物　理（後　期）　（その１）

Ⅰ　以下の問に答えよ。

⑴　アリを半径 a〔m〕の球状の容器の中に入れると，内壁を登りだした。アリの登り得る最下点からの高さを求めよ。なお，内壁面とアリとの間の摩擦係数を μ とする。

⑵　管楽器と弦楽器を暖かい部屋で調律し，寒い野外へ出て演奏会を催した。このとき，温度変化による管楽器の管の長さと弦楽器の弦の長さの変化は無視できるほど小さかったが，弦楽器の弦の張力は増加した。管楽器および弦楽器で発生する音の周波数は，調律時に比べてどのように変化するか。(a)～(c)から１つ選べ。

(a)　高くなる　　(b)　変わらない　　(c)　低くなる

⑶　下記の①から④の項目にもっとも近いのはどれか。ＡからＦの記号で答えよ。

①　原子の大きさ　　②　原子核の大きさ　　③　可視光線の真空中での波長
④　空気中の音の波長

Ａ．1 m　　Ｂ．10^{-3} m　　Ｃ．10^{-7} m
Ｄ．10^{-10} m　　Ｅ．10^{-14} m　　Ｆ．10^{-34} m

⑷　ラジウム 226 は，4.8 MeV の運動エネルギーのアルファ線を放出して質量数が（　①　）のラドンの同位体に崩壊する。アルファ線の放出に伴って反対側に動き出したラドンの運動エネルギーは（　②　）MeV である。崩壊する前のラジウム 226 は静止していたものとして，（　　）を埋めよ。

Ⅱ　水平な床に質量 M〔kg〕の台 ABCD が置かれ，静止している。台の上面の ABC は底面に平行であり，C から D は曲面で面 AC に滑らかにつながっている。台上の点Ｂと点Ｃの間に質量 m〔kg〕の小物体（$m < M$）を置き，台上に静止させたのち（図１），小物体に右向きの初速度 v_0〔m/s〕を与えた。小物体は台上をすべり，点Ｃを通過して最高点に達したのち（図２），Ｃの方へ戻った。台と床の間に摩擦力は働かず，小物体と台の間では面 AB だけでしか摩擦力は働かない。小物体と面 AB の間の動摩擦係数を μ，重力加速度を g〔m/s^2〕として，v_0，g，M，m，μ の中から適当と思われる記号を用いて，以下の問に答えよ。

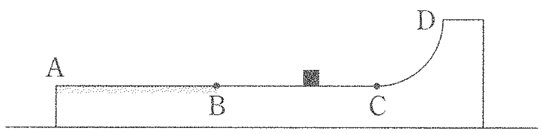


図１

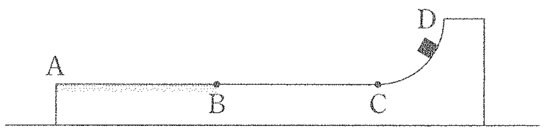


図２

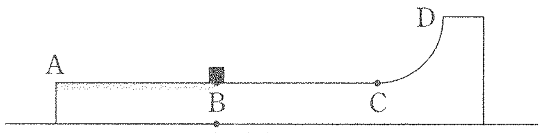


図３

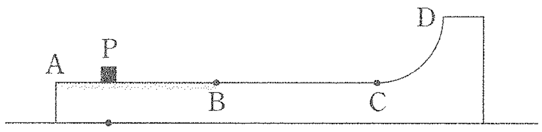


図４

⑴　小物体が台上で最高点に到達したときの（図２），床に対する小物体の速度 v_1〔m/s〕および台の速度 v_2〔m/s〕を求めよ（右向きを正とする）。

⑵　小物体が台上を滑り降りて点Ｃを通過した直後の，床に対する小物体の速度 v_3〔m/s〕および台の速度 v_4〔m/s〕を求めよ（右向きを正とする）。

小物体が台上の点Ｂを通過したとき，小物体は床面の点Ｓの上にあった（図３）。その後，小物体は面 AB から受ける摩擦力で台上の点Ｐで止まり，小物体は床面の点Ｔの上にあった（図４）。

⑶　小物体が台上点Ｐに止まったときの，床に対する台と小物体の速度を v_5〔m/s〕とするとき，v_5 を求めよ（右向きを正とする）。

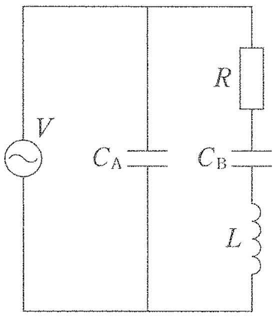
⑷　小物体と台の間の摩擦で失われた力学的エネルギー W〔J〕を求めよ。

⑸　点Ｂと点Ｐ間の距離を求めよ。

⑹　点Ｓに対する点Ｔの位置を求めよ（右向きを正とする）。

物 理（後 期） （その２）

Ⅲ　図の回路において，交流電源の電圧 V〔V〕は $\sqrt{2}\,E\sin\omega t$（E〔V〕は実効値，ω〔rad/s〕は角周波数，t〔s〕は時間）で表され，抵抗は R〔Ω〕，コイルのインダクタンスは L〔H〕，コンデンサーA，Bの静電容量は C_A〔F〕と C_B〔F〕である。電源のインピーダンスおよび導線の抵抗はないものとして，以下の問に答えよ。



(1)　コンデンサーAを流れる電流の実効値 I_A〔A〕，およびコンデンサーBを流れる電流の実効値 I_B〔A〕はいくらか。

(2)　コンデンサーAを流れる電流の位相は，電源の電圧の位相に対してどれだけ進むか，あるいは遅れるか。

(3)　C_A を電源電圧と回路全体に流れる電流の位相が同じになるような値に設定した。C_A はいくらか。

(4)　C_A が(3)の場合，回路全体に流れる電流の実効値 I_E〔A〕はいくらか。C_A を用いずに表せ。

(5)　C_A が(3)の場合，回路全体のインピーダンス Z_E〔Ω〕はいくらか。C_A を用いずに表せ。

(6)　C_A が(3)の場合，回路で消費される平均電力 $\overline{P}_E$〔W〕はいくらか。C_A を用いずに表せ。

Ⅳ　海底から噴き出す熱水の熱を利用して，仕事を取り出すことを考える。図1のように，断面積 S〔m^2〕，内部の深さ l〔m〕の円筒と，その内部に隙間なく入るピストンがある。これを「装置」と呼び，内部の密閉空間を「装置内部」と呼ぶ。円筒もピストンも断熱材でできているが，円筒底面は熱だけを通す板と開閉可能な断熱板の二重構造になっており，断熱板を開いたときは熱を通す。摩擦力や抵抗は無視し，気体定数は R〔J/K·mol〕として，以下の〔　　〕を S，l，R，α，β のうち必要な記号を用いた式，あるいは数値で埋めよ。ただし，空気は定積モル比熱が $\frac{5}{2}R$ の理想気体とし，断熱変化では圧力 P〔Pa〕と体積 V〔m^3〕について $PV^{\frac{7}{5}}$ ＝一定の関係が成り立つ。また，重力加速度は 10 m/s^2，海水の密度は水深や温度によらず 1000 kg/m^3 とする。

図1

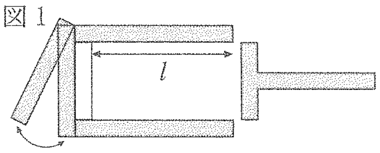
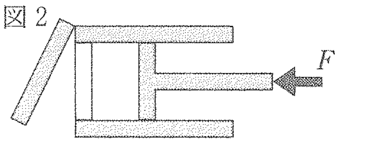


図2



海上での大気圧は 1000 hPa（$= P_0$），温度は T_0〔K〕であった。装置内部の空気の状態Aが圧力 P_A〔Pa〕，体積 V_A〔m^3〕，温度 T_A〔K〕で決まるとき，状態A（P_A，V_A，T_A）と書くと，海上でピストンを円筒容器入口に合わせたときの状態0は，状態0（P_0，V_0，T_0）である。

操作0）状態0から図2のように，断熱板を開いた状態で装置内部の圧力が $4P_0$ になるまで，ピストンをゆっくり押し込むと状態1（P_1，V_1，T_1）になった。このとき，装置内部の空気の物質量 N〔mol〕は〔 ① 〕× $\frac{P_0}{T_0}$，体積 V_1〔m^3〕は〔 ② 〕× Sl，ピストンを支える力 F〔N〕は〔 ③ 〕× P_0 である。

操作1）断熱板を閉め，ピストンを固定してから，装置に質量 m〔kg〕の重りをつけて海に沈めた。装置は，温度 T_H〔K〕が αT_0（$\alpha > 1$）で一定と見なせる水深 30 m の海底に到達した。装置を海底に固定した後，断熱板を開いた。十分に時間がたつと，状態2（P_2，V_2，T_2）になった。P_2 は，〔 ④ 〕× αP_0，装置内部の空気の内部エネルギーの増加分 ΔU〔J〕は，〔 ⑤ 〕×$(\alpha - 1)NT_0$ である。

操作2）ピストンの固定を外し，ピストンを装置内部の体積が βV_1（$\beta > 1$）になるまでゆっくりと動かすと状態3（P_3，V_3，T_3）になった。P_3 は，〔 ⑥ 〕× αP_0 である。

操作3）断熱板を閉め，ピストンを固定してから，装置と海底との固定を外すと，装置は海上まで浮上した。装置内部の空気の質量と重りの大きさを無視し，装置が海水と同じ密度の材質でできているとすると，重りの質量は，$1000\,V_1 < m <$〔 ⑦ 〕× V_1 でなければならない。ピストンの固定を外し，装置内部の圧力が $4P_0$ になるまで，ピストンをゆっくりと動かすと，状態4（P_4，V_4，T_4）になった。このとき，装置が外にする仕事 W_A〔J〕は，〔 ⑧ 〕× $NRT_0 \times \left\{1 - \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{〔⑨〕}\right\}$ である。

操作4）断熱板を開き，装置内部の圧力を $4P_0$ に保ちながらピストンを動かしていくとやがて状態1に戻った。このとき，装置が外にする仕事 W_B〔J〕は，$NRT_0 \times \left\{1 -〔⑩〕\times \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{〔⑨〕}\right\}$ である。

$\alpha = 2$ のとき，操作 1 → 2 → 3 → 4 → 1 のサイクルで，海上で正の仕事（$W_A + W_B$）を取り出すためには，$\beta <$〔 ⑪ 〕でなければならない。ただし，$\left(\frac{7}{6}\right)^{-\frac{7}{2}}$ を $\frac{7}{12}$ と近似せよ。