理　　科

R2-後-物情
（配点 100）

問題１　以下の問いに答えなさい。

図１のように，水平でなめらかな床の上に，床からなす角 θ だけ傾いた斜面をもつ台を置く。台の質量は M〔kg〕であり，斜面はなめらかである。この斜面の上に，質量 m〔kg〕の物体を乗せた。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

一定の加速度 A_1〔m/s^2〕で等加速度運動するように台を左向きに押したところ，物体は斜面上で静止していた。

（１）観測者が斜面上にいるとき，物体は静止しているように見える。物体に働く慣性力の向きと大きさ f〔N〕を答えなさい。

（２）台の加速度 A_1 と物体に働く斜面の垂直抗力 N_1〔N〕を求めなさい。

次に，台を床に固定し，台の斜面上に物体を置いて手を静かに離したところ，物体は斜面に沿って滑り始めた。物体の斜面に平行な方向の加速度を a_1〔m/s^2〕とする。

（３）物体の運動方程式を書きなさい。ただし，斜面に沿って下向きを正の方向とする。

さらに，台の固定をはずし，静止している台の斜面上に物体を置いて，手を静かに離したところ，図２のように物体は斜面に沿って滑り，台も右向きに運動を始めた。ただし，物体が斜面から受ける垂直抗力を N_2〔N〕とする。また，物体の斜面に対する加速度を a_2〔m/s^2〕とし，台の加速度を A_2〔m/s^2〕とする。

（４）物体に働く力について，斜面に垂直な方向の力のつり合いの式を書きなさい。また，斜面に沿って下向きを正の方向として，斜面に平行な方向の物体の運動方程式を書きなさい。

（５）台の運動方程式を書きなさい。ただし，右向きを正の方向とする。

（６）台の加速度 A_2 と物体の加速度 a_2 をそれぞれ求めなさい。

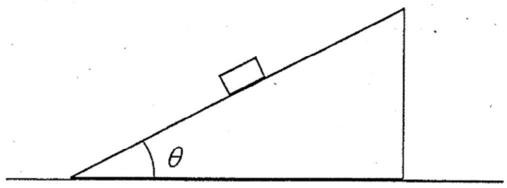


図１

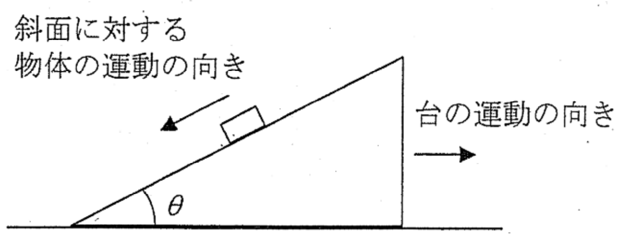


図２

問題２　以下の問いに答えなさい。

Ⅰ．次の文章を読んで，$\boxed{ア}$〜$\boxed{ケ}$ に入る適切な語句または式を答えなさい。また，$\boxed{a}$ と $\boxed{b}$ には，それぞれ次の選択肢から適切な語句を選び，その番号で答えなさい。

$\boxed{a}$ と $\boxed{b}$ の選択肢

① 長方形A　② 長方形B　③ 長方形Aと長方形Bを合わせたもの

図１のように，起電力 V_0〔V〕の電池，電気容量 C〔F〕のコンデンサー，電気抵抗 R〔Ω〕の抵抗，スイッチ S で回路を作る。最初，スイッチ S は開いていて，コンデンサーは電荷を持っていない。スイッチを閉じると電流が流れ始める。十分に時間がたったときコンデンサーに蓄えられる電荷 Q_0〔C〕を V_0 と C で表すと $Q_0 =$ $\boxed{ア}$ である。

充電の途中，コンデンサーに蓄えられている電荷が Q〔C〕のとき，コンデンサーに加わる電圧 V〔V〕は Q と C を用いて $V =$ $\boxed{イ}$ と表せる。したがって，V と Q の間には図２のように直線関係が成り立つ。コンデンサーに蓄えられている電荷を微小量 ΔQ〔C〕だけ増やして $Q+\Delta Q$ にするためには，負に帯電した極板から正に帯電した極板へ電荷 ΔQ を移動させなければならない。そのためには，コンデンサーの外部から $\boxed{ウ}$〔J〕の仕事をする必要がある。これは図２の $\boxed{a}$ の面積に等しい。スイッチを閉じてからコンデンサーの充電が完了するまでに外部からする仕事は，Q_0 と V_0 を用いて表すと $\boxed{エ}$〔J〕である。

一方，コンデンサーに加わる電圧が V のとき，抵抗の両端の電圧は $\boxed{オ}$〔V〕であり，電荷 ΔQ が移動するとジュール熱 $\boxed{カ}$〔J〕が発生する。これは図２の $\boxed{b}$ の面積に等しい。スイッチを閉じてからコンデンサーの充電が完了するまでに抵抗で発生するジュール熱の総量は，Q_0 と V_0 を用いて表すと $\boxed{キ}$〔J〕である。$\boxed{エ}$〔J〕と $\boxed{キ}$〔J〕を合計したものは，スイッチを閉じてからコンデンサーの充電が完了するまでに $\boxed{ク}$ がした仕事に等しく，$\boxed{ケ}$ 保存則が成り立っている。

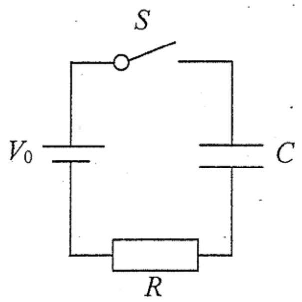


図１

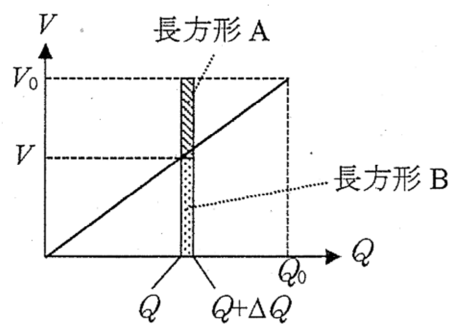


図２

Ⅱ．図３のように起電力 V_0〔V〕の電池，電気容量 C_A〔F〕のコンデンサーA，電気容量 C_B〔F〕のコンデンサーB，電気抵抗 R〔Ω〕の２つの抵抗，スイッチ S で回路を作る。最初，スイッチは開いていて，２つのコンデンサーは電荷を持っていない。

以下では，スイッチを①側に入れて十分に時間がたつまで待ち，次にスイッチを②側に入れて十分に時間がたつまで待つ操作を【操作①→②】と呼ぶことにする。

（１）最初の状態から【操作①→②】を１回行った後に，コンデンサーAとBのそれぞれに蓄えられている電気量 Q_{A1}〔C〕と Q_{B1}〔C〕を求めなさい。

（２）最初の状態から【操作①→②】を n 回行った後に，コンデンサーBに蓄えられている電気量を Q_{Bn}〔C〕とする。さらにもう一度【操作①→②】を行った後に，コンデンサーAとBのそれぞれに蓄えられている電気量を $Q_{A(n+1)}$〔C〕，$Q_{B(n+1)}$〔C〕とする。$Q_{B(n+1)}$を Q_{Bn}，V_0, C_A, C_B を用いて表しなさい。

（３）$Q_{B(n+1)}$を V_0, C_A, C_B, n を用いて表しなさい。

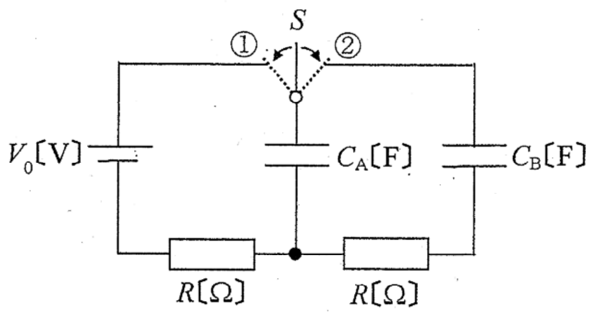
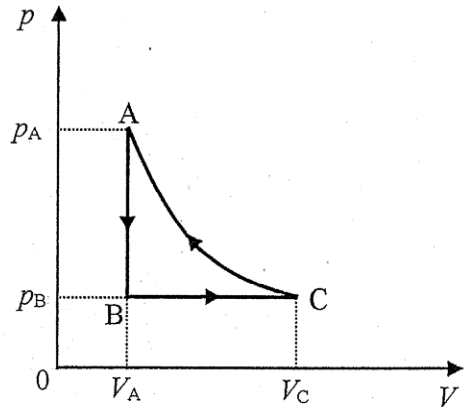


図３

問題３　以下の問いに答えなさい。

（１）温度 T〔K〕が $T=273$ K (= 0°C)で圧力 p〔Pa〕が $p=1.013\times10^{5}$ Pa (= 1 atm)の状態を標準状態という。標準状態における 1 mol の理想気体の体積 V〔m^3〕は $V=2.24\times10^{-2}$ m^3 であることが知られている。ボイル・シャルルの法則を用い，理想気体の状態方程式 $pV=nRT$ を導きなさい。ただし，R〔J/(mol·K)〕は気体定数，n は理想気体のモル数である。さらに，気体定数 R の値を有効数字 3 桁で求めなさい。

（２）1 mol の単原子理想気体を図のように A→B→C→A と状態変化させる。以下の文章の $\boxed{\text{ア}}$～$\boxed{\text{ケ}}$ の中に入る適切な語句，式または数値を答えなさい。



図

一般に気体の内部エネルギーについて，「気体の内部エネルギーの変化は，気体が吸収した熱量と気体が外部からされた仕事の和に等しい。」という関係が成り立つ。これを $\boxed{\text{ア}}$ という。

A→B では気体の体積 V〔m^3〕を $V=V_A$〔m^3〕の一定下で熱量 Q_A〔J〕を気体から抜き取って変化させる。このような過程を $\boxed{\text{イ}}$ 変化（過程）という。この場合，気体が外部からされる仕事 W_A〔J〕は $W_A=\boxed{\text{ウ}}$ だから，気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{AB}〔J〕は $\Delta U_{AB}=\boxed{\text{エ}}$ となる。

B→C では気体の圧力 p〔Pa〕を $p=p_B$〔Pa〕の一定下で変化させる。このような過程を $\boxed{\text{オ}}$ 変化（過程）という。この場合，気体に熱量 Q_B〔J〕を与えると気体は膨張し，体積は V_A から V_C〔m^3〕に増加する。気体が外部にした仕事 W_B〔J〕は $W_B=\boxed{\text{カ}}$ となるから，B→C の状態変化での気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{BC}〔J〕は $\Delta U_{BC}=\boxed{\text{キ}}$ となる。

C→A では外部との熱の流入出を遮断した上で，外部から気体に仕事 W_C〔J〕を与えて圧縮する。このような過程を $\boxed{\text{ク}}$ 変化（過程）という。C→A の変化における内部エネルギーの変化 ΔU_{CA}〔J〕は $\Delta U_{CA}=\boxed{\text{ケ}}$ となる。

（３）（２）で表される状態変化において状態 A, B, C それぞれにおける温度を T_A〔K〕，T_B〔K〕，T_C〔K〕とする。T_A, T_B, T_C の大小関係を不等式で示し，その理由を説明しなさい。

（配点 100）

問題４　以下の問いに答えなさい。

よくみがいた金属板の表面に光を当てると，電子が金属から飛び出してくることが知られている。この現象を光電効果といい，飛び出してくる電子を光電子という。

（１）次の説明は光電効果の特徴を述べている。光電効果の正しい説明を完成させるように，$\boxed{a}$～$\boxed{c}$に入る適切な文章をそれぞれの選択肢から一つ選び，番号で答えなさい。

実験によれば，この現象を起こすには，$\boxed{a}$ 限界振動数 ν_0〔Hz〕よりも高い振動数 ν〔Hz〕の光を当てる必要がある。

$\boxed{a}$ の選択肢
- ① 金属の種類によって定まる
- ② 金属の種類とは無関係に，ある一定の
- ③ 金属板の厚さによって定まる，ある一定の

また，光の振動数が ν_0 より大きいと，$\boxed{b}$ 光電子が飛び出す。

$\boxed{b}$ の選択肢
- ① 光が弱いうちは時間がかかるが，強くなるほど短い時間で
- ② 光の強さに関係なく，即座に
- ③ 光の強さがある限界値に達した瞬間に

光が強くなるにつれて，$\boxed{c}$

$\boxed{c}$ の選択肢
- ① 光電子の運動エネルギーが増大するが，光電子の数は変わらない。
- ② 光電子の数は増えるが，光電子の運動エネルギーの最大値は変わらない。
- ③ 光電子の数と運動エネルギーはともに増大する。

（２）光電効果を説明するために，アインシュタインは光を粒子（光量子または光子）の集まりと考えた。アインシュタインの考えに基づいて，空欄 $\boxed{ア}$～$\boxed{オ}$ の中に入る適切な式または数値を答えなさい。ただし，プランク定数を h〔J·s〕，真空中の光の速さを c〔m/s〕とする。

アインシュタインは光の振動数が ν のとき，1個の光子の持つエネルギーは $\boxed{ア}$〔J〕であり，運動量の大きさは $\boxed{イ}$〔kg·m/s〕であると考えた。いま，振動数 ν の単色光を金属の表面に当てたとする。金属の中の電子はさまざまな大きさのエネルギーを持っている。最も大きなエネルギーを持っている電子を外に取り出すのに必要なエネルギーを W〔J〕とすると，光電子の運動エネルギーの最大値 K〔J〕は $K=\boxed{ウ}$〔J〕と書ける。W は仕事関数と呼ばれる。電子が飛び出すためには，$K>0$ でなければならないから，限界振動数 ν_0 を用いて，$W=\boxed{エ}$ となる。実験によれば，ある金属では，仕事関数は 2.20×10^{-19} J，限界振動数 ν_0 は 3.33×10^{14} Hz である。この値を用いてプランク定数 h の値を有効数字2桁で計算すると，$h=\boxed{オ}$ J·s になる。