第１問

図１のように，質量 m の小球 X を時刻 $t=0$ のときに点 A から初速度 $\vec{v}_0$，仰角 θ で発射した。ただし，空気抵抗は無視できるとし，重力加速度の大きさは g とする。この小球は時刻 $t=$（　ア　）のときに最高到達点 P に達した。点 A に対する 点 P の高さは（　イ　）｛g，θ，m，v_0｝であり，点 P における小球 X の速さは $v_1=$（　ウ　）である。

次に，小球 X を点 A から初速度 $\vec{v}_0$，仰角 θ で発射し，しばらくして点 P の真下の地点から質量 M の小球 Y を真上に投げ上げて点 P で小球 X に衝突させたところ，小球 X と小球 Y は衝突すると同時に一体化して小球 Z となり，そのまま飛び続けた。衝突直前の小球 Y の速さが v_2 であるとすると，衝突直後の小球 Z の速さは $V=$（　エ　）｛v_1，v_2，M，m，g，θ｝である。衝突直後の小球 Z の速度 $\vec{V}$ が水平となす角度を α とすると $\tan\alpha=$（　オ　）｛v_1，v_2，M，m，g，θ｝である。また，$v_2/v_1=\sqrt{3}$，$m=M$ とするとき，衝突直後の小球 Z の運動エネルギーは衝突直前に小球 X と小球 Y が持っていた全運動エネルギーの（　カ　）〔％〕である。（　エ　），（　オ　），（　カ　）については導出過程も示せ。

補足説明：$\vec{v_0}$ の大きさを v_0 とする。

文中の「仰角」とは，水平に対して上向きの角度のことである。

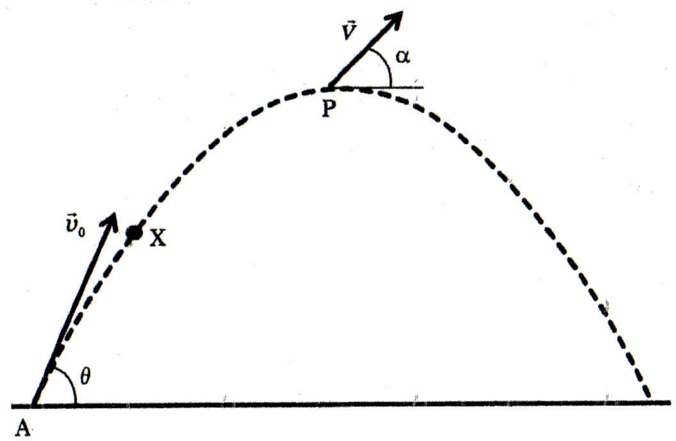


図１

第２問

図２(a)のような，電圧 V の直流電源，電気容量 C_1, C_2 および C_3 のコンデンサー，自己インダクタンス L のコイル，スイッチ S_1 と S_2 を接続した回路がある。初期状態では，S_1 と S_2 は開いており，各コンデンサーに蓄えられた電気量はゼロである。導線部分の電気抵抗は無視できるものとして，次の問いに答えよ。（　コ　）と（　シ　）については導出過程も示せ。

問１　最初に S_2 を開いたまま S_1 を閉じた。十分長い時間がたった後，C_2 のコンデンサーに蓄えられる電気量 Q_2 は（　キ　）$\{C_1, C_2, V\}$ であり，その極板間の電位差 V_2 は（　ク　）$\{C_1, C_2, V\}$ となる。

問２　その後，S_1 を開き S_2 を閉じたところ周期 T の電気振動が始まり，S_2 を閉じた直後からの時間 t におけるコイルを流れる電流 $I(t)$ とコイルの誘導起電力 $V_L(t)$ は図２(b)のようになった。この電気振動において，コイルを流れる電流が最大値 I_m となるとき，C_3 のコンデンサーの極板間の電位差 V_3 は（　ケ　）$\{L, C_2, C_3, Q_2\}$ となり，電流の最大値 I_m は（　コ　）$\{L, C_2, C_3, Q_2\}$ である。また，$0 \leqq t < T$ の時間において，C_3 のコンデンサーに蓄えられる電荷 q_3 が最大となるのは時刻 t が（　サ　）$\{T\}$ のときであり，電荷 q_3 の最大値は（　シ　）$\{L, C_2, C_3, Q_2\}$ である。

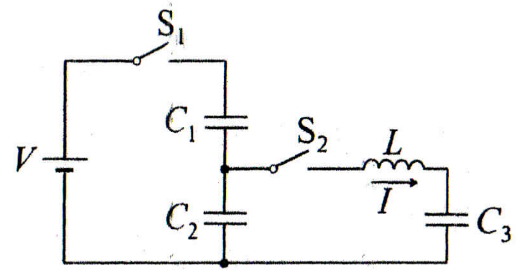


図２(a)

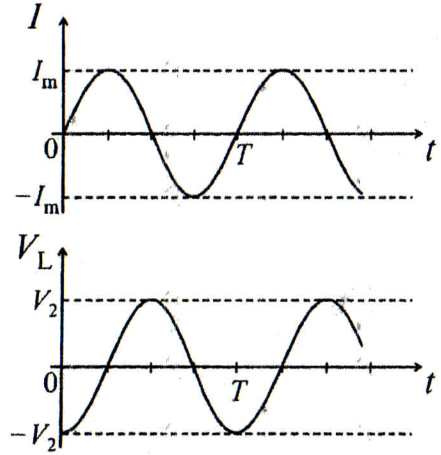


図２(b)

第３問

図３のように１モルの単原子分子の理想気体が，なめらかに動くピストンをもつシリンダー内に閉じ込められていて，大気圧 P_1〔Pa〕のもとで静止している。このときの気体の温度は T_1〔K〕，体積は V_1〔m^3〕であり，この状態を（状態１）とする。まず，ピストンに力を加え，気体を等温状態に保ちながらピストンを十分にゆっくりと押し下げると，気体の体積は $V_1/8$〔m^3〕になった（状態２）。ピストンの質量は無視できるとする。気体定数を R〔J/(mol・K)〕として，次の問いに答えよ。

問１（状態２）での気体の圧力を P_1 を用いて示すと（　ス　）〔Pa〕となる。

問２（状態１）から（状態２）への変化において，気体の内部エネルギーの変化は（　セ　）〔J〕である。

次に（状態２）から急速にピストンを引き上げ，初期の体積 V_1〔m^3〕まで気体を膨張させた（状態３）。（状態２）から（状態３）は断熱変化であり，この変化の間は気体の温度 T〔K〕と体積 V〔m^3〕には $TV^{\frac{2}{3}}=$ 一定 の関係が成り立つとする。

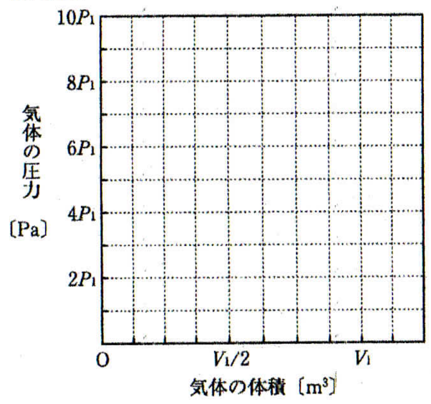
次の問いに答えよ。

問３（状態３）での気体の温度を T_1 を用いて示すと（　ソ　）〔K〕となり，気体の圧力を P_1 を用いて示すと（　タ　）〔Pa〕となる。

問４（状態２）から（状態３）への気体の内部エネルギーの変化は（　チ　）〔J〕｛V_1, R, T_1｝である。また，気体が外にした仕事は（　ツ　）〔J〕｛V_1, R, T_1｝である。

問５　各状態間（状態１→２→３）の圧力と体積の変化を解答欄のグラフに実線で示せ。

〔解答欄〕



問６　体積を一定に保ったまま（状態３）から（状態１）に戻すためには，熱量（　テ　）〔J〕｛V_1, R, T_1｝を，（　ト　）。ただし，（　ト　）については解答欄に示した２つの語句のうち適切な方を丸で囲むこと。

〔トの解答欄：気体に加える・気体から放出させる〕

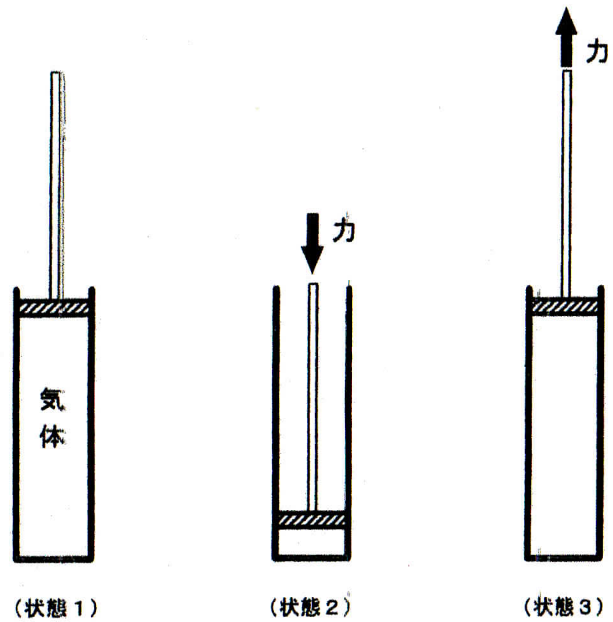


図３

第４問

屈折率 n_2 を持つガラス板の上面に，屈折率 n_1 の薄膜が接している。次の問いに答えよ。ただし，（ ネ ）から（ ヒ ）については解答欄に示した２つの語句のうち適切な方を丸で囲むこと。

問１ 最初に図４(a)のように，単色光が空気中から薄膜中に垂直に入射する場合を考える。光の一部は空気と薄膜の境界Ａ，薄膜とガラスの境界Ｂで反射する。真空中の光速を c，空気の屈折率を 1.0，空気中で入射光の振動数を f_0 とする。屈折率 n_1 の薄膜中では光の速さ v_1 は（ ナ ）$\{c,\ f_0,\ n_1\}$，波長 λ_1 は（ ニ ）$\{c,\ f_0,\ n_1\}$，振動数 f_1 は（ ヌ ）$\{c,\ f_0,\ n_1\}$ となる。

境界Ａで反射した光と境界Ｂで反射した光の干渉を考える。入射単色光の空気中での波長を 6.0×10^{-7}〔m〕，薄膜の屈折率 $n_1=2.0$，ガラスの屈折率 $n_2=1.5$ とする。境界Ａで反射するとき光の位相は（ ネ ）。境界Ａを空気から薄膜へ透過するとき光の位相は（ ノ ）。境界Ｂで反射するとき光の位相は（ ハ ）。また，境界Ａを薄膜から空気中へ透過するとき光の位相は（ ヒ ）。したがって，薄膜の厚さを０から増加させたとき，最初は反射光がだんだん強くなり，その後弱くなり再び強くなるような振動が観測される。反射強度が最初に極大となる膜厚 d_1 は（ フ ）〔m〕であり，次に極大となる膜厚 d_2 は（ ヘ ）〔m〕である。

〔ネ～ヒの解答欄：変化しない・逆転する〕

問２ 同じガラスと薄膜に，図４(b)のようにガラス側から境界Ｂへ入射角 θ で光を入射する。光は，境界Ｂで屈折した後，境界Ａに達する。θ を０から増加させるとある角度 θ_0 より大きな入射角では境界Ａで全反射となる。このとき $\sin\theta_0$ の値は（ ホ ）$\{n_1,\ n_2,\ c,\ f_0\}$ となる。

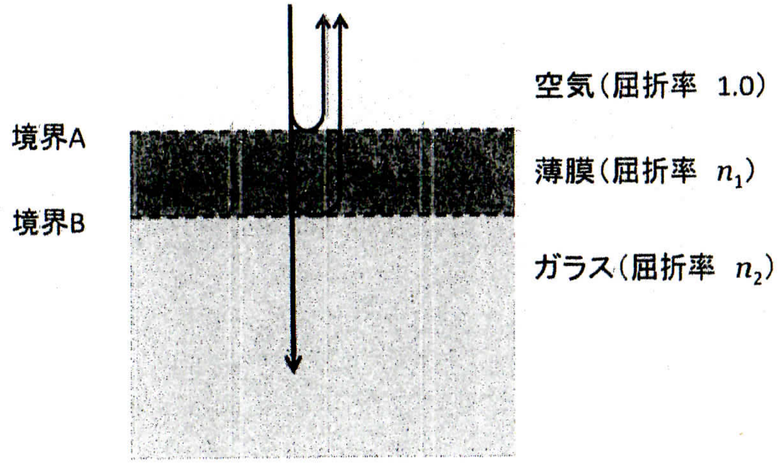


図４(a)

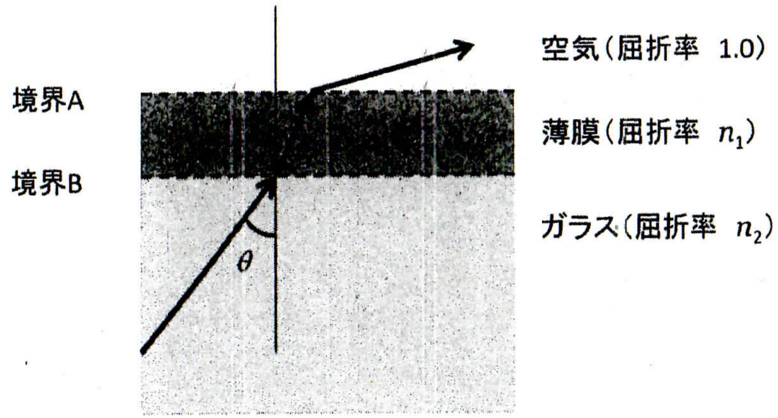


図４(b)