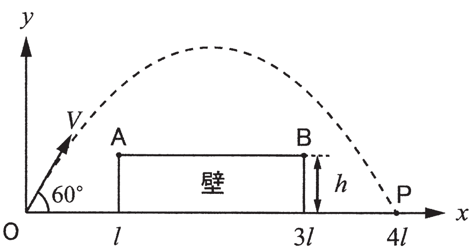
物　　理 （問題用紙　1）

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

I 以下の空欄 $\boxed{1}$ ，$\boxed{2}$ に適切な表式，$\boxed{3}$ ～ $\boxed{10}$ に数値を入れよ。ただし，根号は用いてよい。

図のように長方形の断面をもつ壁を隔て点Oと点Pがある。点Oから点Pまでの距離は $4l$，点Oから壁までの距離は l，壁の厚さは $2l$，高さは h である。いま，時刻 $t=0$ に点Oから鉛直面内で水平面と60°の方向に速さ V で小球を打ち出した。この小球を打ち出した後の運動を考えよう。図のように点Oを座標の原点とし，水平右方向に x 軸，垂直上方向に y 軸をとる。壁の上面は滑らかで，小球と壁の上面との間のはね返り係数（反発係数）は1，重力加速度の大きさを g，空気の抵抗は無視できるものとする。



(1) 小球が壁に衝突せずに，最初に水平面に到達するまでの放物運動を考えよう。このとき，時刻 t での小球の x 座標は $\boxed{1}$ ，y 座標は $\boxed{2}$ である。

(2) 速さ V_1 で放たれた小球が壁に1度も衝突せずにちょうど点Pに到達した場合，$V_1{}^2=$ $\boxed{3}$ $\times gl$ と表せる。このとき，小球は壁に衝突しないため，壁の高さ h は $\boxed{4}$ $\times l$ より低い。

(3) 速さ V_2 で放たれた小球がちょうど放物線の頂点に達したとき，壁の左上端の点Aに到達した。この後，小球は壁の上面を水平に運動し，右上端の点Bから放物運動し点Pに到達した。このとき，壁の高さ h，壁までの距離 l について $h=$ $\boxed{5}$ $\times l$ が成り立ち，$V_2{}^2=$ $\boxed{6}$ $\times gl$ となる。

以下，壁の高さは $h=$ $\boxed{5}$ $\times l$ を用いて計算せよ。

(4) 小球を上で求めた V_1 と V_2 の間の速さで打ち出すことを考えよう。そのとき，小球が壁の上面を1回はね返りちょうど点Pに到達する場合の速さを V_3 とすると，$V_3{}^2=$ $\boxed{7}$ $\times gl$ である。

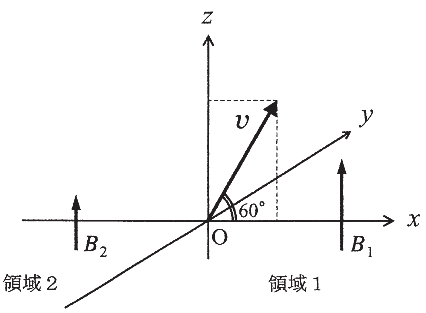
(5) 次に壁の上面でのはね返りを利用して，最初に水平面上に到達する点をもっとも遠くにすることを考えよう。もっとも遠い点（x 座標 $\boxed{8}$ $\times l$）に到達するような小球の速さを V_4 とすると，$V_4{}^2=$ $\boxed{9}$ $\times gl$ である。その速さをわずかに越すと，最初に水平面上に到達する点がもっとも近い点（x 座標 $\boxed{10}$ $\times l$）になるので繊細なコントロールが必要である。ただし，小球に大きさはないので，これらの座標に限りなく近い点に到達すると考える。また，$\boxed{8}$ と $\boxed{10}$ において，小球の放たれる速さは V_4 の値を用いて計算せよ。

物　　　理　（問題用紙　2）

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

II 以下の空欄 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{11}$ に適切な表式や値を入れよ。ただし，$\boxed{3}$ については解答欄中の適切な語句を選択し，$\boxed{11}$ については解答欄の図に記入せよ。

図のように，領域1（$x \geqq 0$）には磁束密度 B_1〔T〕の一様な磁場が，領域2（$x < 0$）には磁束密度 B_2〔T〕の一様な磁場が，$0 < B_2 < B_1$ の条件で，いずれも z 軸の正の向きに加わっている。電気量 $-e$〔C〕（$e > 0$），質量 m〔kg〕の電子を原点Oから xz 平面内で x 軸の正の向きに対して60°の角度に速さ v〔m/s〕で打ち出したあとの運動を考えよう。ただし，重力の影響は無視して良い。



(1) 原点Oから打ち出されたあと，領域1において磁場から電子にはたらく力のうち，xy 平面内方向（磁場に垂直な方向）の大きさは $\boxed{1}$〔N〕，z 軸方向（磁場に平行な方向）の大きさは $\boxed{2}$〔N〕である。

(2) y 軸方向に一様な電場 E〔N/C〕を加えた状態で電子を原点Oから打ち出したところ，電子は xz 平面内を運動しつづけた。このとき，電場の向きは y 軸の $\boxed{3}$ の向きであり，強さは $\boxed{4}$〔N/C〕である。

(3) 電場がない状態で，原点Oから打ち出されたあとの領域1における電子の運動を xy 平面に正射影すると，円運動の一部となる。この円運動の半径は $\boxed{5}$〔m〕であり，その周期は $\boxed{6}$〔s〕である。また，電子がはじめて領域2に入る点の座標は $(x, y, z) = (0, \boxed{7}, \boxed{8})$ となる。

電子は領域2に入ったあとも同様の運動を行うが，領域1とは磁束密度が異なるため，xy 平面に正射影したときの円運動の半径と中心も異なる。xy 平面に正射影した円運動の中心は，電子が yz 平面を通過するたびに $\boxed{9}$〔m〕だけ移動する。電子の運動を xy 平面に正射影した円運動において，電子が原点Oを出てから yz 平面を n 回通過して，次に yz 平面を通過するまでの中心座標を $(x, y) = (0, C_n)$ と表す。この中心座標がちょうど原点Oとなるとき，すなわち $C_n = 0$ となるときの B_1 と B_2 の関係は n を用いて表せて，$B_2 = \boxed{10} \times B_1$ となる。

$C_1 = 0$ と $C_2 = 0$ の条件では，電子は原点Oから打ち出されたのち再び z 軸上に到達する。原点Oを出発し，z 軸上に到達するまでの電子の運動について，xy 平面に正射影した軌道の概形はそれぞれ $\boxed{11}$ となる。

物　　理　（問題用紙　3）

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

III 以下の空欄 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{11}$ に適切な表式や値を入れよ。また，$\boxed{5}$ は解答欄の図に記入せよ。

シリンダー内に 1 mol の単原子分子の理想気体が入っている。この気体について 2 つのサイクルを考えよう。図 1 と図 2 はそれぞれのサイクルにおけるシリンダー内の気体の状態変化を示し，横軸は体積 V〔$\mathrm{m^3}$〕，縦軸は絶対温度 T〔K〕である。気体定数を R〔J/(mol・K)〕として以下の設問に答えよ。

(1) 図 1 のサイクル ABCD は状態 A (V_0, T_0) から定積変化（A→B），定圧変化（B→C），定積変化（C→D），定圧変化（D→A）を経て状態 A に戻る。このとき，状態 B と状態 D の温度 T_1〔K〕は $\boxed{1}$ $\times T_0$〔K〕である。また，状態 C の温度 T_2〔K〕は $\boxed{2}$ $\times T_0$〔K〕である。状態 A，B の圧力 P_A〔Pa〕と P_B〔Pa〕は R，T_0，V_0 を用いて表すと，それぞれ $P_\mathrm{A} =$ $\boxed{3}$ と $P_\mathrm{B} =$ $\boxed{4}$ となる。このサイクルを横軸に体積 V〔$\mathrm{m^3}$〕，縦軸に圧力 P〔Pa〕で描き直すと $\boxed{5}$ の図となる。1 サイクルの間に，気体に加えた熱量 Q_0〔J〕$(Q_0 > 0)$ は $\boxed{6}$ $\times RT_0$〔J〕と表せ，このサイクルを熱機関とみなすと熱効率は $\boxed{7}$ である。

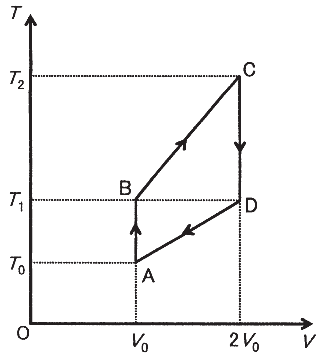


図 1

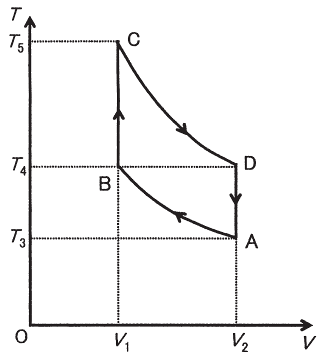


図 2

(2) 図 2 のサイクル ABCD は状態 A (V_2, T_3) から断熱変化（A→B），定積変化（B→C），断熱変化（C→D），定積変化（D→A）を経て状態 A に戻る。定積変化（B→C）の過程で加えた熱量 Q_1〔J〕$(Q_1 > 0)$ は R，T_4，T_5 を用いて表すと $\boxed{8}$〔J〕である。同様に定積変化（D→A）の過程で放出する熱量 Q_2〔J〕$(Q_2 > 0)$ は R，T_3，T_4 を用いて表すと $\boxed{9}$〔J〕となる。また，1 サイクルの間に，気体が外部にする仕事 W〔J〕は Q_1 と Q_2 を用いて表すと $\boxed{10}$〔J〕である。このサイクルを熱機関とみなし，$T_3 = 338$ K，$T_4 = 520$ K，$T_5 = 800$ K とすると熱効率は $\boxed{11}$ となる。