物　　理

1 図のように質量 m_0 の支持器の上に質量 m_1 の小球が載せられ，それらが傾斜角 θ の斜面の上に置かれている。この支持器は，伸び縮みのないロープと滑車により，質量 m_2 のおもりに接続されている。ロープは，支持器を斜面に平行な力で停止板の位置まで引き上げることができる。

いま，支持器とおもりがロープの張っている状態で静止しているときの時刻を $t=0$ とする。この直後，おもりが重力により下がりはじめ，支持器が引き上げられる。支持器とともに動き始める直前の小球の位置をA，支持器が停止板に衝突したときの小球の位置をOとする。AとOの間の距離を L とするとき，以下の問いの $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ に適当な式を入れよ。また，$\boxed{6}$ については問題末尾の解答群の中から適当なものを1つ選び，その番号を入れよ。

ただし，斜面と支持器，支持器と小球，ロープと滑車など，全ての部分に摩擦がなく，空気抵抗もないものとし，重力加速度を g とする。

問 1 小球を載せた支持器が斜面を上方向に移動するためには，m_0，m_1，m_2 および θ の間に $\boxed{1}$ のような関係がある。

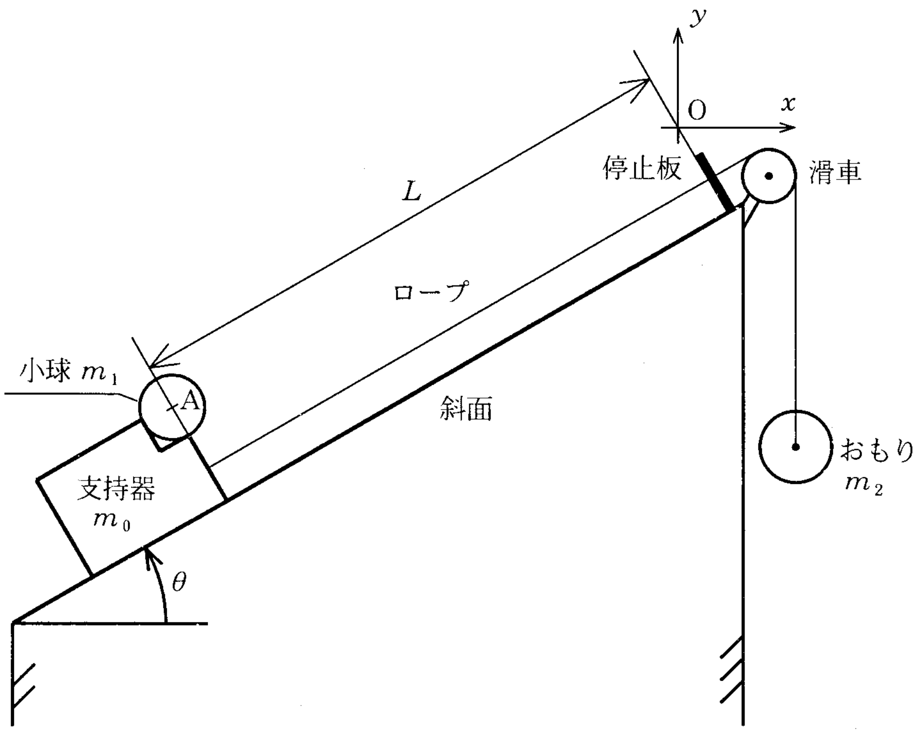
問 2 支持器が静止状態から斜面を距離 L だけ移動して停止板に衝突する時刻を t_L とすると，$t_L=\boxed{2}$ である。また支持器が停止板に衝突する直前における支持器と小球の速さを v_L とすると，$v_L=\boxed{3}$ である。

問 3 支持器が停止板に衝突した瞬間からの時刻を新たに τ で表し，小球の位置を図のようなOを原点とする $(x,\ y)$ 座標系における $\{x(\tau),\ y(\tau)\}$ で表すものとする。ちなみに，x 軸は水平方向，y 軸は鉛直上向きであり，さらに $\tau=0$ のときの小球の位置 $\mathrm{O}\{x(0),\ y(0)\}$ は，$(0,\ 0)$ である。

いま，支持器が停止板に衝突した瞬間に，支持器の運動エネルギーのみが停止板に吸収され，支持器のみが完全に停止し，小球は慣性により分離するものとする。支持器から分離した小球が放物線を描いて飛翔し，再び $y=0$ の高さになるときの時刻 τ_1 とそのときの水平位置 $x(\tau_1)$ を v_L を用いて表すと，$\tau_1=\boxed{4}$，$x(\tau_1)=\boxed{5}$ となる。

問 4　上の $x(\tau_1)$ に問 2 で求めた v_L を代入すると，$x(\tau_1)$ は $\boxed{\quad 6 \quad}$ ことがわかる。

解答群
- ①　g が大きいほど大きくなる
- ②　g が大きいほど小さくなる
- ③　g の大きさにはよらない



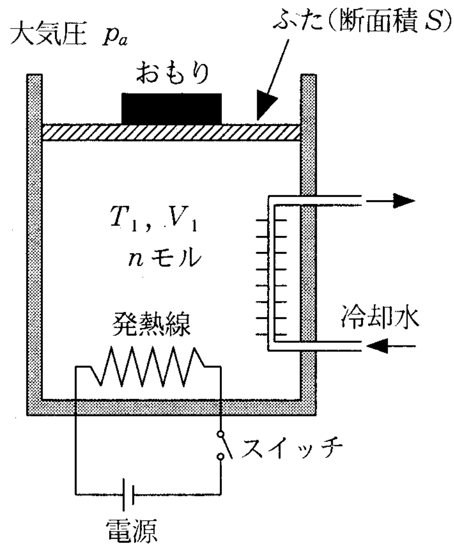
2 図のような容器に n モルの単原子分子の理想気体が，容器の内壁に沿って滑らかに動く質量の無視できる断面積 S〔m^2〕のふたによって閉じこめられ，大気圧 p_a〔N/m^2〕下におかれている。ふたには，重さの分からないおもりが載せられている。容器には，気体を加熱するための発熱線と冷却するための冷却水が流れる細管が取り付けられており，気体の温度を変化させることができる。発熱線と細管の熱容量および体積は無視できるものとし，また，容器およびふたを通じての熱のやりとりは行われないものとする。このとき，$\boxed{\quad a \quad}$ ～ $\boxed{\quad g \quad}$ に適当な数式または数値を入れよ。ただし，問 4 については解答用紙のグラフに図示せよ。

問 1 最初，気体の温度 T_1〔K〕，容器内の体積 V_1〔m^3〕でふたが静止している(状態①)。このとき，この気体の気体定数を R〔J/(mol・K)〕とすると，気体の圧力は $\boxed{\quad a \quad}$〔N/m^2〕，おもりによって気体に加えられる力の大きさは $\boxed{\quad b \quad}$〔N〕と表される。

問 2 ここで，発熱線のスイッチを入れ気体の温度が 1.8 T_1〔K〕になるまでゆっくり加熱すると，体積は V_1 の $\boxed{\quad c \quad}$ 倍となる(状態②)。このとき気体に加えられた熱量は温度 T_1 を用いて表すと $\boxed{\quad d \quad}$〔J〕となるので，発熱線によって電気的エネルギーがすべて熱エネルギーに変換したとすると，加熱には $\boxed{\quad e \quad}$〔s〕の時間を要する。ただし，発熱線の電気抵抗を R_e〔Ω〕，電源の電圧を E〔V〕とする。

問 3 上記②の状態でふたの位置を固定し，温度が元の T_1〔K〕になるまでゆっくり冷却する(状態③)。このとき，冷却水に奪われる熱量は，容器から放出される熱量を負と表せば $\boxed{\quad f \quad}$〔J〕となる。また，このとき気体の圧力は①の状態の圧力の $\boxed{\quad g \quad}$ 倍である。

問 4 状態②および③の気体の圧力と体積の関係を解答用紙のグラフに●で図示し，状態の番号をあわせて記せ。また，状態①から②，および②から③の経路を実線で示し，方向を矢印で示せ。


大気圧 p_a
ふた(断面積 S)
おもり
T_1, V_1
n モル
冷却水
発熱線
スイッチ
電源

2

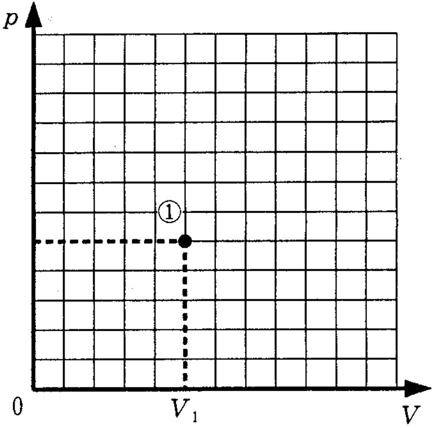
解答欄

a	b

c	d

e	f

g



3 次の文章の $\boxed{\text{①}}$ ～ $\boxed{\text{⑩}}$ に適当な数式あるいは数値を入れよ。

問 1 図1に示すように，空気に対する屈折率 n_1，n_2 の透明な媒質1，2が平面を境として接している。空気中を速度 c で進んできた波長 λ をもつ光が，まず媒質1に入射するとき，媒質1での光の速度は $\boxed{\text{①}}$ ，波長は $\boxed{\text{②}}$ で表される。この光がさらに媒質2に入射すると光の速度は $\boxed{\text{③}}$ ，波長は $\boxed{\text{④}}$ へと変化する。このとき n_1，n_2 の間に $\boxed{\text{⑤}}$ の関係があると，屈折角は入射角よりも小さくなる。

問 2 図2に示すように，空気中に厚さ $4R$，屈折率 n_1 の媒質1が置かれ，その中央には屈折率 n_2 をもつ半径 R の円筒状の媒質2が埋め込まれている。A点で媒質1に対して垂直に入射した問1と同じ速度 c と波長 λ をもつ光のうち，A－B－C－D－Eの経路を通って最終的に媒質1から空気中へ垂直に出ていくものについて考える。このとき光が媒質2の接線となす角をB点で ϕ，C点で θ とすると，屈折率 n_2 は n_1，ϕ，θ を用いて $\boxed{\text{⑥}}$ と表すことができる。またA点で入射した光がE点に到達するまでの経路の長さは R，ϕ，θ を用いて $\boxed{\text{⑦}}$ で与えられ，A点で入射した光が最終的にE点まで到達するのに要する時間は R，c，n_1，ϕ，θ を用いて $\boxed{\text{⑧}}$ で表される。この光がC点で反射されることによる位相のずれは $\boxed{\text{⑨}}$ 〔rad〕であり，E点を通過した時点での波長は $\boxed{\text{⑩}}$ である。

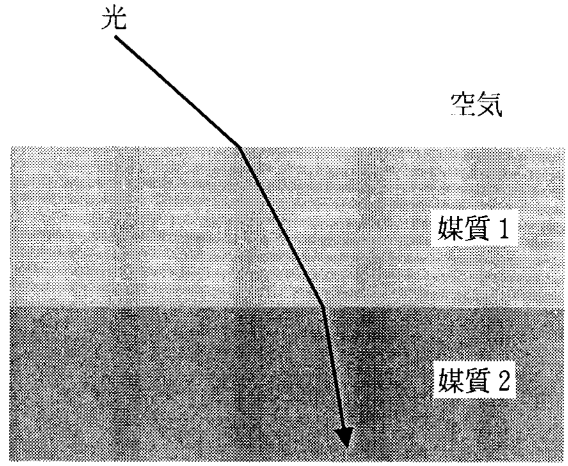


図　1

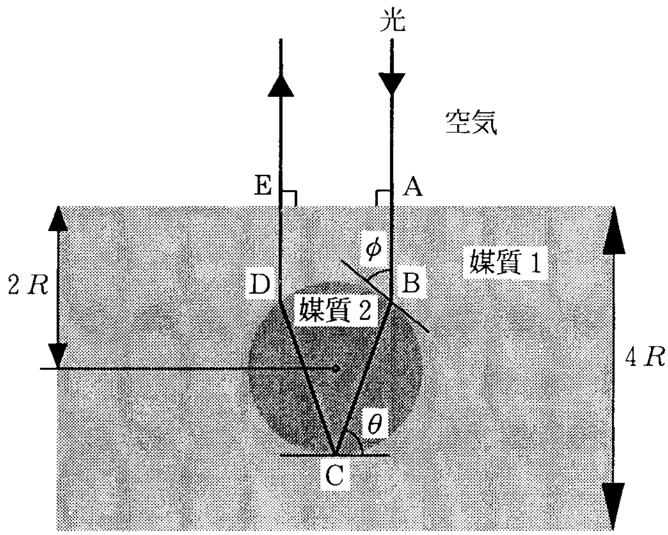


図　2

4 以下の問いの $\boxed{\quad\quad}$ の中に適当な数式を記入せよ。ただし，$\boxed{\text{カ}}$ については，番号のみを記入せよ。

重力の影響のない真空中における平面上で，図1のように互いに直交する x 軸，y 軸をとり，その交点を原点 O(0， 0)とする。また，静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k〔N・m²/C²〕，無限遠点における電位を 0〔V〕とする。

はじめに，この平面上で，原点から x 軸に沿って a〔m〕離れた点 A(a， 0)に電気量 Q〔C〕の点電荷を固定した。ただし，$Q > 0$ である。

問 1 x 軸上の点 B($-a$， 0)における電界の大きさは $\boxed{\text{ア}}$〔V/m〕，電位は $\boxed{\text{イ}}$〔V〕である。

問 2 点 B に $-Q$〔C〕の電荷をおびた大きさの無視できる質量 m〔kg〕の微小粒子を固定した。この微小粒子が点 A の点電荷から受ける力の大きさは $\boxed{\text{ウ}}$〔N〕である。さらに，点 B において，この微小粒子に対する固定のための拘束を解除したとき，点 A に向かって動き出した。その微小粒子の原点 O を通過する時の速さは，$\boxed{\text{エ}}$〔m/s〕である。

次に，問 2 の微小粒子を取り除いてから，図 2 のように点 A の電気量 Q〔C〕の点電荷に加え，点 B に電気量 $-Q$〔C〕の点電荷を，点 C(0，a)に電気量 $2Q$〔C〕の点電荷を，それぞれ固定した。

問 3 原点 O における電界の大きさは $\boxed{\text{オ}}$〔V/m〕である。また，その電界の方向は図 3 の $\boxed{\text{カ}}$ 番である。ただし，図 3 で，①番は y 軸正方向を，③番は x 軸正方向を，⑤番は y 軸負方向を，⑦番は x 軸負方向を，それぞれ示す。

問 4 y 軸上の負の方向の無限遠点に置かれた電気量 Q〔C〕の点電荷を点 D(0，$-a$)まで動かした。この移動に必要な仕事量は $\boxed{\text{キ}}$〔J〕である。

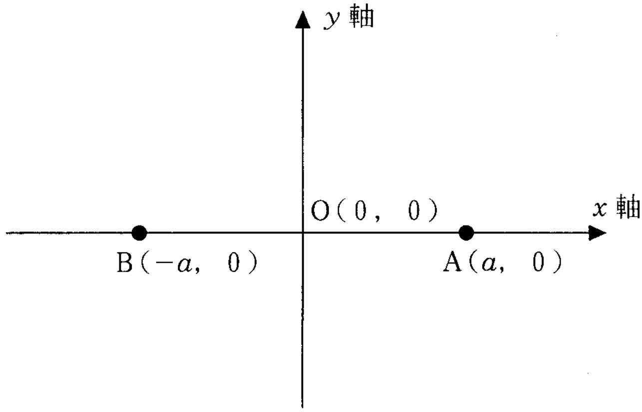


図 1

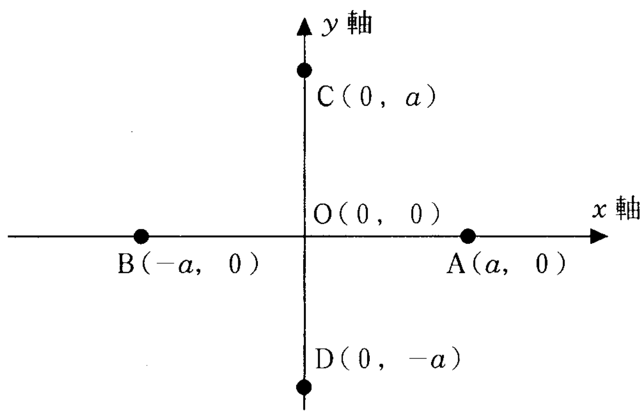


図 2

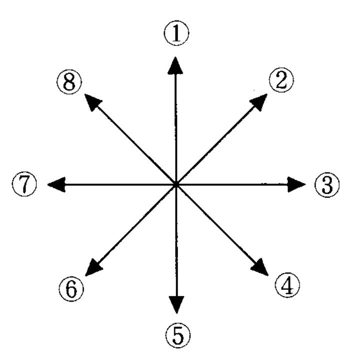


図 3

5 次の $\boxed{}$ に適当な語句，記号，あるいは数字を入れよ。

宇宙からやってくる放射線(１次宇宙線)は，大気中で原子核と衝突して中性子($^{1}_{0}n$)などの粒子(２次宇宙線)を生み出す。この $^{1}_{0}n$ が大気中の $^{14}_{7}N$ と衝突すると

$$^{1}_{0}n + ^{14}_{7}N \rightarrow \boxed{(1)} + ^{14}_{6}C$$

という反応で放射性炭素 $^{14}_{6}C$ がつくられる。大気中の $^{14}_{6}C$ の $^{12}_{6}C$ に対する割合(存在比)は，ほぼ一定であると考えられており，この現象を利用して種々の年代測定が行われている。

ある遺跡を発掘調査していたところ，古代住居の柱に用いられた栗の木が発掘された。この栗の木に含まれる炭素の同位体を調べてみると，放射性炭素 $^{14}_{6}C$ の存在比は，大気中の 0.25 倍であった。したがってこの木が伐採されたのは $\boxed{(2)}$ 年前と推定できる。ただし大気中の炭素同位体の存在比は，当時から現在まで一定であったとする。また $^{14}_{6}C$ の半減期を 5.7×10^3 年とする。