物　　　理

注　意　事　項

1. 「解答始め」の合図があるまで，この冊子は開かないこと。
2. この冊子は，表紙を除き8ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら，まず，黒板等に掲示または板書してある問題冊子のページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が，自分に配付された数と合っているか確認し，もし数が合わない場合は手を高く挙げ申し出ること。次に，受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから，解答を始めること。
4. 解答は，必ず解答用紙の指定された箇所に横書きで記入すること。
5. 問題文中に「導出過程を記述すること」などと記載されている設問は導出過程や説明内容なども採点対象とするので，それらも記述すること。

1 図1のように水平な地面上で，水平と角度 $\theta (0^\circ < \theta < 90^\circ)$ の向きに速さ v_0 でボールを投げた。重力加速度は鉛直下向きに大きさ g として，以下の設問に答えよ。ただし，空気抵抗は無視するものとする。いずれの場合も点Oを原点とし，水平右向きを正として x 軸を，鉛直上向きを正として y 軸を定める。

必要があれば以下の三角関数の加法定理を用いてよい。

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$，$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$

(1) 地面からボールを角度 θ の向きに速さ v_0 で投げた時，t 秒後の点Aにおける速度 $\vec{v} = (v_x, v_y)$ と位置 (x, y) を答えよ。ただし，t 秒後の時点ではボールは一度も地面に達していない。

(2) 以下の設問には，導出過程も記述すること。

① 地面から角度 θ の向きに v_0 で投げた時の水平到達距離 $D = D_1$ を答えよ。

② この時，地面から角度 $\theta = 15^\circ$ の向きに $v_0 = 49.0\ \mathrm{m/s}$ で投げた時の水平到達距離 $D = D_2$ を求めよ。ただし，重力加速度 g の大きさは $9.8\ \mathrm{m/s^2}$ とし，有効数字2桁で答えよ。

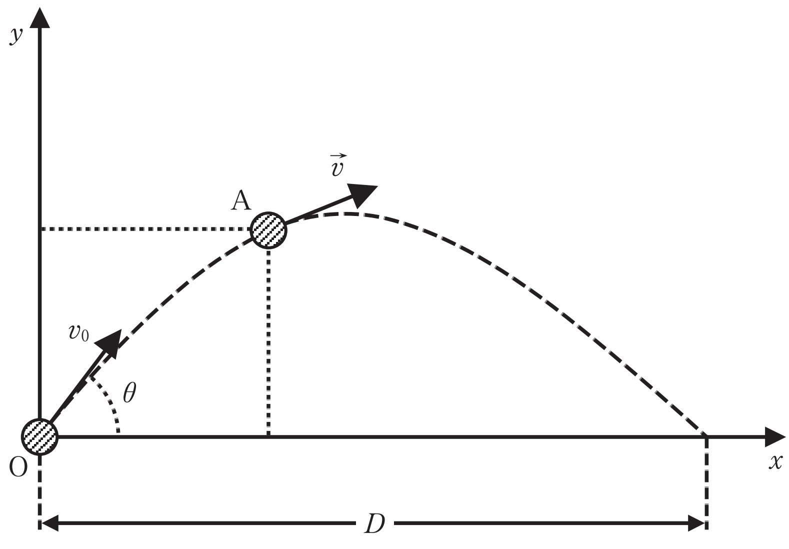

図1

次に，図 2 のように点 O にあるボールを地面と角度 θ の向きに速さ v_0 で投げ出すと同時に，点 B$(L,\ H_1)$から初速度ゼロで落下させたボールが点 P で衝突した。以下の設問に答えよ。

(3) 点 B の高さ H_1 を答えよ。なお，導出過程も記述すること。

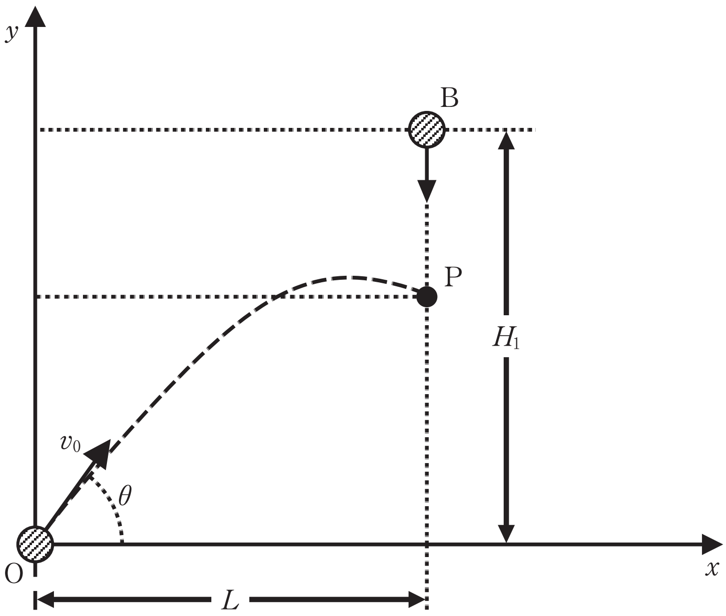

図 2

2 滑らかに動くピストンを使って n[mol]の単原子分子理想気体(以下，気体とする)をシリンダーに封じ込め，図1のような状態変化 A → B → C → D → A を1サイクルとする熱機関をつくった。ただし，気体の定積モル比熱は $C_V = \frac{3}{2}R$，定圧モル比熱は $C_P = \frac{5}{2}R$，(R は気体定数)とする。また，温度は全て絶対温度とする。最初 A の状態の温度が T_A とするとき，B → C → D および1サイクルを経て A に戻ったときの温度を T_B，T_C，T_D および T_A' とする。このとき，T_B，T_C，T_D および T_A' を T_A，p_1，p_2，V_1，V_2 を用いて示すと，ボイル・シャルルの法則より，以下のように求められる。

$$T_B = \frac{p_2}{p_1}T_A,\ T_C = \frac{V_2}{V_1}\frac{p_2}{p_1}T_A,\ T_D = \frac{V_2}{V_1}T_A,\ T_A' = T_A$$

$p_2 = 2p_1$，$V_2 = 5V_1$ として，以下の設問に答えよ。

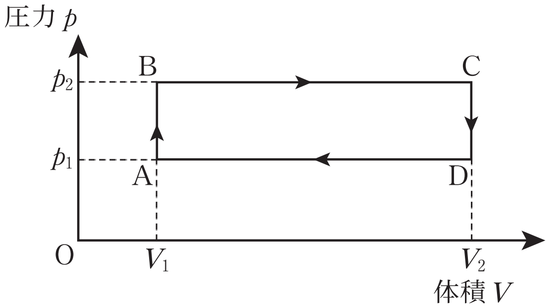

図1

(1) A → B，B → C，C → D，D → A の過程で，気体が外部に対して行った仕事，W_{AB}，W_{BC}，W_{CD}，W_{DA} を n，R，T_A を用いて示せ。また，1サイクルの間に，気体が外部に対して行った仕事の総和 W_{all} を求めよ。なお，導出過程も記述すること。

(2)　A → B，B → C，C → D，D → A の過程で，気体が外部より得た熱，Q_{AB}，Q_{BC}，Q_{CD}，Q_{DA} を n，R，T_{A} を用いて示せ。ただし，気体が外部から熱を「吸収」した場合を正，「放出」した場合を負とする。また，1 サイクルの間に，気体が外部から吸収した熱の総量 Q_{in} を求めよ。なお，導出過程も記述すること。

(3)　気体が外部より吸収した熱に対する，気体が外部に対して行った仕事の割合 e をその熱機関の熱効率とよぶ。この熱効率 e を求めよ。

3 ある媒質中に直線上に x 軸をとり，x 軸上に沿って正の向きに進む正弦波 A を考える。位置 x[m] における時刻 t[s] の変位 y[m] は式(1)で表される。

$$y = 3.0\sin\left\{\pi\left(\frac{t}{2.0} - \frac{x}{5.0}\right)\right\} \qquad (1)$$

有効数字 2 桁として以下の設問に答えよ。

(1) 正弦波 A の振幅 L，波長 λ，周期 T，波の速さ v を答えよ。

(2) $x = 0$ m における正弦波 A の波の式を示し，y-t グラフを -1 s $\leqq t \leqq 5$ s の範囲で示せ。

(3) 正弦波 A と同じ振幅 L，波長 λ，周期 T を持ち，また正弦波 A と同じ速さ v で逆向きに進む $x = 2\lambda$ の地点を波源とする正弦波 B を考える。波のない穏やかな状態から，正弦波 A は原点 O から右方向に，正弦波 B は 2λ の位置にある波源から左方向に同時に波を発生させ，その後，波は継続的に発生し続けるものとする。正弦波 A 及び正弦波 B は，それぞれ 1 波長分だけ進んだとき，$x = \lambda$ の地点で初めて出合う。その時の時刻を $t = 0$ s とする。また，このとき正弦波 A 及び正弦波 B が図 1 の波形を持つ。$t > 0$ s において，$x = \lambda$ の位置における 2 つの正弦波の合成波を考える。その場合の $t = 0$ s から最初に最大振幅になるまでの時間と　最大振幅をそれぞれ T，L を用いて示せ。

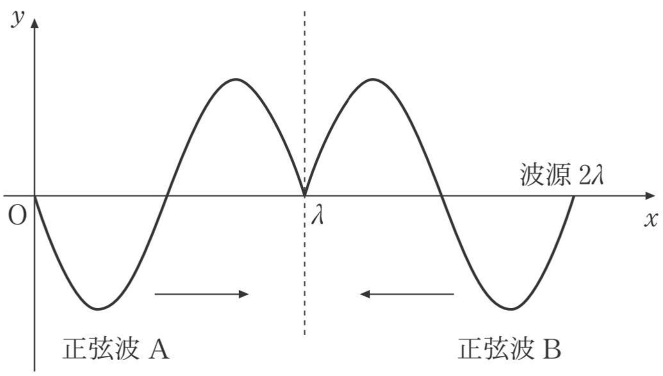

図 1

⑷　設問⑶において，時間が十分経過した後の $0 \leqq x \leqq 2\lambda$ に生じる合成波には腹及び節と呼ばれる部分が発生する。この合成波の名称及びその特徴について述べよ。

4 図1のような交流回路を考える。ただし，点線で囲われた(a)の部分には導線，コンデンサー(静電容量 C)，コイル(自己インダクタンス L)などを接続するものとする。抵抗の抵抗値は $R = 100\,\Omega$ とし，コイルや導線の抵抗は無視できるものとする。

以下では抵抗の両端の電圧を V_R，(a)の両端の電圧を V_a とする。また，交流電源の電圧と周波数は自由に変化させることができる。電流 I の向きは図の矢印の方向を正とする。以下解答は有効数字2桁で求めよ。

［実験Ⅰ］ (a)に導線を接続して V_R を測定したところ，図2のような波形を得た。この波形は正弦波とみなせることがわかった。

(1) ① このときの交流電源の周波数を求めよ。

② このとき回路を流れる電流 I の最大値を求めよ。

③ 抵抗での消費電力の1周期についての平均の値を求めよ。

［実験Ⅱ］ (a)にコンデンサーを接続し，交流電源の電圧を変化させた。周波数は［実験Ⅰ］から変化させなかった。

(2) V_a の最大値は 10 V，V_R の最大値は 2.0 V であった。コンデンサーの静電容量 C[F] を求めよ。なお，導出過程も記述すること。

［実験Ⅲ］ (a)に静電容量 $C = 5.0 \times 10^{-6}$ F のコンデンサーとコイルを直列に接続した。

⑶　交流電源の周波数を変化させていくと，$f = 2000\ \mathrm{Hz}$ が回路の共振周波数であることがわかった。挿入したコイルの自己インダクタンス $L[\mathrm{H}]$ と回路のインピーダンス $Z[\Omega]$ を求めよ。また，この共振周波数において回路を流れる電流の電圧に対する位相のずれ $\delta[\mathrm{rad}]$ を求めよ。なお，導出過程も記述すること。

⑷　交流電源の周波数を共振周波数から変化させたとき，回路を流れる電流 I の最大値は増加するか，減少するか答えよ。またその理由を説明せよ。

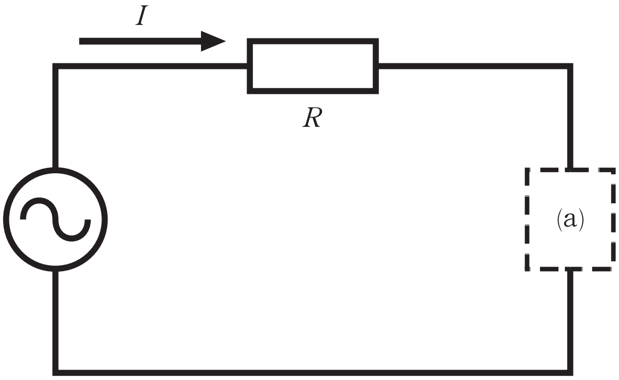

図 1

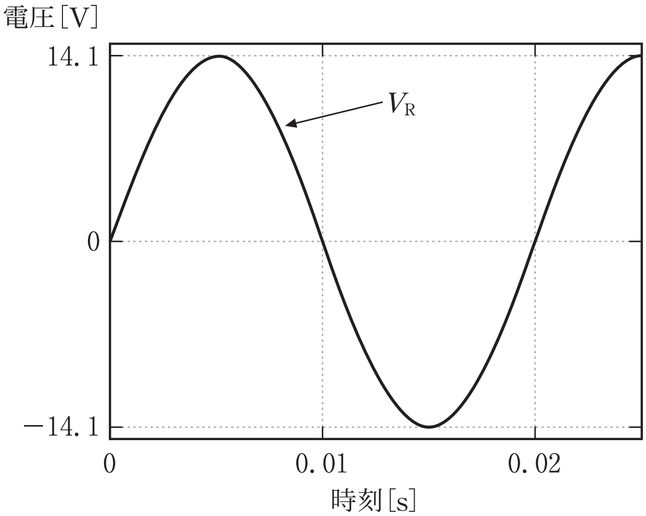

図 2