物理基礎・物理　（その１）

第１問　以下の**問い**(**問１**～**問５**）に答えよ。

半径 R の円形の管が水平面上に固定されている。**図１**は，それを鉛直上方から見た図である。管の中には質量 m の小球１と，質量 M の小球２が入っていて，これらの小球は管に沿って運動をしている。**図１**のように，小球１に速さ v を与え，静止している小球２に衝突させた。小球１と小球２の間のはね返り係数(反発係数）を e とし，小球の大きさや管の太さ，小球と管との間の摩擦は無視できるものとする。また，管の中は小球１と小球２が入っている以外は真空である。

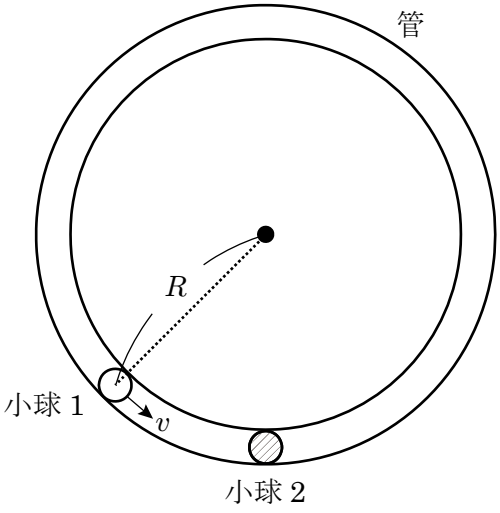

図１

まず，小球１と小球２の間のはね返り係数(反発係数）が $0 < e < 1$ である場合を考える。

問１　小球１と小球２がはじめて衝突した直後のそれぞれの速度を求めよ。ただし，速度は衝突直前の小球１の速度の向きを正とする。

問２　小球１と小球２がはじめて衝突した際に小球１が受けた力積の大きさを求めよ。

問３　小球１と小球２がはじめて衝突してから次に衝突するまでにかかる時間を求めよ。

問４　小球１と小球２の速さは，何度も衝突を繰り返すうちにある値に近づいていく。その速さを求めよ。

次に，小球１と小球２の間のはね返り係数(反発係数）が $e = 0$ である場合を考える。

問５　小球１と小球２がはじめて衝突した際に失われた力学的エネルギーを求めよ。

物理基礎・物理　（その２）

第２問　以下の**問い**(**問１**～**問５**）に答えよ。

図２は，サイクロトロン加速器で荷電粒子を加速させる様子を表したものである。サイクロトロン加速器は二つの半円型の電極(電極 1，電極 2）が向かい合った構造をしており，これらの電極の内部は空洞になっている。それぞれの電極には，紙面に垂直で裏から表に向かう向きに磁束密度の大きさ B の磁場がかけられており，二つの電極間には交流電圧 Vがかけられている。電極 1 の中心付近から初速 0 で質量 m，電荷 q（$q > 0$）の荷電粒子を放すと，荷電粒子は二つの電極間に生じた電場によって電極 2 に向かって加速する。電極 2 の内部に入った荷電粒子は，磁場によって軌道が曲げられ，半円を描いて電極 2 から出てくる。その後，再び電場で加速した荷電粒子は電極 1 の内部に入り，半円を描いた後，電極 1 から出てくる。以降も同様の運動を繰り返しながら，荷電粒子は加速されていく。二つの電極間には電場のみ，各電極内部には磁場のみが存在するものとし，荷電粒子の運動に伴う電磁波の発生は無視できるものとする。また，交流電圧 Vは電極 2 に対する電極 1 の電位を表すものとし，荷電粒子が二つの電極間を運動するのにかかる時間は十分に短く，その間の交流電圧 V は一定とみなしてよいものとする。また，加速器は真空中に置かれており，荷電粒子にはたらく重力の影響は無視できるものとする。

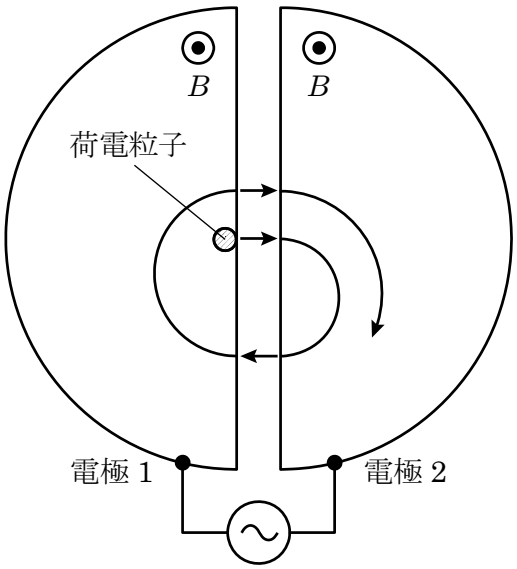

図２

電極 1 の中心付近で荷電粒子を放してから，はじめて電極 2 から出てくるまでの運動を考える。荷電粒子が二つの電極間を運動する際の交流電圧は $V = V_0$（> 0）とする。

問１　荷電粒子が電極 2 の内部に入るときの速さを求めよ。

問２　荷電粒子が電極 2 の内部で描く軌道の半径を求めよ。

物理基礎・物理　（その３）

問３　荷電粒子が電極 2 の内部に入ってから出てくるまでにかかる時間 T を求めよ。

電極 2 を出た瞬間に交流電圧は $V = -V_0$ なり，荷電粒子はさらに加速されて電極 1 に入る。荷電粒子が二つの電極間を運動するたびに電場で加速されるためには，荷電粒子が電極から出てくるたびに，交流電圧が $V = V_0$ と $V = -V_0$ を交互にとるようにする必要がある。

問４　荷電粒子が二つの電極間を運動するたびに電場で加速されるための交流電圧の周波数の最小値を求めよ。ただし，解答には T を用いてはならない。

問５　**問４**の条件が満たされているとき，荷電粒子の運動エネルギーの時間変化を表すグラフを描け。ただし，縦軸は荷電粒子の運動エネルギー K，横軸は荷電粒子がはじめて電極 2 に入ってからの時間 t とし，グラフは $0 \leqq t \leqq 3T$ の範囲で描け。ただし，T は**問３**で求めた時間である。また，荷電粒子が二つの電極間を運動するのにかかる時間は無視してよい。

物理基礎・物理　（その４）

第３問　以下の問い(問１～問５）に答えよ。

一定の振動数 f_0 の音波を発する音源 S と観測者 O が x 軸上に並んでいる。観測者 O は $x = L$ の位置で静止し続けるものとする。音速を V とし，風の影響は考えないものとする。また，音源の速さは音速 V を超えることはないものとする。

まず**図３－１**のように，音源 S が一定の速さ v_0 で観測者に近づくことを考える。音源 S は時刻 $t = 0$ において $x = 0$ の位置を通過し，時刻 $t = 0$ から時間 ΔT の間だけ音波を発した。この間，音源 S は観測者 O を通り過ぎることはなかったものとする。

図３－１

問１　時間 ΔT の間に，音源 S が発した音波の個数を求めよ。ただし，1 波長の音波を 1 個と数えるものとする。

問２　観測者 O が音を聞き始める時刻，および聞き終わる時刻をそれぞれ求めよ。

問３　音源 S が発した音波の個数と，観測者 O が受け取る音波の個数は等しい。このことを利用して，観測者 O が観測する音波の振動数を求めよ。答えを求める過程も記述すること。

次に，音源 S が等加速度運動しながら観測者に近づくことを考える。**図３－２**のように音源 S は，はじめ $x = 0$ の位置で静止していたが，時刻 $t = 0$ から x 軸正の向きに大きさ α の加速度で等加速度運動をし始め，速度を上げながら観測者 O を通り過ぎ，やがて観測者 O から離れていった。音源 S は観測者 O にぶつかることはないものとし，音源 S は音を発し続けるものとする。

図３－２

物理基礎・物理　（その５）

問４　音源 S が位置 x（$0 < x < L$）に達したとき微小時間に発した音波を観測者 O が観測した。観測者 O が観測した音波の振動数を求めよ。ただし，この微小時間については，音源 S の速度を一定とみなしてよいものとする。

問５　音源 S が動き始めてから，観測者 O から十分離れていくまでに，観測者 O が観測する音波の振動数の最大値は $2f_0$ であった。α を L，V を使って表せ。

物理基礎・物理　（その６）

第４問　以下の問い(問１～問５）に答えよ。

シリンダー内に一定量の単原子分子理想気体(以下，気体という）が入っている。この気体の圧力 p と体積 V を，図４に示すような A→B→C→D→A の過程でゆっくりと変化させる熱機関の１サイクルを考える。状態 A の圧力は p_0，体積は V_0，絶対温度は T_0 である。

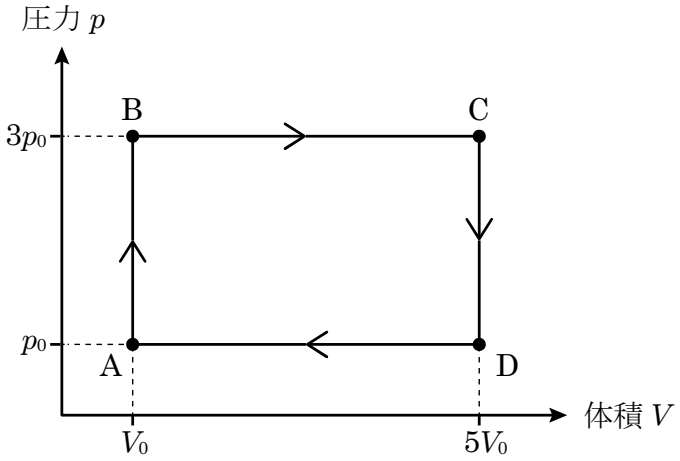

図４

問１　状態 C の絶対温度を求めよ。

問２　状態 A から状態 B への変化において，気体が吸収した熱量を求めよ。

問３　状態 B から状態 C への変化において，気体が吸収した熱量を求めよ。

問４　A→B→C→D→A の１サイクルで，気体が外部にした正味の仕事を求めよ。

問５　A→B→C→D→A の１サイクルにおける熱効率を，有効数字２桁で求めよ。