

問題 1 【必答問題】 以下の問いに答えなさい。

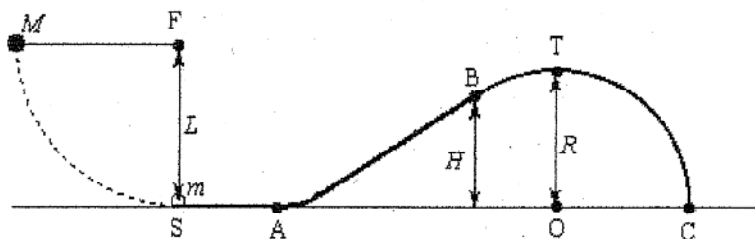
図のように、点 S に質量 m [kg] の小物体が静止している。また、軽くて伸縮しない長さ L [m] の糸の一端が、点 S の真上で高さ L [m] にある固定点 F に結びつけられ、他端に質量 M [kg] のおもりが取り付けられている。このおもりは糸がたるまない状態で点 F と同じ高さに保持されている。小物体やおもりの大きさは無視できるものとする。

おもりを静かに放すと、おもりは点 S で小物体と衝突し、小物体は点 A の方向に進行する。水平面 SA は、起伏のない坂 AB になめらかにつながり、また坂 AB はなめらかに円筒面 BC につながっている。点 B の水平面 SA からの高さは H [m] である。円筒面 BC の中心は点 O で、円筒面の半径は R [m] である。点 O と点 C は、水平面 SA と同じ高さにある。円筒

軸は、図が表す鉛直平面に垂直である。円筒面 BC の最高点を点 T とし、 $\frac{H}{R} > \frac{2}{3}$ であるとする。

る。

すべての運動は図に示す鉛直平面内で行われ、空気抵抗や摩擦はすべて無視できるものとする。重力は鉛直下向きにはたらく、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。



図

- (1) おもりが点 S で小物体に衝突する直前の速さ V [m/s] を求めなさい。
- (2) おもりと小物体の衝突は弾性衝突であるとする。衝突直後の小物体の速さ v_s [m/s] を、 V を用いて表しなさい。

その後、小物体は水平面から坂を経て、坂および円筒面から離れることなく点 T に到達した。点 T での小物体の速さを v_T [m/s] とする。また、点 B を通過した直後の小物体の速さを v_B [m/s] とし、このときの円筒面からの垂直抗力の大きさを N [N] とする。

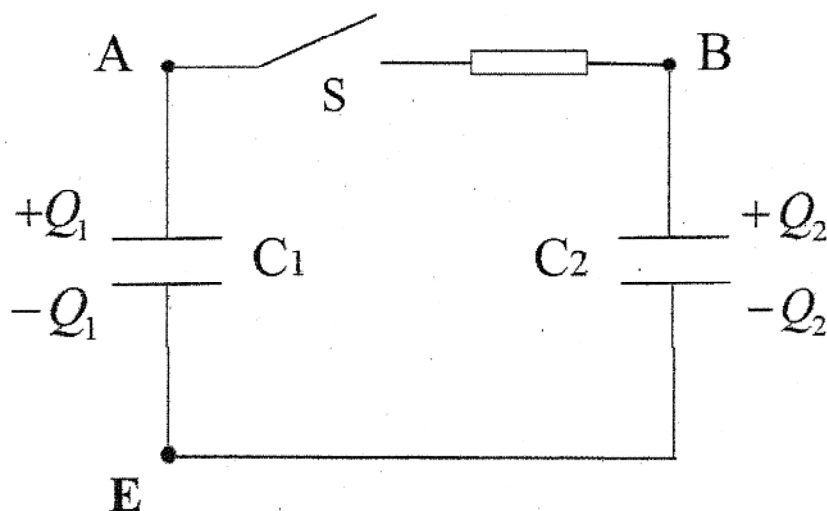
- (3) 点 T における小物体の速さ v_T を、 m, M, g, L, R を用いて表しなさい。
- (4) 点 B を通過した直後に小物体が受ける垂直抗力の大きさ N を、 m, g, H, R, v_B を用いて表しなさい。
- (5) 点 B における小物体の速さ v_B を、 m, M, g, L, H を用いて表しなさい。
- (6) 小物体が、円筒面から離れずに、最高点 T に到達する運動が可能であるためには、 L はある範囲内の値でなければならない。その下限（可能となる最小値）と上限（可能となる最大値）をそれぞれ m, M, H, R の中から適当なものをを用いて表しなさい。
- (7) $v_T > 0$ の場合、点 T を通過後、小物体はある点で円筒面から離れる。その点の水平面 SA からの高さ h [m] を、 m, M, L を用いて表しなさい。

問題 2 【必答問題】 以下の問いに答えなさい。

電気容量が C [F] と $2C$ [F] であるコンデンサー C_1 と C_2 に、それぞれ電荷 Q_1 [C] と Q_2 [C] を与えた後、図のように接続した。AB 間にあるスイッチ S は、最初は開いている。ただし、 $Q_1 > 0$ 、 $Q_2 > 0$ である。

回路中で、AB 間にはゼロでない抵抗があるが、そのほかの導線の抵抗は 0 とする。また回路中の電位は、図中の点 E を基準点とする。すなわち、点 E の電位を 0 とする。

- (1) スイッチ S を閉じると、2 個のコンデンサー間で電荷が移動する。電荷が C_1 から C_2 へ移動する場合、電荷の移動がない場合、電荷が C_2 から C_1 へ移動する場合の Q_1 と Q_2 の大きさの関係を求めなさい。
- (2) スイッチ S を閉じる前に 2 個のコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーの総量を U [J]、スイッチ S を閉じ、電荷の移動が終わった後に 2 個のコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーの総量を U' [J] とする。 $U - U'$ を求め、またそれが 0 以上であることを示しなさい。
- (3) スイッチ S を閉じた直後から電荷の移動が終わるまで時間変化する点 A の電位を V_A [V]、点 B の電位を V_B [V] とする。(1) において、電荷がコンデンサー C_1 から C_2 へ移動する場合を考え、電荷の移動量を q [C] としたとき、電荷の移動開始から移動終了までの q と $V_A - V_B$ の関係式を求めなさい。またそのグラフを解答用紙に描き込みなさい。切片の座標も入れなさい。
- (4) (3) において、 $V_A - V_B$ のグラフと q 軸および $V_A - V_B$ 軸で囲まれた図形の面積を単位を付けて求めなさい。また、その面積の意味するところを述べなさい。



図

問題 3 【選択問題】 以下の問いに答えなさい。

A 室と B 室はコックのついた管でつながっており、なめらかに動くピストンで B, C の部屋が分けられている。全ての容器は断熱材で作られており、各室に単原子分子からなる理想気体が入っている。C 室の気体の物質量を n [mol] とする。

最初の状態ではコックが閉じられ、A, B, C 室の体積は等しく V_1 [m^3]、温度は $3T_1, 2T_1, T_1$ [K]、C 室の圧力が P_1 [Pa] であった (図 1)。次にコックを開けると図 2 のような状態になり、C 室の体積は $\frac{V_1}{6}$ 、圧力は $24P_1$ になった。この結果から A 室には何モルの気体が入っていたのかを考える。ただしコックの管部分の体積は無視できるものとし、気体定数を R [J/mol·K] とする。

- (1) 図 1 の状態での C 室の気体の圧力 P_1 を n, R, T_1, V_1 を用いて表しなさい。
- (2) 図 1 の状態での B 室の気体の物質量を n を用いて表しなさい。
- (3) 図 1 の状態での A 室の物質量を n_A [mol] とし、A 室、B 室の気体の内部エネルギーの和 E_{AB} [J] を n, n_A, R, T_1 を用いて表しなさい。
- (4) 図 2 の状態での C 室の温度を T_1 を用いて表しなさい。
- (5) 図 2 の状態での A, B 室の気体の内部エネルギーの和 E'_{AB} [J] を n, R, T_1 を用いて表しなさい。
- (6) A, B, C 全室の内部エネルギーの和は図 1 の状態と図 2 の状態で等しいことを利用して n_A を求め、その値を n を用いて表しなさい。

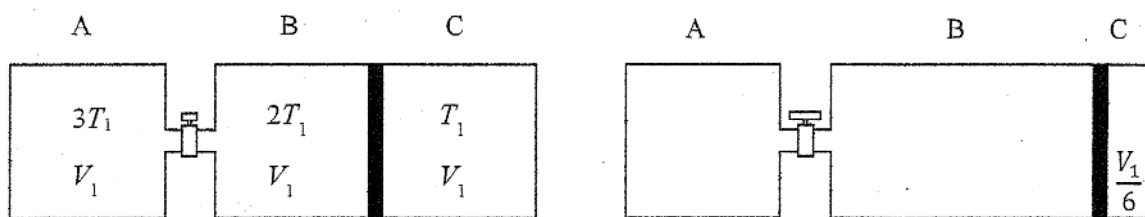


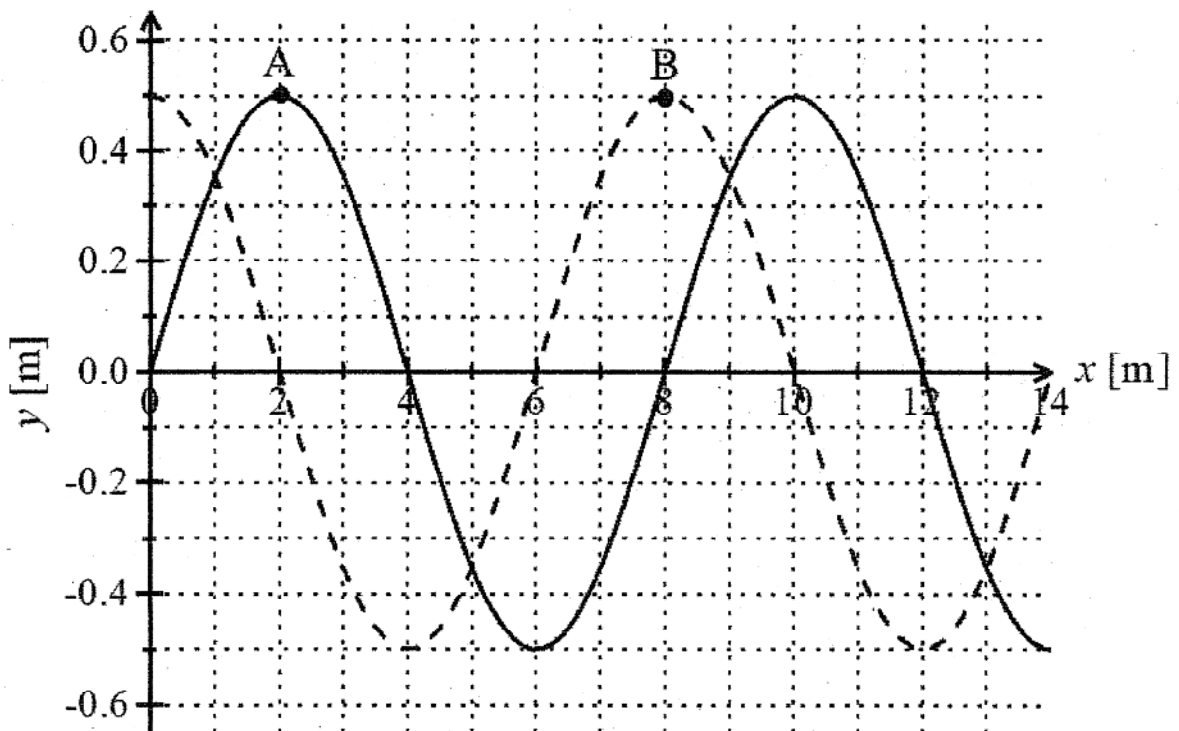
図 1

図 2

問題4【選択問題】 以下の問いに答えなさい。

ある正弦波の時刻 $t = 0$ s のときの波形が、下図の実線で示されている。時刻 $t = 0.3$ s のとき、波の山 A が B まで進み、破線の波形になった。

- (1) この波の(a)振幅、(b)波長、(c)波の伝わる速さ、(d)振動数を求めなさい。
- (2) 下図の実線で、媒質の振動の速さが下向き最大となる x を、 $0 < x < 12$ の範囲で求めなさい。
- (3) $x = 0$ m の点の変位 y [m] の時間変化を表すグラフを描きなさい。
- (4) 下図の実線が、縦波の変位を表しているものとする (x の正の変位を y の正方向の変位として表す) と、最も密な部分と最も疎な部分の x を $0 < x < 12$ の範囲で求めなさい。その理由も説明しなさい。
- (5) この波の座標 x [m] の点の変位 y [m] を、時刻 t [s] の関数として求めなさい。



図