1に気体Gのはじめの状態(状態A)を示す。ばねは自然長よりもl [m]だけ縮んでおり，ピストンは静止していた。状態Aにおける気体Gの圧力をP_A[Pa]，温度をT_A[K]，体積をV_A[m^3]とする。P_Aは，P_0，m，g，S，l，kを用いて $\boxed{①}$ [Pa]となる。また，T_Aは，P_0，V_A，m，n，S，l，R，g，kを用いて $\boxed{②}$ [K]となる。

2. つぎに，気体Gを温度T_B[K]までゆっくり冷却すると，ピストンはばねを伸ばしながら下方へゆっくりと移動し，図2に示すようにシリンダーの底部からh[m]の高さで静止した。このとき気体Gの圧力はP_B[Pa]で，ばねは自然長であった。この状態を状態Bとする。T_Bは，P_0，n，R，S，h，m，gを用いて $\boxed{③}$ [K]となる。また，大気圧P_0は，P_B，m，g，Sを用いて $\boxed{④}$ [Pa]となる。



$P_B=P_0+\frac{mg}{S}\xrightarrow{④}P_0=P_B-\frac{mg}{S}$

③ $P_B\cdot Sh=nRT_B$

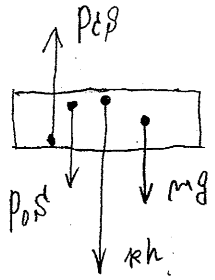
$T_B=\frac{P_BS}{nR}\cdot h=\frac{(P_0S+mg)}{nR}h$

3. つぎに，気体Gを状態Bから温度T_C[K]までゆっくり加熱すると，ピストンはばねを縮めながら上方へゆっくりと移動し，図3に示すようにシリンダーの底部から$2h$[m]の高さで静止した。この状態を状態Cとする。状態Cにおける気体Gの圧力P_Cは，P_B，h，S，kを用いて $\boxed{⑤}$ [Pa]となる。また，ボイル・シャルルの法則より，T_Cは，P_B，h，S，k，T_Bを用いて $\boxed{⑥}$ [K]となる。

状態Bから状態Cへの状態変化を体積−圧力のグラフ上に示すと直線関係となる。状態Bから状態Cまでの過程で気体Gがした仕事W_{BC}は，P_B，h，S，kを用いて $\boxed{⑦}$ [J]となる。状態Bから状態Cまでの過程で気体Gの内部エネルギーの増加ΔU_{BC}は，P_B，h，S，kを用いて $\boxed{⑧}$ [J]となる。したがって，状態Bから状態Cまでの過程で気体Gに与えられた熱量Q_{BC}は，P_B，h，S，kを用いて $\boxed{⑨}$ [J]となる。

（2012年　室蘭工業大）

⑤



$P_CS=\underbrace{P_0S+mg}_{代入}+kh$

$=P_BS+kh$

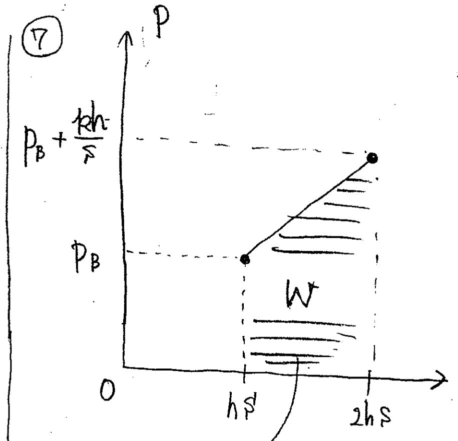
$P_C=P_B+\frac{kh}{S}$

⑥ ボイル・シャルル

$\frac{P_BhS}{T_B}=\frac{(P_B+\frac{kh}{S})2hS}{T_C}$

$T_C=2\left(1+\frac{kh}{P_BS}\right)T_B$

⑦



$\frac{P_BhS+\frac{1}{2}kh^2}{\qquad+\qquad}$,

⑧ $\frac{3}{2}nR\Delta T$

$=\frac{3}{2}nR\left(\underbrace{2T_B+\frac{2kh}{P_BS}\cdot T_B}_{T_C}-T_B\right)$

$=\frac{3}{2}nR\cdot\left(T_B+\frac{2kh}{P_BS}\cdot T_B\right)$

$=\frac{3}{2}nR\cdot\frac{P_BS}{nR}h+\frac{3}{2}nR\cdot\frac{2kh}{P_BS}\frac{P_BS}{nR}$

$=\frac{3}{2}P_BSh+3kh^2$

⑨ $Q_{BC}=\overset{⑧}{\Delta U}+\overset{⑦}{W_{OUT}}$

$=P_BhS+\frac{1}{2}kh^2+\frac{3}{2}P_BSh+3kh^2$

$=\frac{5}{2}P_BSh+\frac{7}{2}kh^2$ //

① $P_0+\frac{mg+kl}{S}$　② $\frac{(P_0S+mg+kl)V_A}{nRS}$　③ $\frac{(P_0S+mg)h}{nR}$　④ $P_B-\frac{mg}{S}$　⑤ $P_B+\frac{kh}{S}$

⑥ $2\left(1+\frac{kh}{P_BS}\right)T_B$　⑦ $P_BSh+\frac{1}{2}kh^2$　⑧ $\frac{3}{2}P_BSh+3kh^2$　⑨ $\frac{5}{2}P_BSh+\frac{7}{2}kh^2$