平 成 23 年 度

理　　科（物 理）試 験 問 題

（理工学専攻）

（注意） 解答はすべて別紙解答用紙の定められた枠内に記入せよ。正しく記入していない場合には採点されないので注意せよ。

解答用紙の余白は計算に利用してもよい。

---

1 図のように，なめらかな水平面上に長さ L〔m〕，質量 M〔kg〕の板が置かれ，板の右端には質量 m〔kg〕の小物体がのせられている。座標は右向きを正とする。はじめ，板と小物体は静止していたが，ある瞬間に板に速度 V_0〔m/s〕（$V_0 > 0$ m/s）が与えられ，同時に，小物体も運動を始めた。この瞬間の時刻を t〔s〕$= 0$ s とし，重力加速度を g〔m/s²〕，板と小物体との間の動摩擦係数を μ とする。板と小物体は直線運動をし，水平面は十分広く，小物体の大きさは板の長さに比べて十分小さく無視できるとして，以下の問いに答えよ。

(1) 板に作用する動摩擦力を求めよ。

(2) 小物体に作用する動摩擦力を求めよ。

(3) 時刻 $t\,(t > 0)$ における板の速度 V〔m/s〕を M，m，V_0，μ，g，t を用いて表せ。

(4) 時刻 $t\,(t > 0)$ における小物体の速度 v〔m/s〕を μ，g，t を用いて表せ。

(5) 小物体は板の上を，板に対して左に向かって進み始めた。その後，小物体は時刻 t_s〔s〕で板の上のある位置で板に対して静止した。その時刻 t_s を求めよ。

(6) 時刻 t_s までの板と小物体の運動について，次の問いのそれぞれについて，ア，イ，いずれかを記号で答え，空欄については下の［I］から［IX］までのうち，最も適当なものを一つずつ選び記号で答えよ。

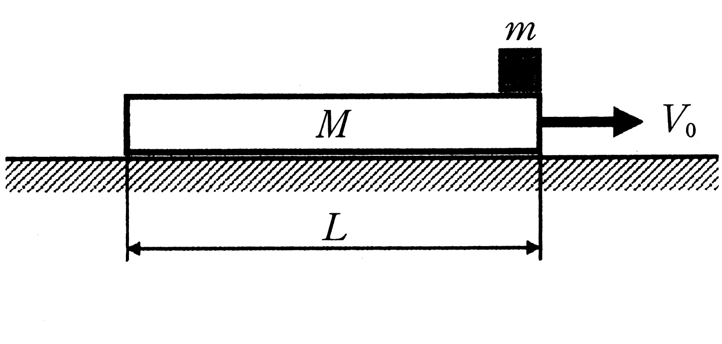
(a) この運動により，板と小物体の運動量の和は（ア．保存される　イ．保存されない）。その際失われる運動量を p〔kg·m/s〕とすると $p = \boxed{}$ である。

(b) この運動により，板と小物体の力学的エネルギーの和は（ア．保存される　イ．保存されない）。その際失われる力学的エネルギーを E〔J〕とすると $E = \boxed{}$ である。

［I］ 0　　［II］ 1　　［III］ MV_0　　［IV］ $\dfrac{Mm}{M+m}V_0$　　［V］ $\dfrac{M-m}{M+m}MV_0$

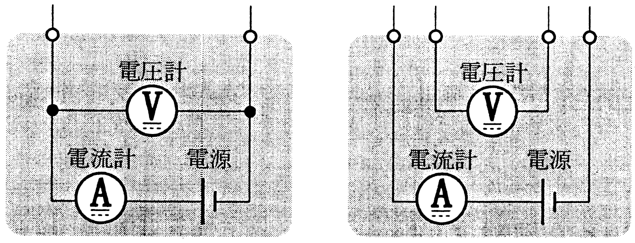
［VI］ $\dfrac{1}{2}\dfrac{Mm}{M+m}V_0^2$　　［VII］ $\dfrac{1}{2}\dfrac{M^2}{M+m}V_0^2$　　［VIII］ $\dfrac{1}{2}\dfrac{m^2}{M+m}V_0^2$　　［IX］ $\dfrac{1}{2}\dfrac{M-m}{M+m}MV_0^2$

(7) 小物体が板からすべり落ちないためには，V_0 はどのような条件を満たせばよいか。V_0 が満たすべき条件を M，m，V_0，μ，g，L を用いて示せ。



図

2 図１に示す２つの装置は，抵抗値の不明な抵抗線（以下，未知抵抗と呼ぶ）の抵抗値を求めるための装置である。電源と電流計の内部抵抗，および装置内を接続する導線の抵抗は十分小さく，$0\,\Omega$ であるとみなすことができる。以下の問いに答えよ。



装置A　　装置B

図１

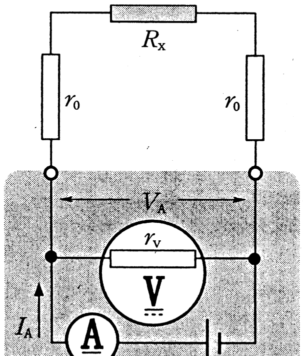
(1) 次の文章の①から⑩の［　　］に適当な数式を入れよ。［　　］の中に文字が記入されている場合には，それらの文字のうち必要なものを用いよ。

オームの法則によれば，抵抗に流れる電流が I_0〔A〕で，抵抗の両端の電圧が V_0〔V〕ならば，その抵抗値は $R_0 = \boxed{①\qquad}$〔Ω〕である。装置Ａと装置Ｂは，オームの法則を利用して電圧計と電流計の示す値から未知抵抗の抵抗値を求めるための装置である。電圧計にわずかに流れる電流や，接続コードとして用いるリード線に無視できない（$0\,\Omega$ とみなせない）抵抗があると，これらの装置による未知抵抗の測定結果は，未知抵抗の真の抵抗値 R_x〔Ω〕と完全には一致しない。

図２に示すように，$0\,\Omega$ とみなせない抵抗値 r_0〔Ω〕をもつリード線を２本用いて装置Ａに未知抵抗を接続する。電圧計が V_A〔V〕を示すとき，リード線と未知抵抗に流れる電流は $\boxed{②\ \ R_x,\ r_0,\ V_A}$〔A〕で表される。一方，電圧計の内部抵抗を r_V〔Ω〕とすると，電圧計に流れる電流は $\boxed{③\ \ r_0,\ r_V,\ V_A}$〔A〕で表される。②，③とキルヒホッフの法則より，電流計が示す値 I_A〔A〕は $\boxed{④\ \ R_x,\ r_0,\ r_V,\ V_A}$〔A〕と等しいはずである。したがって，装置Ａによる未知抵抗の測定結果 R_A〔Ω〕は $\boxed{⑤\ \ R_x,\ r_0,\ r_V}$〔Ω〕となる。

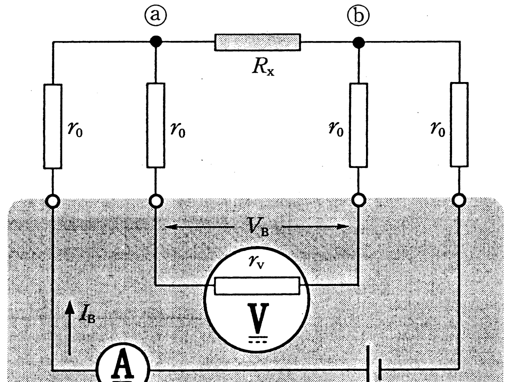
次に，図３に示すように，$0\,\Omega$ とみなせない抵抗値 r_0〔Ω〕をもつリード線を４本用いて未知抵抗を装置Ｂに接続する。電圧計が V_B〔V〕を示すとき，電圧計に流れる電流は $\boxed{⑥\ \ r_0,\ r_V,\ V_B}$〔A〕である。この電流はリード線にも流れているので，この電流が端子ⓐからリード線と電圧計を通って端子ⓑまで流れることによって生じる電圧降下は $\boxed{⑦\ \ r_0,\ r_V,\ V_B}$〔V〕で表される。この電圧降下は未知抵抗の両端に生じる電圧降下と等しいので，未知抵抗に流れる電流は $\boxed{⑧\ \ R_x,\ r_0,\ r_V,\ V_B}$〔A〕で表される。⑥，⑧とキルヒホッフの法則より，電流計が示す値 I_B〔A〕は $\boxed{⑨\ \ R_x,\ r_0,\ r_V,\ V_B}$〔A〕と等しいはずである。したがって，装置Ｂによる未知抵抗の測定結果 R_B〔Ω〕は $\boxed{⑩\ \ R_x,\ r_0,\ r_V}$〔Ω〕となる。

(2) r_V の大きさが十分大きく無限大であるとみなせる場合，R_A，R_B はそれぞれどのように表されるか。適当な数式で答えよ。また，それらの結果から，より正確に R_x の大きさを測定することができるのは，装置Ａと装置Ｂのどちらか。ＡまたはＢの記号で答えよ。



装置Ａ

図２



装置Ｂ

図３

3 図 1 の左側に示すように薄いガラスの水槽がある。この水槽の底に媒質 A が入っており，丸で囲まれた部分の拡大図を図 1 の右側に示す。水槽の材質を媒質 B とする。このとき図のように媒質 A に光が入射角 θ_0 で入射する。その後，光は屈折し，媒質 B へは入射角 θ_1 で，空気中へは入射角 θ_2 で入射し，媒質 B からは屈折角 θ_3 で空気中へ出る。以下の問いに答えよ。

(1) 媒質 A，B の空気に対する屈折率をそれぞれ n_A，n_B とするとき，媒質 A に対する媒質 B の屈折率を表せ。

(2) 光は媒質 A および B を図のように透過して水槽の底から空気中へ出た。このときの角度 θ_3 を求めよ。

(3) 次に媒質 A に棒を垂直に深さ h（媒質 A の深さより浅い）まで沈めた。媒質 A が水であったとすると，棒のほぼ真上から見た場合，棒が沈んでいる深さは実際に沈んでいる深さの何%に見えるか。有効数字 3 桁で答えよ。ただし，水の屈折率を 1.33 とし，角度 i，r は小さく $\sin i \fallingdotseq \tan i$，$\sin r \fallingdotseq \tan r$ が成り立つものとする。

次に上述の水槽を空にし，図 2 に示すように左側外壁面に回折格子を，さらに右側内壁面に非常に薄い半透明の紙を貼る。回折格子に垂直にレーザー光を入射させたところ，紙面上に明点が生じた。その間隔 x〔cm〕は 3.50 cm であった。ガラスの水槽の長さ l〔cm〕は 65.0 cm である。水槽のガラスによる光路の変化はないものとし，以下の問いに答えよ。ただし，1 次の明点（1 番目の回折光が作る点）のできる方向と入射光とのなす角度 ϕ は十分小さいものとし $\sin \phi \fallingdotseq \tan \phi$ と近似できる。

(4) 回折格子に 1 cm あたり 1050 本の筋が入っているときレーザー光の波長 λ〔nm〕として最も適当なものを以下の選択肢ア～オの中から記号で答えよ。

ア．355 nm　　イ．458 nm　　ウ．513 nm　　エ．633 nm　　オ．1064 nm　　（$1\,\mathrm{nm} = 1\times10^{-9}\,\mathrm{m}$）

(5) 水槽を屈折率 1.50 の媒質で満たした。このとき明点の間隔は変化するか。解答欄の選択肢を丸で囲め。さらに，変化する場合にはその間隔を計算し，有効数字 3 桁で答えよ。

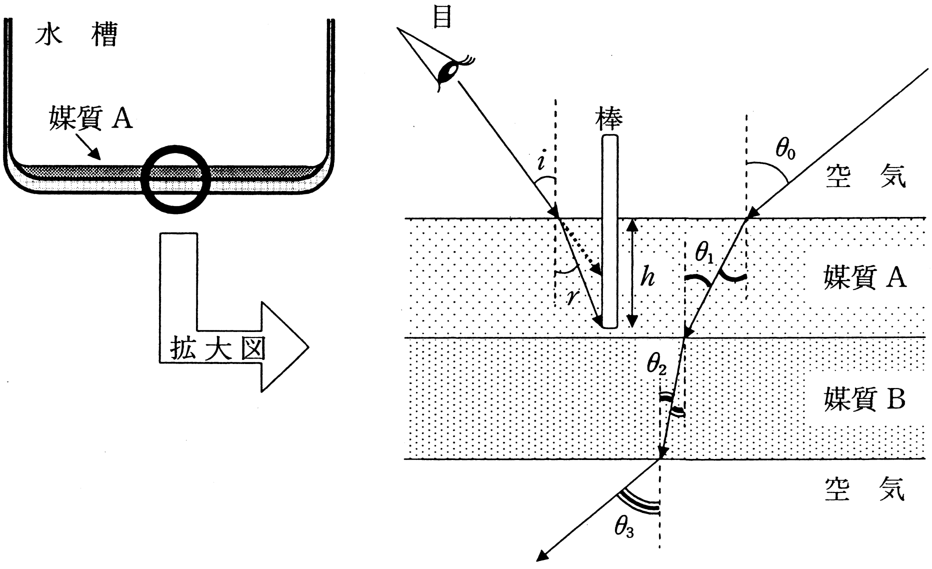


図 1

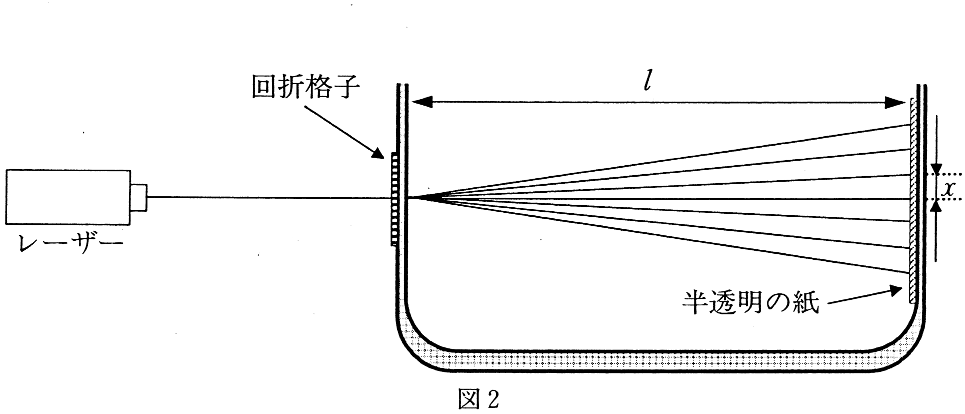


図 2

4 n〔mol〕の単原子分子の理想気体を封入した熱機関がある。図は，この熱機関のサイクルを示している。図の縦軸は圧力 p〔Pa〕，横軸は体積 V〔m^3〕である。はじめ，気体は状態Aにあり，このときの圧力を p_0〔Pa〕，体積を V_0〔m^3〕，絶対温度を T_0〔K〕とする。図のように，この気体を A → B → C → D → A と状態変化させるとき，気体定数を R〔J/(mol·K)〕として，以下の問いに答えよ。ただし，A → B と C → D は定積変化，B → C と D → A は断熱変化である。必要ならば，この気体が断熱変化する場合，圧力と体積の間に，

$$pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$$

という関係があることを用いよ。

A → B の状態変化により，状態Bでの気体の圧力は状態Aでの気体の圧力の a 倍（$a > 1$）になった。

(1) A → B の状態変化において，この気体は，（ア．外部に仕事をする　イ．外部から仕事をされる　ウ．仕事をしない）。カッコ内の選択肢から正しいものを一つ選び，記号で答えよ。

(2) 状態Bにおけるこの気体の絶対温度を T_{B}〔K〕とする。a，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて T_{B} を表せ。

(3) A → B の状態変化において，気体が受け取った熱量を Q_{AB}〔J〕とする。a，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて Q_{AB} を表せ。

B → C の状態変化では，状態Cでの気体の圧力が状態Aでの気体の圧力より小さくなるまで気体を断熱膨張させた。このとき，状態Cでの気体の体積は状態Bでの気体の体積の b 倍（$b > 1$）になった。

(4) 状態Cにおけるこの気体の圧力を p_{C}〔Pa〕とする。a，b，n，R，p_0 のうち，必要な文字を用いて p_{C} を表せ。

(5) 状態Cにおけるこの気体の絶対温度を T_{C}〔K〕とする。a，b，n，R，T_0 のうち、必要な文字を用いて T_{C} を表せ。

(6) B → C の状態変化において，気体が外部にした仕事を W_{BC}〔J〕とする。a，b，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて $W_{3\mathrm{C}}$ を表せ。

C → D の状態変化により，状態Dでの気体の圧力は状態Cでの気体の圧力の $1/a$ 倍になった。

(7) C → D の状態変化において，

（ア．この気体は熱を吸収する　イ．この気体は熱を放出する　ウ．熱の出入りはない）。

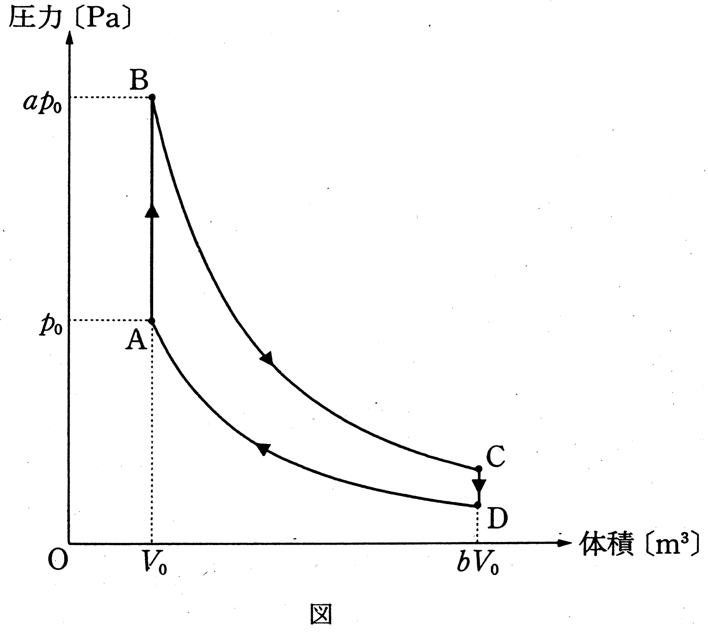
カッコ内の選択肢から正しいものを一つ選び，記号で答えよ。

(8) 状態Dにおけるこの気体の絶対温度を T_{D}〔K〕とする。a，b，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて T_{D} を表せ。

D → A の状態変化を経て，この熱機関の1サイクルは終了する。

(9) D → A の状態変化において，気体がされた仕事を W_{DA}〔J〕とする。a，b，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて W_{DA} を表せ。

(10) この熱機関の熱効率を e とする。a，b，n，R，T_0 のうち，必要な文字を用いて e を表せ。



図