令和２年度入学者選抜学力検査問題（前期日程）

理　　科

物理基礎・物理

（注　意）

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は８ページ，解答用紙は４枚である。指示があってから確認すること。
3. 解答用紙の指定のところに解答のみを記入すること。問題文に指示のない限り，導出過程は必要ない。
4. 計算その他を試みる場合は，問題冊子の余白を利用すること。
5. **解答用紙は持ち帰ってはならないが，**問題冊子は必ず持ち帰ること。

〔I〕

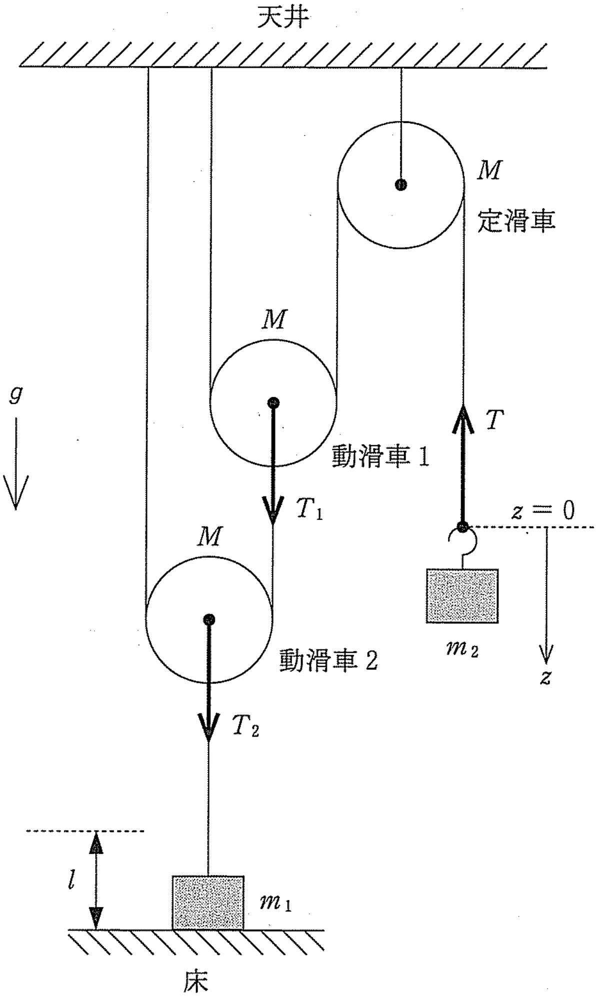


図 I

図 I のように 1 つの定滑車と，2 つの動滑車(1 と 2)が天井から吊り下げられている。これら 3 つの滑車は同一の質量 M[kg] を持つものとする。使用しているすべてのひもは伸びず，その質量は無視できるものとする。動滑車 2 の中心と床面上に置かれた質量 m_1[kg] の物体をひもでつないでいる。また，質量 m_2[kg] のおもりを定滑車にかけられたひもの端(力点)に取り付けている。おもりの質量 m_2 は物体の質量 m_1 よりも大きいと仮定する($m_2 > m_1$)。図 I において，T[N] はおもりを吊っているひもの力(張力)であり，T_1[N] は動滑車 1 の中

心に付けられたひもの張力，T_2[N]は動滑車2の中心に付けられたひもの張力である。初期状態において，動滑車2と質量m_1の物体をつないでいるひもが，たわまず，なおかつ，力が働かないように質量m_2のおもりを手で支える。この状態において，定滑車にかけたひもの端が，鉛直下方にとった座標z[m]の原点($z = 0$ m)にあると仮定する。質量m_2のおもりを支えていた手をそっと離すと，質量m_2のおもりは初期速度0 m/sで鉛直下方に加速度a[m/s^2]の等加速度運動を開始した。このとき，全ての滑車と物体とおもりは鉛直方向にのみ動き，振動はしないものと仮定する。滑車と物体とおもりの動きに対する空気抵抗は無視できる。3つの滑車において摩擦は働かず，滑車の回転に伴う回転エネルギーは無視できるとする。重力加速度をg[m/s^2]とするとき，以下の問いに答えよ。

(1) 3つの滑車の質量Mが無視できるとき($M = 0$ kg)，おもりの等加速度運動の開始後に，ひもに働く張力T，T_1，T_2の大きさの比$T : T_1 : T_2$を答えよ。

(2) 3つの滑車の質量Mが無視できるとき，おもり(質量m_2)についての運動方程式を示せ。

(3) 3つの滑車の質量Mが無視できるとき，物体(質量m_1)が上昇する加速度の大きさはおもりの加速度aの何倍であるか答えよ。

(4) 3つの滑車の質量Mが無視できるとき，おもり(質量m_2)の加速度aを求めよ。

(5) 3つの滑車の質量Mが無視できるとき，物体(質量m_1)の底が床面を離れてから高さl[m]に至るまでの時間t[s]を，加速度aと高さlを含む形式で答えよ。また，物体の底が床面から高さlになった瞬間の物体の上昇速度の大きさv_1[m/s]を，加速度aを含まない形式で求めよ。ただし，物体が高さlに到達するまで，おもりは一定の加速度aで運動を続けるものとする。

(6) 3つの滑車の質量Mがおもりの質量と等しく$M = m_2$であるとき，動滑車1の中心に付けられたひもの張力T_1を求めよ。また，動滑車2の中心に付けられたひもの張力T_2を求めよ。ただし，質量m_2を含む形式で，それぞれ答えること。また，おもりの加速度aを求めよ。

〔Ⅱ〕

断面積S[m^2]のピストンを備えたシリンダーが，圧力P_0[Pa]の大気中に置かれている。大気圧P_0は常に一定とする。ピストンはなめらかに動き，その質量は無視できるものとする。ピストンとシリンダーは全く熱を伝えない材料で作られており，シリンダー内部と大気との間で熱のやりとりはない。またピストンとシリンダーの熱容量は無視できる。シリンダー内に理想気体Aが閉じ込められている。気体Aの定積モル比熱をC_V[J/(mol・K)]，気体定数をR[J/(mol・K)]，重力加速度をg[m/s^2]とする。以下の問いに答えよ。

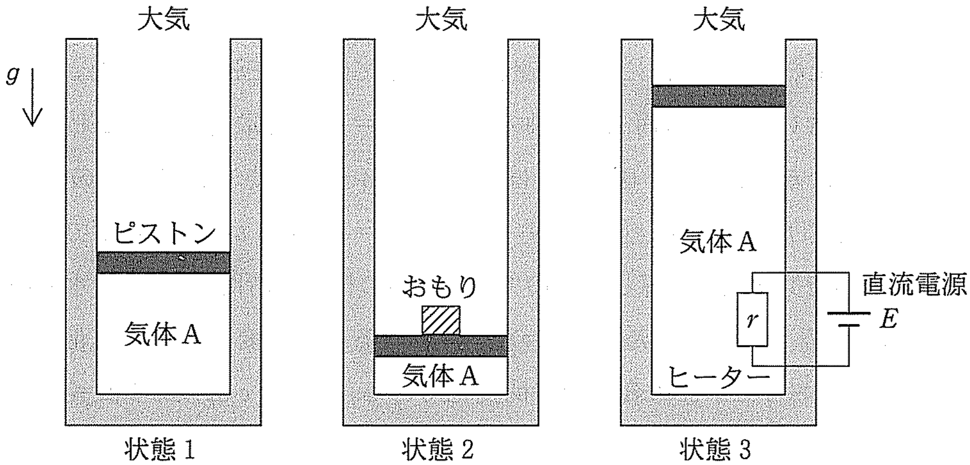
(1) 図Ⅱの状態1に示すように，シリンダー内にn[mol]の気体Aが閉じ込められているとき，シリンダー内の体積がV_0[m^3]となった。このとき，気体Aの温度T_1[K]を求めよ。

(2) 状態1において，質量m[kg]のおもりを手で支えながらゆっくりとピストンの上に置くと，ピストンの位置が徐々に下がり，完全に手を放して静止した状態でシリンダー内の体積は$\frac{V_0}{3}$[m^3]となった(状態2)。このとき，気体Aの圧力P_2[Pa]と温度T_2[K]を求めよ。

(3) 状態1から状態2に変化する際，気体Aが外部からされた仕事$W_{1\to2}$[J]を求めよ。

(4) 状態1において，シリンダー内に抵抗値r[Ω]のヒーターを入れ，電圧E[V]の直流電源を接続して気体Aを一定時間加熱したところ，気体Aの体積は$2V_0$[m^3]となりピストンは停止した(状態3)。状態1から状態3に変化する際，気体Aが外部に行った仕事$W_{1\to3}$[J]と，気体Aの内部エネルギーの変化量$\Delta U_{1\to3}$[J]を求めよ。ヒーターで発生した熱は全て気体Aに吸収され，ヒーターの体積と熱容量は無視できるものとする。

(5) 状態1から状態3への変化に要するヒーターの熱量Q[J]と，ヒーターの通電時間t[s]を求めよ。



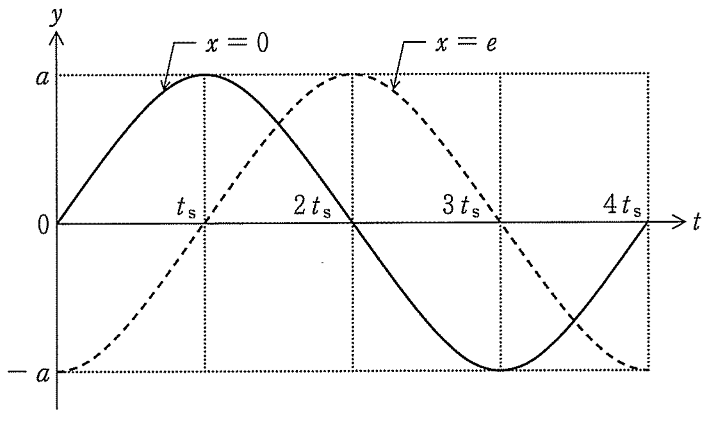
図II

〔Ⅲ〕

水面上を一定の方向に一定の速さで連続して伝わる正弦波を考える。波の発生していない状態の水面上に x 軸の原点 O ($x = 0$ m) を取り，波の伝わる方向を x 軸の正方向とする。図Ⅲ—1は，原点 O および原点 O から x 軸の正方向に e[m] 離れた地点 ($x = e$[m]) における時間 $t = 0$ s から $t = 4t_s$[s] までの水面の変位の時間変化を記録したものである。図の横軸は時間 t，縦軸は水面の変位 y[m] を表しており，実線は $x = 0$ m における水面の変位の時間変化，破線は $x = e$ における水面の変位の時間変化である。また，e は波の1波長よりも短い。以下の問いに答えよ。ただし，円周率を π とし，解答には問題文中の記号を用いること。

(1) 原点 O での水面の変位の時間変化が図Ⅲ—1の実線で表されるとき，原点 O におけるこの波の水面の変位 y は時間 t の関数としてどのように表されるか求めよ。また，この波の速さ[m/s]と振動数[Hz]を答えよ。

(2) 原点 O での水面の変位の時間変化が(1)の関数で表されるとき，位置 x におけるこの波の水面の変位 y_1[m] は時間 t の関数としてどのように表されるか求めよ。また，$t = t_s$ における原点 O から x 軸の正方向に1波長分の波形を解答用紙のグラフに描け。



図Ⅲ—1

(3) 図Ⅲ―2に示されるように，原点Oからx軸の正方向へL[m]離れた地点に，x軸に垂直となるよう板を設置した。(2)で求めたx軸の正方向へ向かう波を入射波(変位y_1)として，板を設置してから十分時間が経過した後の，位置$x(0 \leqq x \leqq L)$における板による反射波の水面の変位y_2[m]は時間tの関数としてどのように表されるか求めよ。なお，板では入射波は自由端反射をし，また，反射による波の減衰は発生しないものとする。

(4) 板を設置してから十分時間が経過した後の，入射波(変位y_1)および反射波(変位y_2)による合成波の水面の変位y_3[m]は，三角関数の公式

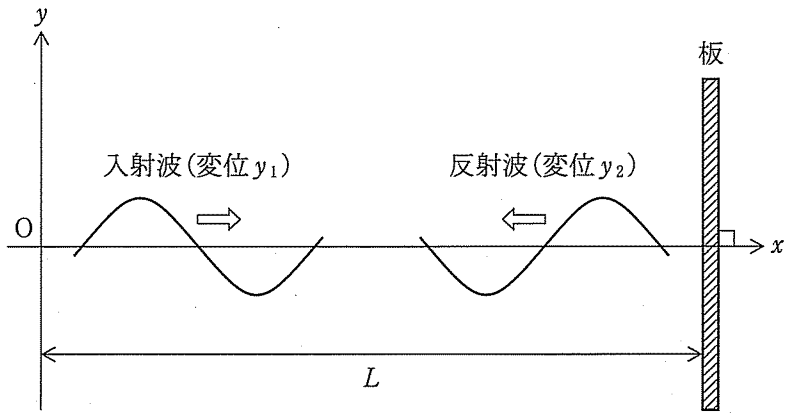
$$\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha \pm \beta}{2}\cos\frac{\alpha \mp \beta}{2}$$

を用いて，以下のように表される。

$$y_3 = \boxed{①}\sin\pi\left(\boxed{②}\times t - \boxed{③}\right)\cos\pi\left(\boxed{④}\times x - \boxed{③}\right)$$

この合成波は振幅 $\boxed{①}$ でx軸の正の向きにも負の向きにも進まない定常波(定在波)となることが分かる。①から④に当てはまる式を求めよ。

(5) 板を設置してから十分時間が経過した後の$0 \leqq x \leqq L$の範囲において，合成波の腹と節の数がともにn個(nは自然数)となるLの条件を，不等号を用いて表せ。



図Ⅲ―2

〔Ⅳ〕

図Ⅳ―1に示すように，抵抗値R[Ω]の抵抗，自己インダクタンスL[H]のコイル，電気容量C[F]のコンデンサー，スイッチS_1，S_2，S_3，電圧V_d[V]の直流電源，および，電圧$V_a = V_0 \sin \omega t$[V]の交流電源が接続されている。ただし，ω[rad/s]は角周波数，t[s]は時刻，V_0[V]は電圧の最大値とする。現在，スイッチS_1はいずれの電源にも接続されておらず，スイッチS_2，S_3も切断されており，また，全てのコンデンサーには電荷が蓄えられていないものとする。このときを初期状態とし，以下の問いに答えよ。ただし，円周率はπとする。

(1) 初期状態において，スイッチS_1を直流電源に接続した。このときに構成される回路において，e–f間の電気容量C_{ef}[F]を求めよ。また，スイッチS_1を直流電源に接続してから十分に時間が経った。このとき，e–f間に蓄えられた電気量Q_{ef}[C]を求めよ。

(2) (1)の状態において，スイッチS_1をいずれの電源にも接続されていない状態にした後，スイッチS_3を閉じたところ，c–d間に流れる電流に電気振動が生じた。このときの電気振動の周波数f_{cd}[Hz]を求めよ。

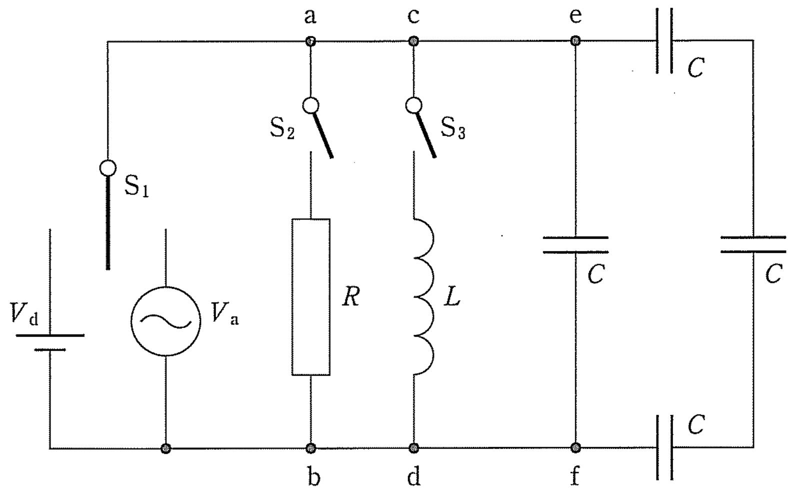
(3) 初期状態において，スイッチS_2とS_3を閉じた後，スイッチS_1を交流電源に接続した。このとき，a–b間の電流I_{ab}[A]，c–d間の電流I_{cd}[A]，およびe–f間の電流I_{ef}[A]は以下のようになった。各電流の最大値I_{ab0}[A]，I_{cd0}[A]，I_{ef0}[A]を求めよ。

$$I_{ab} = I_{ab0} \sin \omega t$$
$$I_{cd} = -\, I_{cd0} \cos \omega t$$
$$I_{ef} = I_{ef0} \cos \omega t$$

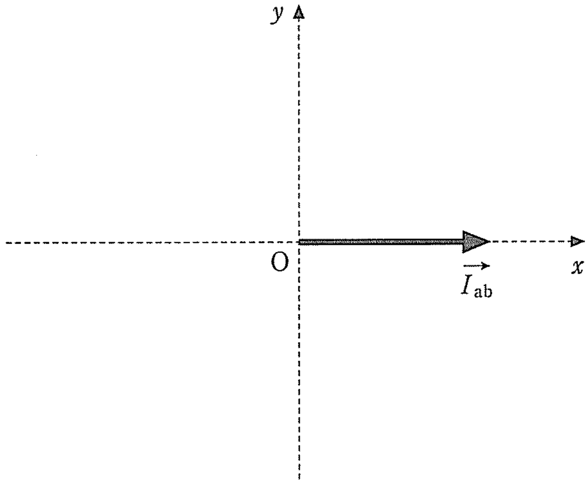
(4) (3)の状態において，電流I_{ab}に対する電流I_{cd}の位相差θ_{cd}[rad]および電流I_{ef}の位相差θ_{ef}[rad]を求めよ。ただし，位相が進んでいる場合は位相差の符号を＋，位相が遅れている場合は位相差の符号を－とせよ。

(5) 図Ⅳ―2はxy平面上に電流I_{ab}のベクトル$\overrightarrow{I_{ab}}$を記したものである。いま，$I_{cd0} < I_{ef0}$としたとき，電流I_{cd}およびI_{ef}のベクトルを(4)の結果に基づいて解答用紙のxy平面上に記入せよ。また，交流電源を通る電流I[A]のベクトルを記入せよ。ただし，原点Oを中心に反時計回りを位相差の正(＋)とする。

(6) 電流Iの最大値I_0[A]をR，L，Cを含んだ形式で答えよ。



図Ⅳ—1



図Ⅳ—2