物理Ⅰ・物理Ⅱ

各問の（　　）の中に入れるべき適当な数値，数式または字句などを解答用紙の指定されたところに記入せよ。その他の設問に対する解答は，指示にしたがって解答欄に書け。問題に単位の指定がない場合，用いられる記号はSI（国際単位系）単位にしたがっているものとする。各問に対する解答は，{　　}内に記号が示されていれば，その記号のうち必要なものを用いて記せ。

第1問

図1のように，なめらかな水平面上にばね定数 k で質量の無視できるばねの一端を固定し，ばねの他端に質量 m_1 のおもりを固定する。質量 m_2 の小球をこのおもりに接触させながら，ばねを自然長より d だけ縮ませ急に手を放す。ばねによって加速された小球は，水平面を通り水平面に接するようにおかれた半径 r の中空円筒（中心O）の内壁の一部分でつくられたなめらかな台（H—E）を通って E より空中に投げ出されるとする。このときの運動について考える。ここで，重力加速度を g とし，おもりおよび小球の大きさは無視できる．空気による抵抗もいっさい無視できるとする。

小球から手を放した後，小球とおもりは接触しながら加速され，ばねが自然長になったとき小球はおもりから離れて運動するようになる。小球がおもりから離れた直後の小球の速さ v_0 は（　ア　）{d, m_1, m_2, k, g} である。一方，おもりの固定されているばねは，単振動を行う。このときの振幅 A は（　イ　）{d, m_1, m_2, k, g} である。小球は水平面を通過したのち台に達する。小球が台（H—E）を通過するときの速さ v_1 を OH からの角度 θ（ $0° \leqq \theta \leqq 60°$ ）を用いて表わすと（　ウ　）{m_1, m_2, g, r, θ, v_0} になる。そのとき，小球が台（H—E）から受ける垂直抗力 N は（　エ　）{m_1, m_2, g, r, θ, v_1} である。

小球は台を通過後 E から空中に放出される。投げ出された直後の小球の速さ v_2 は（　オ　）{m_1, m_2, g, r, θ, v_0} であり，小球の到達する最高点 F の水

平面からの高さ h は（　　**カ**　　）$\{m_1,\ m_2,\ g,\ r,\ \theta,\ v_2\}$ である。

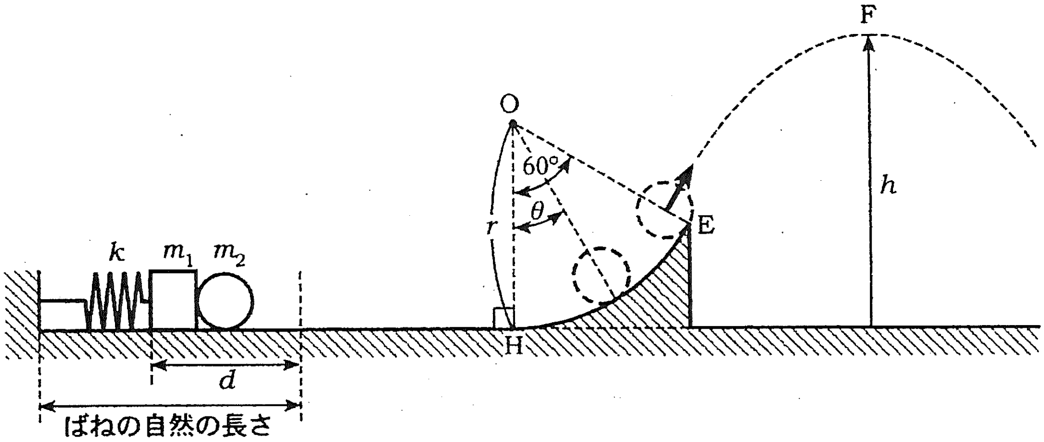

図 1

第2問

図2のように，水平面内に，間隔 L で平行に置かれたレールがある。レールは区間 ab と de で絶縁体である。また bc，ef の部分は電気抵抗の無視できる金属である。ab, de, bc，および ef の区間は同じ長さである。区間 cf の間は抵抗器 R [Ω]でつながれている。長さ L [m]の金属棒が，レールに直角に置かれており，レール上を摩擦なく動くことができ， ad から cf の方向に向かって動いているものとする。この金属棒は質量と電気抵抗が無視できる。

このレールは岡山県内にあり，地球磁場により均一な磁束密度 B [T]の影響を受けている。岡山県付近の地表では地球磁場は水平面から下へ約 45°（伏角と呼ばれる）傾いている。また真北から西へ 8°（偏角）傾いているが，回路の ac あるいは df の線はその方向に平行として偏角の影響を考えない。このとき以下の問いに答えよ。

(1) 金属棒が ab, de の区間内にあり，一定の速さ v で動いているときに金属棒の両端に発生する起電力は（　キ　）[V] $\{v, B, L\}$ である。ただし，金属棒に発生する起電力は図の矢印の方向を正の値ととる。

(2) 金属棒が ab, de の区間内にあり，金属棒を一定の速さ v で動かすときの，進行方向に加えている力は（　ク　）[N] $\{v, B, L\}$ である。

(3) 金属棒が bc, ef の区間内にあり，金属棒が一定の速さ v で動いているときの c を基準とした f の電圧は（　ケ　）[V] $\{v, B, L\}$ である。

(4) 磁束密度 B の大きさが 3.1×10^{-5} [T]， L の長さが 100.0 [mm]， v が 1.4142×10^{1} [m/s]， R が 10.0 [Ω]のとき，ケの値は（　コ　）[V]である。

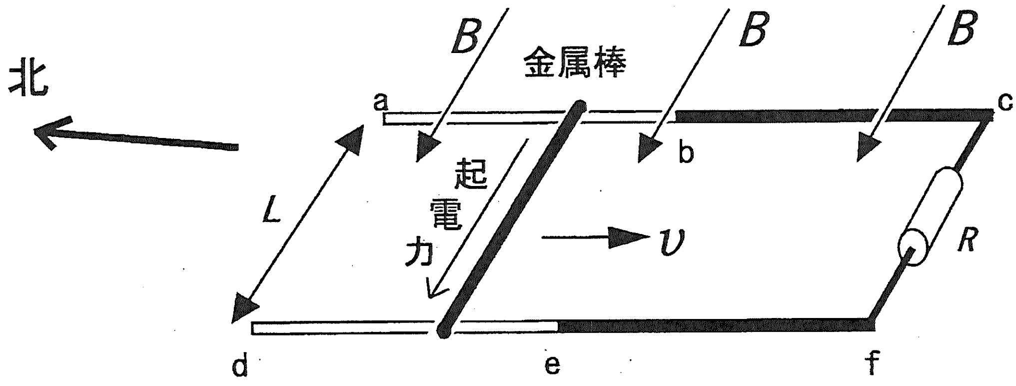

図 2

第3問

単原子分子の理想気体が，状態Aから状態Bでは等温圧縮変化，状態Bから状態Cでは定積変化，状態Cから状態Dでは等温膨張変化，状態Dから状態Aでは定積変化を行う A→B→C→D→A を1サイクルとする熱機関サイクルについて考える。ここで，状態Aの圧力，体積，温度はそれぞれ，P_A，V_A，T_Aである。状態Bの体積は，状態Aの体積の6分の1，状態Cの圧力は，状態Bの圧力の2倍である。したがって，状態Bの圧力P_Bは，図3(a)に示すように　$P_B = 6P_A$である。

以下の問いに答えよ。ただし，**サ**〜**セ**までの解答欄には，P_A，V_A，T_A，および気体定数Rのうちのいずれかの記号を用いて，**ソ**の解答欄には，適切な語句を，**タ**〜**ツ**までの解答欄には，Q_{DA}，Q_{BC}，Q_{CD}，W_{AB}のうちの必要なものを用いて答えよ。

(1)　状態Cの圧力P_Cは（　**サ**　）であり，温度T_Cは（　**シ**　）である。

(2)　状態Dの圧力P_Dは（　**ス**　）であり，温度T_Dは（　**セ**　）である。

(3)　このサイクル A→B→C→D→A における圧力Pと体積Vとの関係を解答用紙の図3(a)に，体積Vと温度Tとの関係を解答用紙の図3(b)にそれぞれ描け。なお，図中に点Cおよび点Dの位置を示せ。

(4)　このような A→B→C→D→A の状態変化を利用した熱機関サイクルはスターリングサイクルと呼ばれている。そこでは，状態Dから状態Aまでの定積変化において外部へひとたび放出した熱を，状態Bから状態Cまでの定積変化において吸収することにより熱効率が向上する。この装置を再生熱交換器と呼ぶ。

さて，再生熱交換器を用いて，状態Dから状態Aまでの定積変化において放出された熱量Q_{DA}を，状態Bから状態Cまでの定積変化において供給される熱量Q_{BC}として，すべて再利用したとする。このとき，状態Cから状態Dの等温膨張変化において外部から供給される熱量をQ_{CD}，状態Aから状態Bの等温圧縮変化において外部から与えられる仕事をW_{AB}とする。

熱機関サイクルにおいては，1サイクルの間に外部から供給された熱量は，その

うちの一部が外部への仕事として使われ，残りの熱量が外部へ放出される。熱機関の熱効率 e とは，1サイクルの間に外部から供給された熱量に対して外部へした仕事の割合と定義される。状態Cから状態Dの等温膨張変化において内部エネルギーの変化$\varDelta U$は（　ソ　）であり，外部へする仕事 W_{CD}は（　タ　）である。したがって，1サイクルの間に外部へする仕事 Wは（　チ　）と表される。

ゆえに，スターリングサイクルの熱効率 eは（　ツ　）と表すことができる。

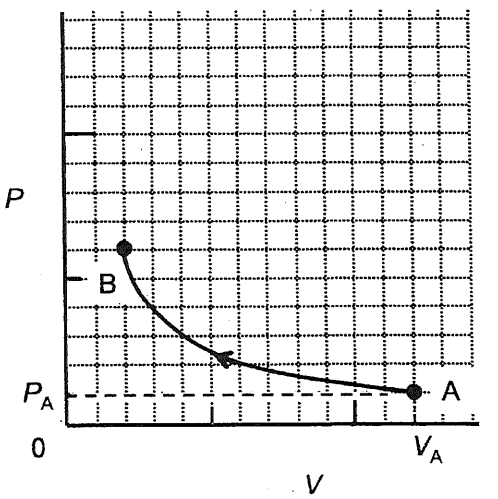

図3(a)

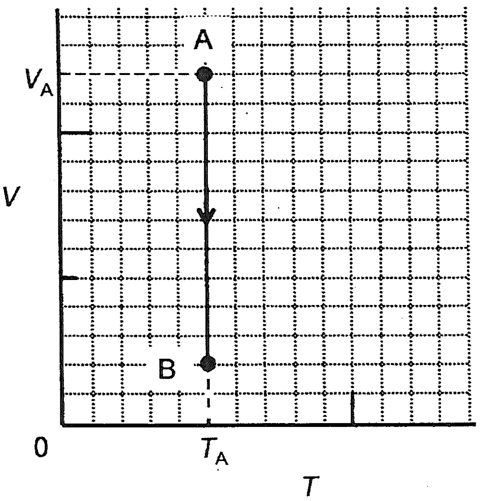

図3(b)

第4問

周波数を変化させることのできる発振器にスピーカーをつなぎ，これに弦を水平に取り付け，上下方向に微小に振動させる。弦の反対側には滑らかな滑車を通して，質量が0.25[kg]のおもりを複数個取り付けることができる。

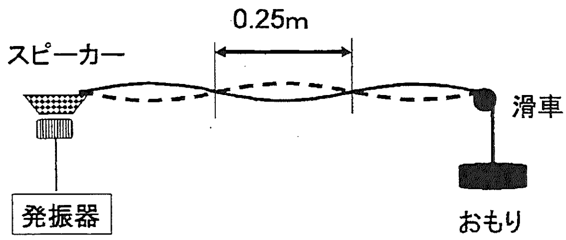

図４

（１）おもりを１つ取り付けてスピーカーを100[Hz]で振動させた場合，図４のように腹が３つの定常波が観測され，中央の節と節の間隔は0.25[m]であった。この場合，波の波長は（　テ　）[m]であり，弦を伝わる波の速さは（　ト　）[m/s]である。

（２）おもりを１個から10個まで増やし，（１）と同じように３つの腹を持つ定常波が見られる周波数をそれぞれの場合で測定したところ，表１の実験結果を得た。

表１

おもり[個]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
周波数[Hz]	99	(　)	173	200	224	245	265	283	301	317

おもりの質量と定常波のできる周波数の関係を調べるために，図５のように横軸をおもりの質量として縦軸が(a)周波数f[Hz]，(b)周波数の二乗f^2 [Hz^2]，(c)周波数の逆数$1/f$ [Hz^{-1}]の３つのグラフをそれぞれ作成した。おもりの質量x[kg]と３つの腹を持つ定常波が観測される周波数 f [Hz]の関係を最もわかりやすく表すグラフは（　ナ　）であり，周波数fは（　ニ　）に比例すると考えられる。この関係から，おもり２個の時に３つの腹を持つ定常波は（　ヌ　）[Hz]で観測されると予測される。ただし（　ナ　）の解答は，図５の(a)，(b)，(c)の中から選べ。

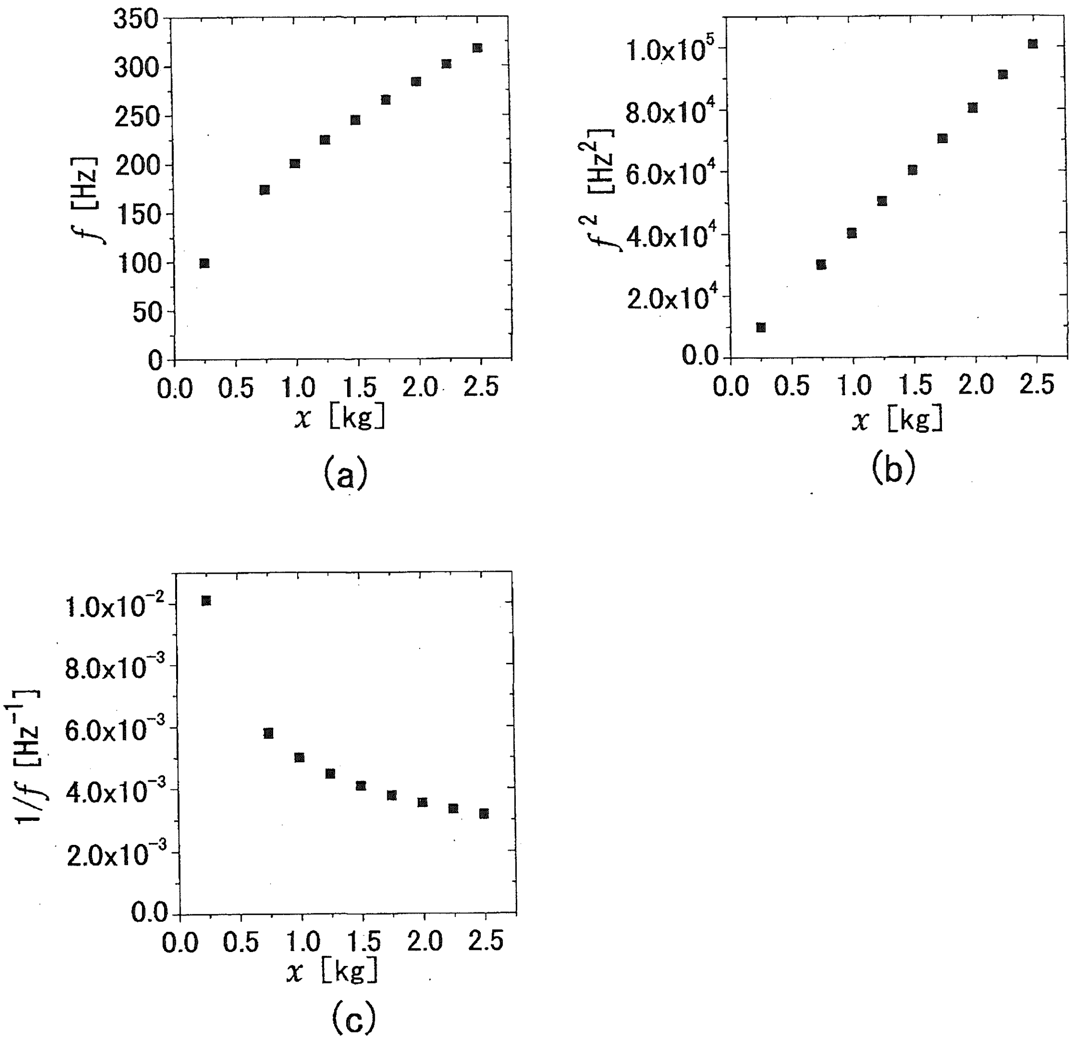

図５

（３）固有周波数が 120[Hz]から 360[Hz]の範囲に含まれるおんさがある。スピーカーから 200[Hz]の音を発生させ，おんさと同時に鳴らすと周期 0.5 秒のうなりが発生した。スピーカーからの音を 201[Hz]に変えると，うなりの周期は長くなった。このおんさの周波数を求め，その導出過程とあわせて（　ネ　）の解答欄へ記述せよ。