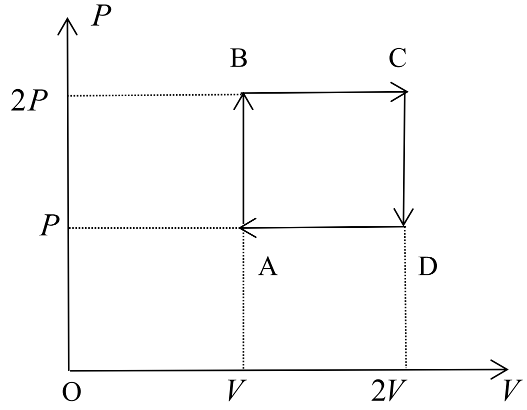
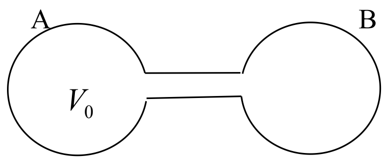
（問題１）

図のようなサイクルの熱効率eを求めよ。



（問題２）

同じ容積$V_0[m^3]$をもつ容器 A，B を細管でつなぎ，



単原子分子理想気体$n_0[mol]$を入れる。

初め，気体の温度は$T_0[K]$であった。

(1) 気体の圧力 $p_0[Pa]$と内部エネルギー$U_0[J]$を求めよ。

(2) A 内の気体の温度をT_0に保ったまま B を加熱し，B 内の気体の温度を$2T_0[K]$に上げた。

(a) A,B 内にある物質量n_A, n_Bを求めよ。

(b) 気体の圧力 $p[Pa]$を求めよ。

(c) 加熱による内部エネルギーの増加ΔUを求めよ。

（問題３）
まめらかに動くピストンがついた容器に理想気体を閉じ込めたところ，気体の圧力，体積温度がそれぞれ $p_1[Pa], V_1[m^3], T_1[K]$ であった。この状態を状態１とし，気体を次のように変化させるとする。

過程１　状態１から温度を一定に保ったまま，ピストンをゆっくり押し込むと，気体の体積が $\frac{1}{2}V_1[m^3]$ となった。（状態２）

過程２　次に，ピストンを押す力を一定に保ったまま，ヒーターで気体を温めて膨張させ体積を $V_1[m^3]$ に戻した。（状態３）

過程３　状態３でピストンを固定してヒーターを切り，しばらくすると，気体の温度が $T_1[K]$ になり，状態１に戻った。

(1) 状態２での気体の圧力 $p_2[Pa]$ と，状態３での気体の温度 $T_3[K]$ を求めよ。

(2) **過程１→２→３**の変化を横軸を体積 V ，縦軸を圧力 p に取ったグラフと

横軸を温度 T ，縦軸を体積 V に取ったグラフに表せ。

（問題４）
円筒容器にピストンで単原子分子理想気体を閉じ込めたとき，容器内外の圧力は $1.0\times10^5[Pa]$，気体の温度は $3.0\times10^2[K]$，体積は $2.0\times10^{-3}[m^3]$ であった。このときの気体の状態を A として $p-V$ 線図に示すように気体の状態を変化させた。

過程１(A→B)は定積変化，過程２(B→C)は等温変化，過程３(C→A)は等圧変化である。

過程２では気体の温度を一定に保つようにピストンで操作しながら気体に $3.5\times10^2[J]$ の熱量を加えた。

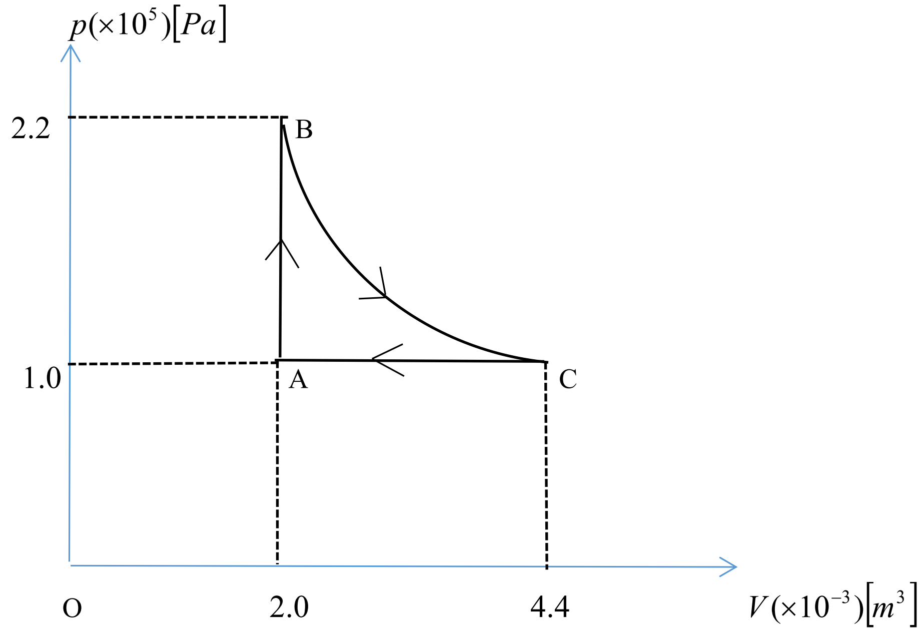
(1) 状態 B，C での温度 T_B, T_C を求めよ。

(2) 各過程での内部エネルギーの変化 $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ を求めよ。

(3) 各過程で気体がされる仕事 W_1, W_2, W_3 を求めよ。

(4) 過程１と過程３で外部から吸収する熱量 Q_1, Q_3 を求めよ。

(5) この１サイクルの熱効率を求めよ。



（問題５）

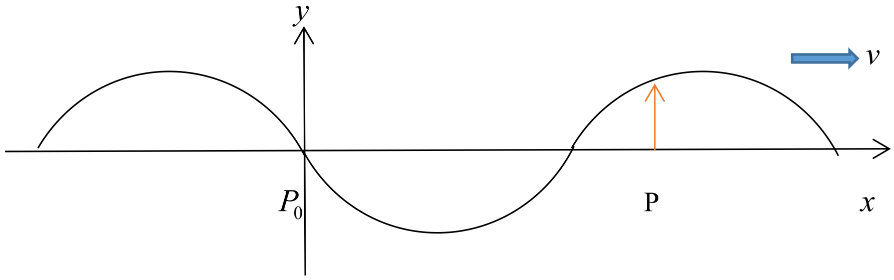
波長 $16[m]$,振幅 $1.5[m]$，周期 $5.0[s]$ の正弦波が x 軸正の向きに進んでいる。$x=0[m]$ の媒質を P_0 とし，位置 $x[m]$ の媒質を P，時刻 $t[s]$ における変位を $y[m]$ とする。図のように P_0 が座標の原点 O を正の向きに通過する時刻を $t=0[s]$ とする。

(1) P_0 の時刻 t における変位はいくらか。

(2) P の時刻 t における変位か P_0 のどの時刻における変位と等しいか。

(3) P の時刻 t における変異はいくらか。

(4) P_0 と逆位相で変位している媒質の位置 x を，$x > 0[m]$ の範囲で原点 O から近いものから２つ挙げよ。



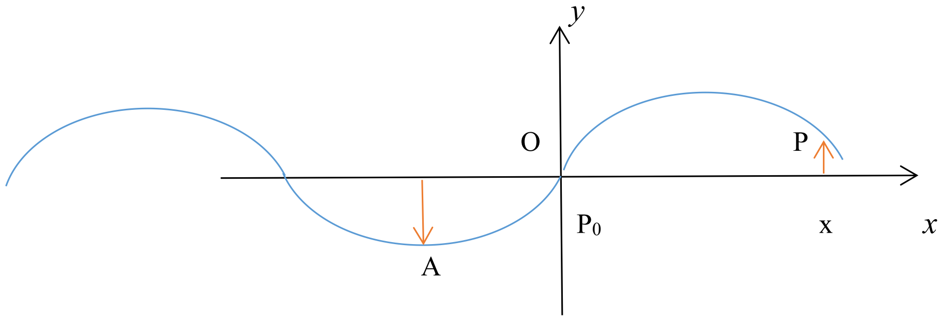
（問題６）

波長 16m,振幅 1.5m,周期 5.0s の正弦波が x 軸正の向きに進んでいる。X=0 の媒質を P_0 とし，位置 x[m]の媒質を P，時刻 t[s]における変位を y[m]とする。図のように P_0 が座標の原点 O を y 軸の負の向きに通過する時刻を t=0[s]とする。

(1)P_0 の時刻 t における変位はいくらか。

(2)P の時刻 t における変位はいくらか。

(3)点 A と逆位相で振動している媒質の位置 x を x>0 の範囲で原点 O に近いものから２つ挙げよ。



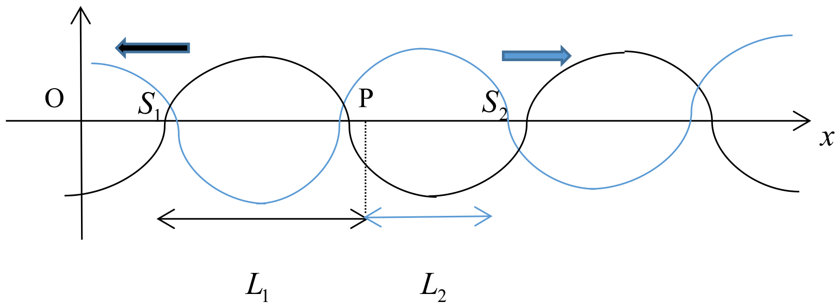
（問題７）

図のように，波源 S_1, S_2 を出発した正弦波（波１，波２）が，x 軸に沿って互いに逆向きに速さ v で進み，重なり合う。波１，波２は，波源 S_1, S_2 で反射しないものとする。，波源 S_1, S_2 からそれぞれ L_1, L_2 の距離にある点を P とする。，波源 S_1, S_2 の単振動の変位が $y = A\sin\dfrac{2\pi}{T}t$ と表せるものとして，次の問いに答えよ。

(1) 点 P の媒質の時刻 t における波１による変位を y_1, 波２における変位を y_2 として，変位 y_1, y_2 を L_1, L_2 を用いて表せ。

(2) 点 P における波１，２の位相差はいくらか。L_1, L_2 を用いて表せ。

(3) 波源 S_1, S_2 の間には定常波ができる。点 P が定常波の腹であるとき，(2)で求めた位相差は π の何倍になるか。また，距離の差 $|L_1 - L_2|$ は，波１，２の波長 λ の何倍になるか。

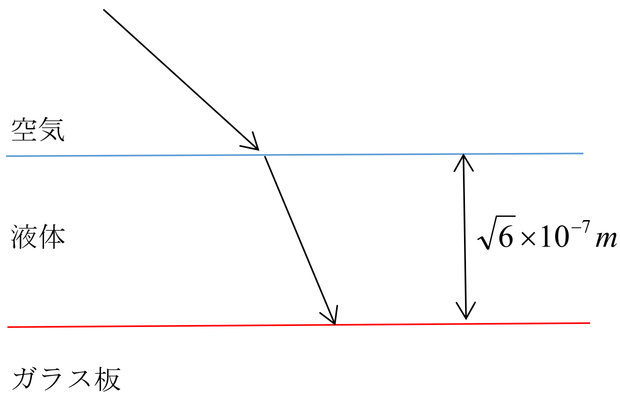


（問題８）

図のように，空気に対する屈折率が 1.5 のガラス板上に，屈折率 $\sqrt{2}$ の液体の薄い膜をつくった。膜の厚さは $\sqrt{6}\times10^{-7}m$ であった。この液体膜の表面に入射角 45° の光を当てるとき，次の問いに答えよ。

(1) 空気と液体との境界での光の屈折角 θ はいくらか

(2) 空気と液体との境界で反射する光と，液体とガラスの境界で反射する光の光路差はいくらか

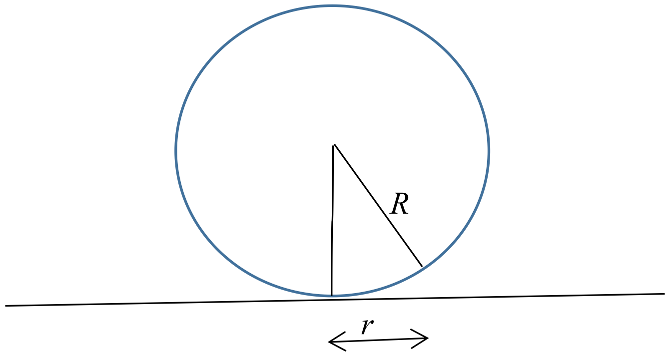


（問題９）

平面ガラス板の上に，半径 R の球面をもつ平凸レンズを図のように置く。真上から波長 $6.0\times10^{-7}m$ の単色光を当て，上方から見ると，同心円状の明暗の環が観察された。図で d は R に比べて十分小さいとする。

(1) レンズと平面ガラスの接触点 A から r だけ離れた点での空気層の厚さ d は，$d \cong \dfrac{r^2}{2R}$

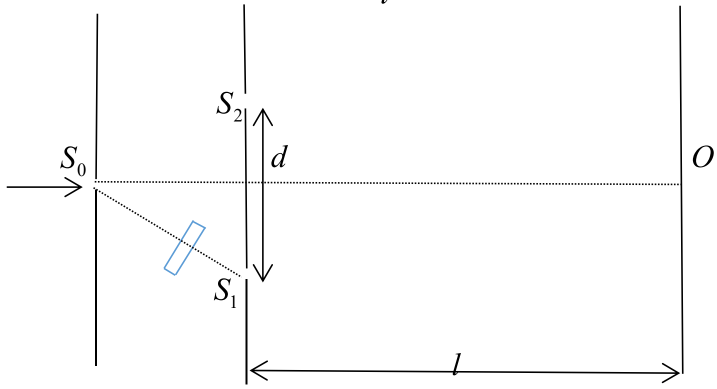
となることを示せ。
(2) 平凸レンズの半径が 27m のとき，中心から 5 番目の暗環の半径 r を求めよ。
（中心は 0 番目とする。）ただし，光が空気からガラスに進む境界で反射するとき位相が π ずれる（逆転する）ものとする。



（問題１０）

単色光をスリット S_0 と複スリット S_1, S_2 に通すと，後方のスクリーン上に明暗の縞ができ，スクリーン中央の点 O で最も明るかった。S_1 と S_2 は間隔が $d[m]$ で，S_0 から等距離にある。複スリットとスクリーンの距離を $l[m]$ とする。

(1) 図のように，スリット S_1 の手前に，屈折率 $n(n>1)$，厚さ $D[m]$ の薄い透明板を S_0S_1 に垂直に置いたとき，S_0 から回折して，S_1 に達する光と，S_2 に達する光の光路差 $\Delta s[m]$ を求めよ。
(2) 初め，スクリーン上の点 O にあった明線は，透明板を置いた後，上向きに移動するか，下向きに移動するか。
(3) (2)の移動距離 $\Delta x[m]$ を求めよ。ただし，点 O から $x[m]$ 離れたスクリーン上の点を P とすると，S_1P と S_2P の光路差は $\dfrac{d}{l}x$ と表されるものとする。

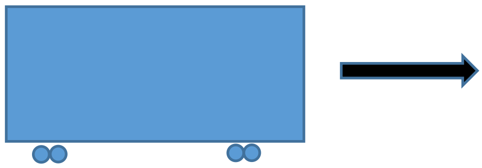


（問題１１）

振動数 300Hz の警笛音を出す電車が直線上を進んでいる。音の伝わる速さを 340m/s として次の問いに答えよ。

(1) 電車が速さ 20m/s で走りながら警笛を鳴らした。電車の進行方向前方に伝わる警笛音の波長 λ' はいくらか。

(2) (1)の音を電車の進行方向前方の踏切に立っている人が聞く振動数 f' はいくらか。

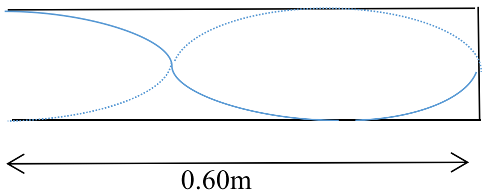


（問題１２）

長さが 0.60m の閉管内の気柱が 3 倍振動している。音の速さを $3.4\times10^2 m/s$ とし，開口端補正は無視する。

(1) 気柱内の音波の波長 λ は何 m か。

(2) 気柱内の音波の振動数 f は何 Hz か。



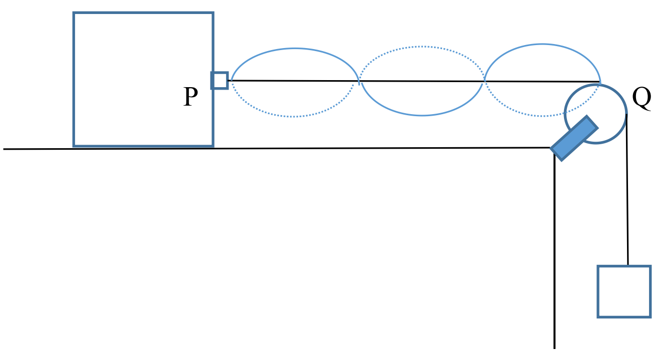
（問題１３）

弦の一端を振動子 P につなぎ，他端は滑車 Q を経ておもりにつなぎ，PQ の部分を水平に張った。振動子の振動数を$1.2\times10^2[Hz]$にして，PQ の長さを$1.2[m]$にすると，図のように弦に 3 個の腹を持つ定常波が生じた。

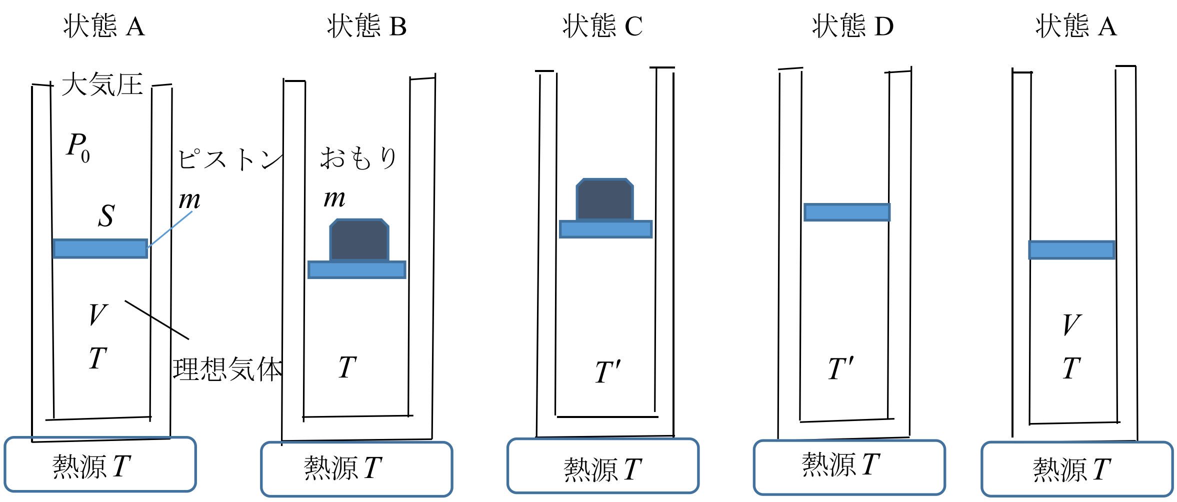
(1) 弦を伝わる波の波長 $\lambda[m]$を求めよ。

(2) 弦を伝わる波の速さ $v[m/s]$を求めよ。

PQ の長さとおもりはかえないで，振動子の振動数を変えたところ，4 個の腹をもつ定常波に変化した。このときの振動子の振動数 $f[Hz]$を求めよ。



（問題１４）
図の示すように，シリンダーが鉛直に置かれている。このシリンダーには，滑らかに動く断面積 $S[m^2]$，質量 $m[kg]$ のピストンが取り付けられており，内部には単原子分子理想気体が閉じこまれている。シリンダーは温度が調整できる熱源に接触している。下記の問の中で説明するように，シリンダー内の理想気体を図の状態 A，状態 B，状態 C，状態 D と変化させ，その後，もとの状態 A にもどした。はじめの状態 A では，熱源の温度は $T[K]$ でピストンは静止していた。このとき，シリンダー内の理想気体の温度は T，体積は $V[m^3]$ であった。次の問いに答えよ。ただし，周囲の大気圧は一定で $P_0[Pa]$，重力加速度の大きさは $g[m/s^2]$ とする。また，理想気体の質量は無視でき，熱の移動は熱源とシリンダー内の理想気体の間でのみ可能とする。



(1) 状態 A での内部の理想気体の圧力 $[Pa]$ を P_0, S, m, g を用いて表せ。

(2) 内部の理想気体の温度が変化しないようにゆっくりとピストンと同じ質量のおもりをピストンの上にのせると，ピストンは下降したのち静止した。このとき，内部の理想気体は図の状態 B になった。状態 B での内部の理想気体の圧力 $[Pa]$ と体積 $[m^3]$ を P_0, V, S, m, g の中で必要な記号を用いて表せ。

(3) おもりをのせたままシリンダー内の理想気体の温度を T から $T'[K]$ へゆっくり上昇させると，内部の理想気体は図の状態 C になった。状態 C での内部の理想気体の体積 $[m^3]$ を求めよ。また，状態 B から状態 C への変化で内部の理想気体が外部にした仕事 $[J]$ と熱源から

受け取った熱量$[J]$を求めよ。解答はP_0,V,S,T,T',m,gの中から必要な記号を用いて表せ。

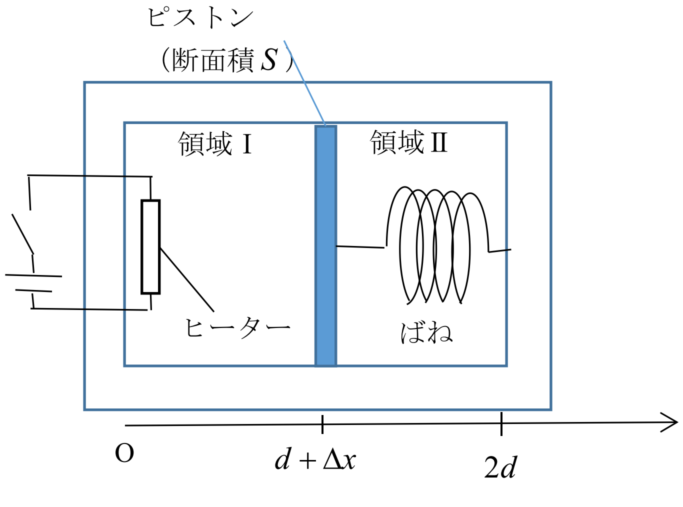
(4) 内部の理想気体の温度が変化しないようにおもりをゆっくりと取り除くと，ピストンは上昇したのち静止した。このときの内部の理想気体は図の状態Dになった。状態Dでの内部の理想気体の圧力$[Pa]$と体積$[m^3]$を，P_0,V,S,T,T',m,gの中から必要な記号を用いて表せ。

(5) さらに内部の理想気体の温度をT'からTへゆっくり下降させた。このときの内部の理想気体は元の状態Aにもどった。状態Dから状態Aへの変化で，内部の理想気体が外部からされた仕事$[J]$と熱源に放出した熱量$[J]$を，P_0,V,S,T,T',m,gの中から必要な記号を用いて表せ。

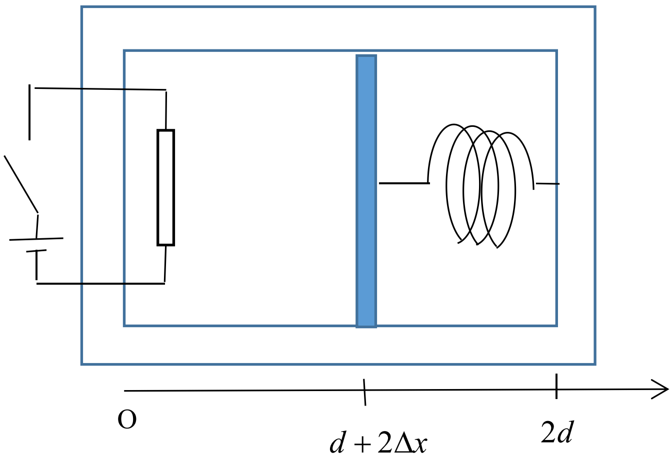
（問題１５）

図１に示すようなシリンダーがあり，なめらかに移動するピストン（断面積S）で領域Iと領域IIに仕切られている。領域Iには，気体が封じ込まれており，ヒーターにより気体を加熱することができる。一方，領域IIは真空に保たれており，ピストンにつながったばね（ばね定数k）が設置されている。ピストンがシリンダーの中心$(x=d)$にあるときに，ばねは自然の長さであるとする。ピストンが動く向きにx軸をとり，ピストンの厚みはシリンダーの大きさに比べて十分薄く，無視できるものとする。また，シリンダーの壁やピストンを通じた熱の出入りは無視できるものとする。ピストン，ヒーター，ばねの熱容量も無視できるものとする。

図１に示すように，はじめのピストンの位置は$x=d+\Delta x$であり，気体の温度はT_0であった。領域Iの気体の圧力p_0を$S,k,\Delta x$を用いて表すと$p_0=\boxed{\text{ア}}$である。また，ばねにたくわえられた弾性エネルギーE_0をS,k,p_0を用いて表すと$E_0=\boxed{\text{イ}}$である。



次に，図２に示すように，ヒーターの電源を入れて領域Ⅰの気体に熱量Qを与えたとき，ばねはさらに縮んで$x=d+2\Delta x$となり，温度はT_1となった。この過程で気体がばねにした仕事WをS,k,p_0を用いて表すと$W=$ ウ である。気体の内部エネルギーの増加分ΔUをQおよびWを用いて表すと$\Delta U=$ エ である。温度T_0のはじめの状態から，ピストンの位置を$x=d+\Delta x$に固定したまま熱量Qを与えたとき，気体の温度はT_2となった。T_2とT_1を比べると，T_2のほうが オ 。



（問題１６）
図１のように，なめらかに動くピストンでA，Bの２つの室に分けられた容器があり，B室はコックのついた容積が無視できる細い管でC室につながっている。すべての容器，コック，管およびピストンは断熱材で作られていて，各室には同種の単原子分子からなる理想気体が入っている。A室の気体の物質量を$n[mol]$とする。気体定数を$R[J/mol\cdot K]$として次の問いに答えよ。
［A］図１に示すように，最初コックは閉じてあり，A，BおよびC室の体積はいずれも$V[m^3]$であり，各室の温度はそれぞれ$T,T,2T[K]$，またA室の圧力は$p[N/m^2]$であった。

(1) pをn,R,T,Vを用いて表せ。

(2) B 室の気体の物質量 $n_B[mol]$ を n を用いて表せ。

(3) C 室の気体の物質量を $n_C[mol]$ とするとき, B および C 室の内部エネルギーの和 $U_0[J]$ を n_B, n_C, R, T を用いて表せ。

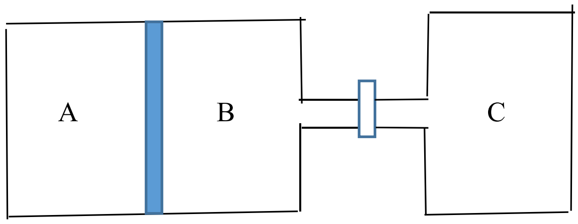


図 1

［B］次に，コックを静かに開けると B,C 室間で気体が混ざりあい，十分な時間が経過したのち図 2 に示すような平衡状態となった。このとき，A 室の体積は $\frac{V}{2}$，圧力は $4p$ になった。

(4)A 室の気体の温度を T を用いて表せ。

(5)B および C 室の内部エネルギーの和 $U_1[J]$ を，n, R, T を用いて表せ。

(6)図 1 から図 2 への変化の際に，A,B および C 室の内部エネルギーの総和が不変であることに基ずいて，n_C を n を用いて表せ。

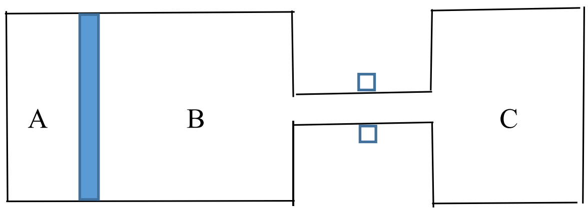


図 2