平成 28 年度
前期日程

物　　　理

医学部・工学部・応用生物科学部

問　題　冊　子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は8ページからなる。解答用紙等については，医学部は解答用紙3枚・白紙1枚，その他の学部は解答用紙4枚である。乱丁，落丁，印刷不鮮明などの箇所があった場合には，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は，解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は，大問で4題である。工学部・応用生物科学部の受験生は4題すべてに解答すること。医学部の受験生は，問題 $\boxed{1}$，$\boxed{2}$，$\boxed{3}$ に解答すること。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子および白紙(白紙は医学部受験生のみ該当)は持ち帰ること。
8. 大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

1 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

カーリングとは，水平な氷上で，２つのチームが交互に石(ストーン)を滑らせて，氷上に描かれた円の中心(ティー)から最も近い位置に自チームのストーンを停止させたチームが得点するというゲームである。このゲームの特徴は，ストーンを氷上の他のストーンに当てて，ストーンの速度と静止する位置を変えられることである。

まず，このゲームをx軸上におけるストーンの直線の運動として簡単化して考えてみる。ストーン同士の衝突は瞬間的に起こるため衝突における摩擦の影響は無視でき，ストーン同士は弾性衝突するものとする。ストーンと氷の間の動摩擦係数は一定で，μ'とする。各々のストーンの質量をm〔kg〕，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。なお，ストーンの大きさ，回転，空気抵抗は無視する。図1に示すように，$x=0$ mの点Oから$x=r$〔m〕にあるティー(点P)に向け，ストーンAをある初速度で滑らせる。氷上で静止している相手チームのストーンをB_1で表す。ストーンAを，相手チームのストーンB_1よりも点Pに近い位置で静止できれば得点できる。図1のように，$x=r+\ell$〔m〕($0<\ell<r$)の点QにストーンB_1がある場合，ストーンAを$r-\ell<x<r+\ell$〔m〕で静止させる，あるいはストーンB_1に衝突させれば，得点できる。

問 1　図1の状況で，ストーンAをちょうど点Pに静止させ，得点した。このときの初速度v_0〔m/s〕，加速度a〔m/s^2〕，滑らせてから静止するまでにかかる時間T〔s〕をμ'，m，g，rから必要なものを用いて表せ。

問 2　図2に示すように，点Qにある相手チームのストーンB_1に加え，$x=r-h$〔m〕($\ell<h<r$)の点Rに相手チームのストーンB_2がある場合，どのようなx軸方向の初速度v_1〔m/s〕でも得点できない理由を述べよ。

次に，氷上の平面運動として考えることにする。図3に示すように，それぞれ点Q，Rにある相手チームのストーンB_1，B_2に加え，ストーンB_2からx軸に垂直な方向に距離$\sqrt{3}\,h$〔m〕離れた点Sに相手チームのストーンB_3があったとする。点Oからx軸に垂直な方向にある点O′から，ストーンAをx軸と平行に初速度v〔m/s〕で滑らせたとき，ストーンAはストーンB_3と衝突し，図4に示すような角度$\theta_A=60°$，$\theta_B=30°$ではね返った。

問 3　衝突直前のストーンAの速さをV_A〔m/s〕，衝突直後のストーンA，B_3の速さをそれぞれV_A'〔m/s〕，V_B'〔m/s〕とする。

1) V_Aをμ'，m，g，r，h，vから必要なものを用いて表せ。

2) V_A'およびV_B'をV_Aを用いて表せ。

問 4　この衝突によって得点するための v の範囲を $\boxed{\quad(1)\quad} < v < \boxed{\quad(2)\quad}$ と書くとき，(1)および(2)にあてはまる式をそれぞれ μ'，m，g，r，ℓ，h から必要なものを用いて表せ。

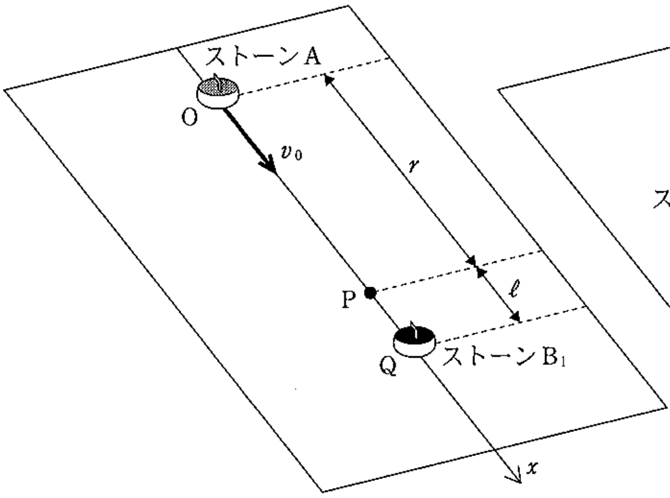


図 1

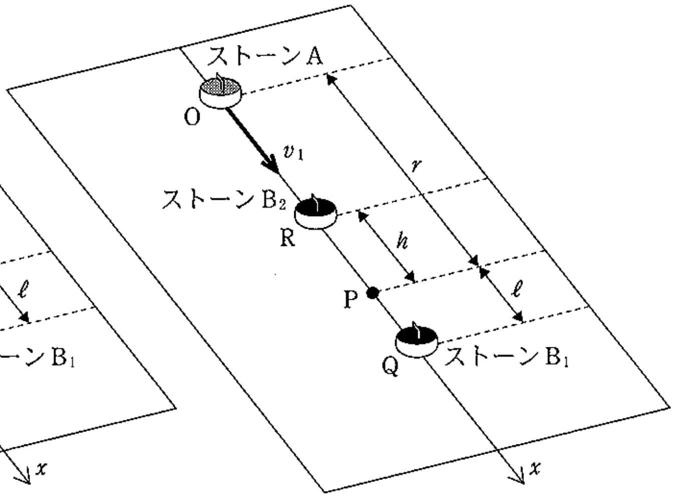


図 2

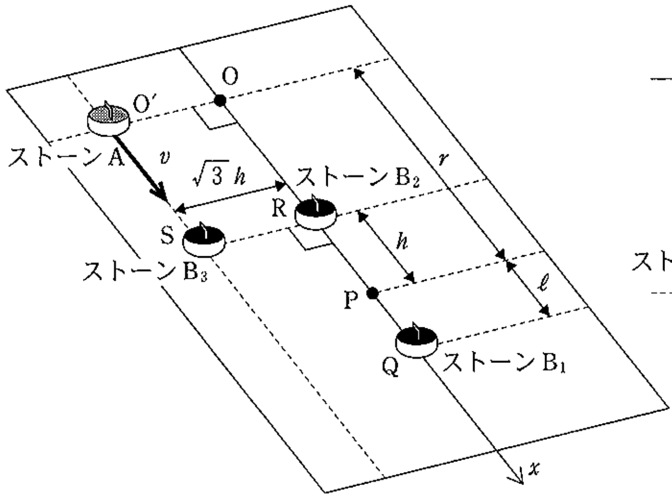


図 3

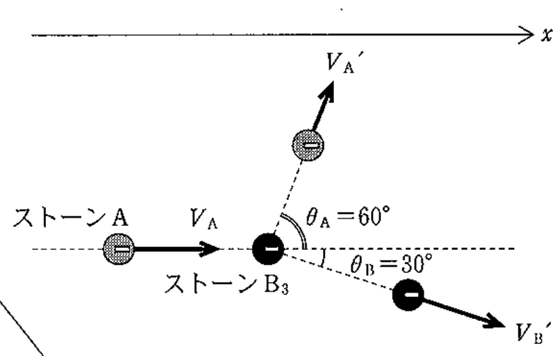


図 4

2 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1は荷電粒子を加速する装置を上およびななめから見たときの概略図である。半円形で中空の電極 D_1 と D_2 が向かい合わせに，距離 L〔m〕だけ離して真空中に置かれている。上から見た図のように電極 D_2 の直線部の中心を原点Oとし，電極に垂直に紙面から手前に z 軸，電極 D_1 から D_2 の向きに x 軸，電極 D_2 の直線部に沿って y 軸をとる。

z 軸正方向に磁束密度 B_z〔T〕の一様磁場が電極 D_1 と D_2 の中空部分に与えられている。D_1 を正極に，D_2 を負極に電圧 V〔V〕がかけられ，x 軸正方向に一様電場が生じている。このとき，電気量 $q(>0)$〔C〕，質量 m〔kg〕の粒子が電極 D_1 の直線部の中心点Pから初速度0で放たれた。粒子は電極間で加速され，電極 D_2 に入るとローレンツ力によって等速円運動をして，半円を描いて電極 D_2 を出る。粒子が D_2 を出たとき，電極間の電圧の大きさは変えずに極性を反転していれば，粒子は2回目の加速を受けて電極 D_1 に入射する。このように電極間で加速されて，D_1 または D_2 で半円を描いて再び電極間に入射し加速を繰り返すことで粒子はエネルギーを得る。粒子の軌道半径は次第に大きくなり，半径 R_0〔m〕になると装置外に出ていくようになっている。粒子の描く軌道は，初めは小さい円であるが，次第に大きい円となり，各電極の直線部の中心点PまたはOを中心に円軌道を描くとみなせるとする。

問 1　1回目の加速後，D_2 に到達した時の粒子の速さを求めよ。

問 2　n 回目の加速後の粒子の円軌道の半径と，その円軌道を半周するのに要する時間を求めよ。

問 3　質量 $2m$ の粒子を加速して，軌道半径 R_0 で装置外に取り出す。装置外に出ていくときの運動エネルギーは，質量 m の粒子が得られる運動エネルギーの何倍か。ただし，どちらの粒子も電気量を q とする。

問 4　粒子が電極 D_1 の点Qで等速円運動している時に，停電になり磁場も電場も瞬時に0になったとする。その場合，粒子は図1のaからfのどの方向に進んでいくか。理由とともに答えよ。

粒子が原点Oを含む xy 面内(中心面)で円軌道を描いて運動することが理想だが，実際にはそれる粒子もある。そこで粒子の軌道を修正できるように，磁場に工夫がされている。その原理を簡単に見ていこう。図2のように速さ v_0〔m/s〕で中心面から角度 θ〔rad〕の向き($v_x = v_0\cos\theta$，$v_y = 0$，$v_z = v_0\sin\theta$)で，点Oから離れたある点Aから電極 D_2 に入射した粒子の軌道を考える。ただし，角度 θ は十分小さく，粒子が電極の上面や下面に衝突したり，電極から飛び出したりすることはないとする。粒子は，磁束密度 B_z の一様磁場中では，点Oを中心にらせん軌道を

描きながら中心面からそれて，D_2を出てきたときの位置は，y 座標が $\boxed{（あ）}$〔m〕，z 座標が $\boxed{（い）}$〔m〕である。そこで磁束密度 B_z と，半径方向（xy 面内で電極の中心点 O から外向き）の磁束密度 B_r〔T〕の成分がある磁場を考える。図 2 のような速度をもって点 A を通過する粒子が，B_r のみから受けるローレンツ力の大きさは $\boxed{（う）}$〔N〕であり，その x 軸方向の成分は $\boxed{（え）}$〔N〕，z 軸方向の成分は $\boxed{（お）}$〔N〕となる。角度 θ は小さいので $\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ とおくことができ，粒子が電極内にいる時間が B_r によって変わらないと仮定するとき，ローレンツ力の z 成分によって，角度 θ で点 A を通過した粒子が電極を出るときに再び中心面にもどるようにするには $B_r = \boxed{（か）}\ B_z$ なる関係式が成り立てばよい。

問 5　上記説明文章中の(あ)から(か)に入る適切な式を答えよ。

問 6　上記文章の考察結果を応用して，粒子が電極の中心面付近からそれないための磁力線を示すものとして最も適切なものを図 3 の(1)から(4)の中から選んで，理由とともに答えよ。ただし，図 3 は電極 D_2 の場合について描かれており，z 軸を含む平面で切った断面図である。

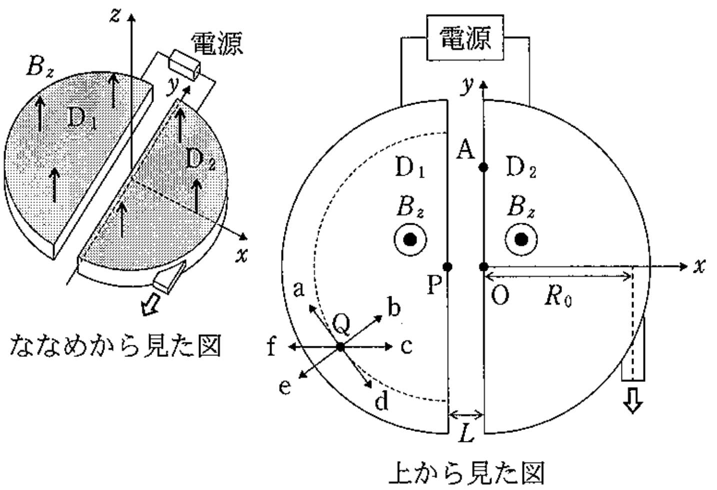


図 1

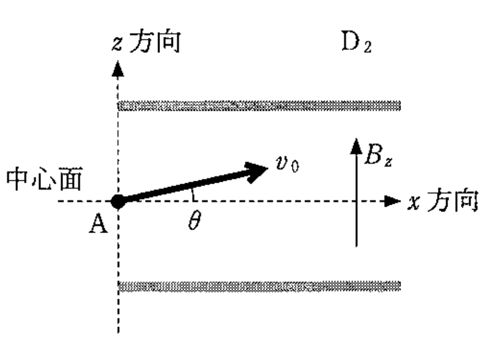


図 2

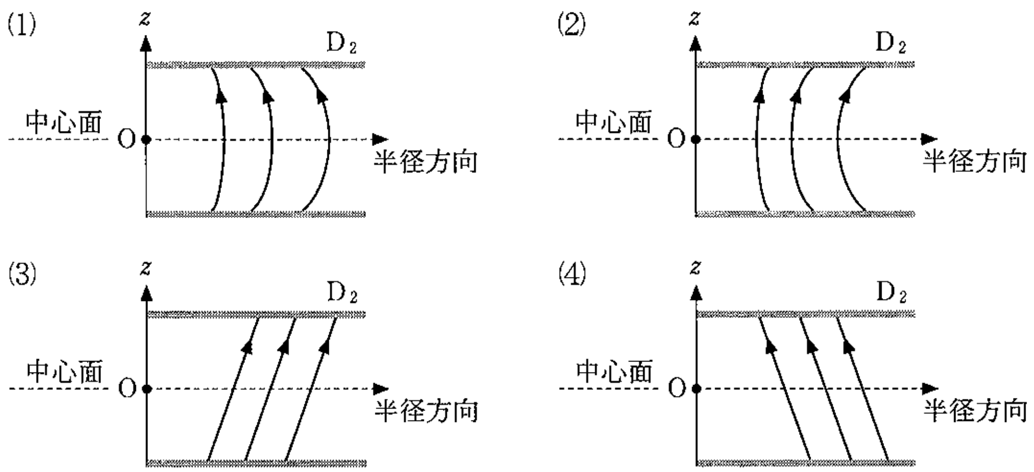


図 3

3 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1のように，地表面の点Oをハンマーで叩くことにより地面を振動させ，この振動が縦波として地中を伝わる現象を用いて，地下における地層の分布を調べることができる。地中には，地表から深さ d〔m〕まで地層1，その下に地層2が広がっている。地層1，地層2での縦波の速さはそれぞれ v_1〔m/s〕，v_2〔m/s〕であり，$v_1 < v_2$ である。地表面，地層1と地層2の境界面はいずれも水平とする。

問 1　縦波とはどのような波を指すのか，40文字以内で答えよ。

問 2　地層の境界面における縦波の反射・屈折の現象は光の場合と同様に考えることができる。いま，点Oから縦波が球面波として地層1を伝わり，図1のように地層1と地層2の境界面の点Pで鉛直面とのなす角 θ〔rad〕で入射した。この入射角 θ が臨界角のときの $\sin\theta$ を求めよ。

地層の中には砂や泥といったさまざまな粒子が含まれているため，縦波が進むときにはこれらの粒子が振動することにより，さまざまな方向に進む球面波が発生すると考えることができる。図2は地層1と地層2の境界面付近の縦波のようすを拡大して示したものである。地層2の中を伝わる縦波について考えると，その波面は鉛直面とみなせるのに対して，地層1では地層2のもっとも上の面を伝わる縦波から生じる球面波により，波面が発生する。点Aで生じた球面波が地層1に伝わり点Cに到達したときに，地層2を伝わる縦波は点Bまで進んでいる。点Bでも球面波が発生して地層1に伝わることから，地層1を進む波面は点Bと点Cを結んだ直線に一致する。

問 3　境界面から地表面に向かって進む縦波は，図2のように鉛直面とのなす角 θ'〔rad〕の方向に進む。$\sin\theta'$ を v_1，v_2 を用いて表せ。

問 4　点Oから L〔m〕離れた点Rに経路OPQRを伝わる縦波が到達するために要する時間 t_{OPQR}〔s〕を d，v_1，v_2，L を用いて表せ。

問 5　$v_1 = 1.0 \times 10^3\,\mathrm{m/s}$，$v_2 = 2.0 \times 10^3\,\mathrm{m/s}$，$L = 14.4\,\mathrm{m}$ のとき，経路ORを伝わる縦波と経路OPQRを伝わる縦波が同時に到達した。このとき，d を求めよ。なお，必要であれば近似値 $\sqrt{2} \fallingdotseq 1.4$，$\sqrt{3} \fallingdotseq 1.7$，$\sqrt{5} \fallingdotseq 2.2$ を用いよ。

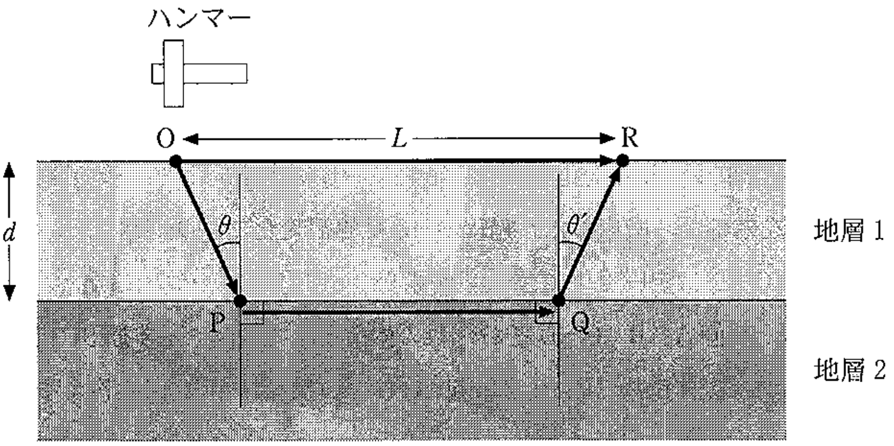


図 1

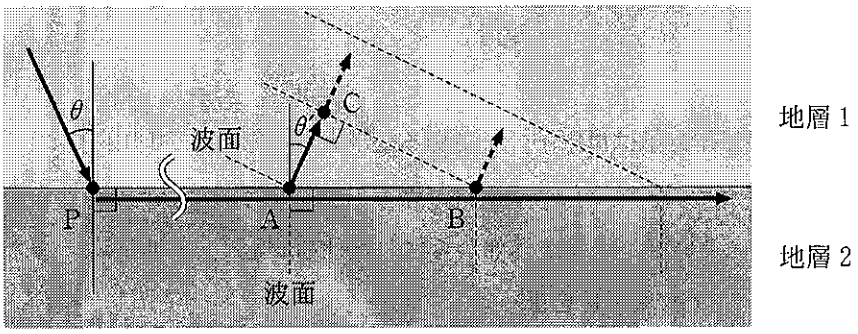


図 2

4 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　工・応生：$\frac{1}{4}$)

n〔mol〕の理想気体をシリンダーに閉じ込め，その体積と圧力を，図に示すように状態Aから順にB，C，D，Aとゆっくりと変化させた。過程A→Bは定圧変化で，その間に気体は$Q_{AB} = 2.50 \times 10^4$ Jの熱を外部から吸収した。過程B→Cは等温変化で，$Q_{BC} = 1.81 \times 10^4$ Jの熱を吸収した。続く過程C→Dは定圧変化で，$Q_{CD} = 2.98 \times 10^4$ Jの熱を放出した。最後の過程D→Aは断熱変化である。状態A，B，C，Dそれぞれの体積と圧力は図に示す通りである。

なお，必要であれば気体定数にはR〔J/(mol・K)〕の記号を用い，数値を答える場合は有効数字2桁で答え，その導出過程も明記せよ。

問 1　過程A→Bにおいて，気体が外部からされた仕事W_{AB}〔J〕を求めよ。また，気体の内部エネルギーの変化量ΔU_{AB}〔J〕を求めよ。

問 2　この気体の気体分子は単原子分子であると予想される。その理由を示せ。

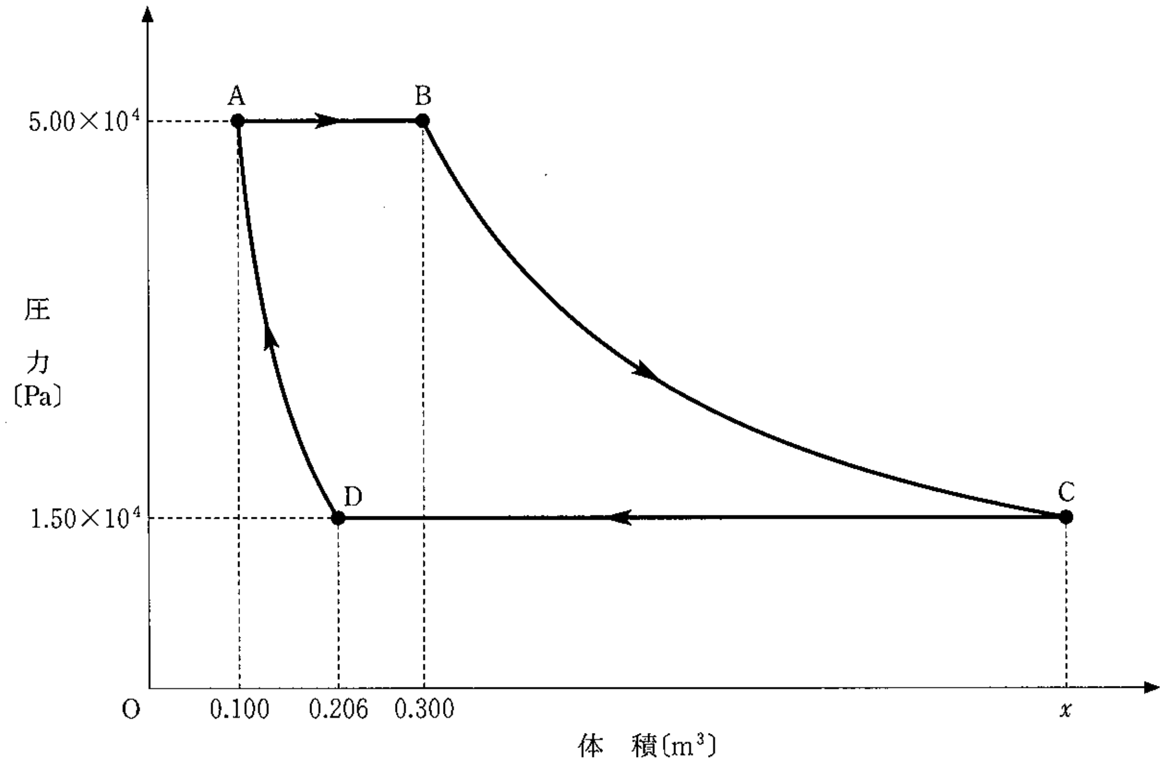
問 3　過程B→Cにおいて，気体が外部からされた仕事W_{BC}〔J〕を求めよ。また，気体の内部エネルギーの変化量ΔU_{BC}〔J〕を求めよ。

問 4　状態Cにおける気体の体積x〔m^3〕を求めよ。

問 5　過程C→Dにおいて，気体が外部からされた仕事W_{CD}〔J〕を求めよ。また，気体の内部エネルギーの変化量ΔU_{CD}〔J〕を求めよ。

問 6　過程D→Aにおける気体の内部エネルギーの変化量ΔU_{DA}〔J〕を求めよ。

問 7　図の1サイクルの間に，気体が外部からされた仕事W〔J〕を求めよ。



図