

物 理

医学部・工学部・応用生物科学部

問題冊子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は8ページからなる。解答用紙等については、医学部は解答用紙3枚・白紙1枚、その他の学部は解答用紙4枚である。乱丁、落丁、印刷不鮮明などの箇所があった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は、解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は、大問で4題ある。工学部・応用生物科学部の受験生は4題すべてに解答すること。
医学部の受験生は、問題

 に解答すること。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子および白紙は持ち帰ること。
8. 大問ごとに、満点に対する配点の比率を表示してある。

1 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

図のように、水面から高さ H (m) の点 S に自然長 L (m) のゴム糸の一方の端を固定し、他方の端に質量 m (kg) の小球を取り付けたところ、小球はゴム糸の長さが L_1 (m) になった位置で静止した。ただし、 $H > L_1$ を満たしているものとする。このゴム糸は自然長より x (m) だけ長くなったとき kx (N) の張力が生じ、弾性エネルギーが $\frac{1}{2}kx^2$ (J) だけ増加するという性質をもつ。ここで、 k (N/m) は定数である。また、ゴム糸の両端の距離が自然長を超えないときには、ゴム糸は小球の運動に影響を与えないものとする。ゴム糸の質量、小球の大きさ、および空気の抵抗は無視し、重力加速度の大きさを g (m/s²) とする。以下の問いでは、ゴム糸と小球からなる物理系を系 P と呼ぶことにする。

問 1 系 P が静止状態にあるときの、ゴム糸の長さ L_1 とゴム糸の張力 T_1 (N) を、 L 、 m 、 k 、および g の中から適当な記号を用いて表せ。

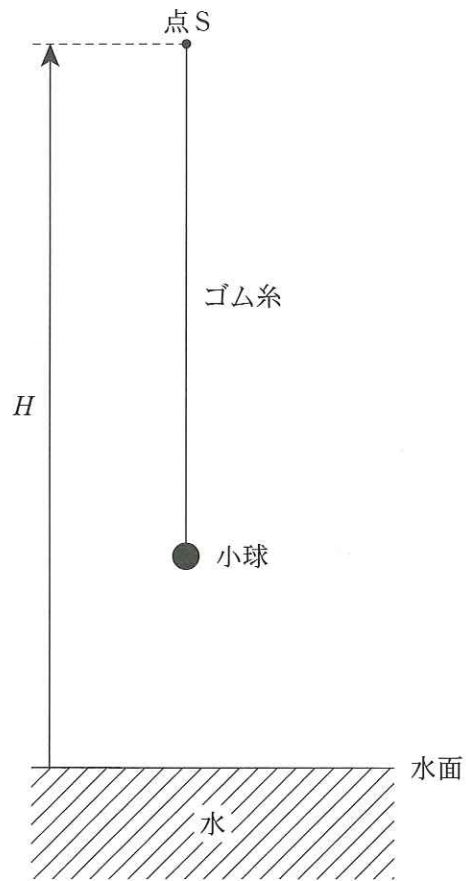
次に小球を点 S まで持ち上げ、静かにはなしたところ、小球は鉛直方向に運動した。

問 2 水面がないものと仮定して、この運動におけるゴム糸の長さの最大値 L_2 (m) を、 L 、 m 、 k 、および g の中から適当な記号を用いて表せ。

問 3 水面に衝突しない条件 $H > L_2$ が成り立っているとき、小球は周期運動を行った。この運動における小球の速さの最大値 v_2 (m/s) とゴム糸の張力の最大値 T_2 (N) を、 L 、 m 、 k 、および g の中から適当な記号を用いて表せ。

問 4 水面に衝突する条件 $H < L_2$ が成り立っているとき、小球は水面と非弾性的な衝突を 1 回以上行った後、ある周期運動になった。この周期運動において、小球の最も高い点の高さを h_3 (m) とすると、 $H \leq$ のとき $h_3 =$ となり、 $H >$ のとき $h_3 =$ となる。また、水面との衝突によって系 P が失った力学的エネルギーを W (J) とすると、 $W =$ となる。

から にあてはまる式を、 H 、 L 、 m 、 k 、および g の中から適当な記号を用いて表せ。



図

2 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

図1のように、水平な床の上に断面積 $S[\text{m}^2]$ のシリンダーとなめらかに動く質量 $M[\text{kg}]$ のピストンからなる容器が置かれている。また、シリンダー内には大きさが無視できる温度調節器がついており、気体の温度を自由に調節できるようになっている。

シリンダー内は物質量 $n[\text{mol}]$ の単原子分子の理想気体で満たされており、その体積は $V_1[\text{m}^3]$ 、圧力は $p_1[\text{Pa}]$ であった(状態1)。温度調節器で熱を加えたところ、シリンダー内の気体の体積は増加し、 $2V_1$ となった(状態2)。この状態から、温度調節器で気体の温度が変わらないよう制御しながら、体積が V_1 となるまでピストンをゆっくり押し下げたところ、圧力は $p_3[\text{Pa}]$ となった(状態3)。最後に、ピストンを固定し、気体の温度を調節して状態1に戻した。図2にはこの過程における気体の体積と圧力の変化を示した。

大気圧を $p_a[\text{Pa}]$ 、重力加速度の大きさを $g[\text{m/s}^2]$ 、気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ とし、シリンダー、ピストン、および温度調節器の熱容量と、気体分子への重力の効果は無視できるものとする。

問1 状態1における気体の圧力 p_1 および温度 $T_1[\text{K}]$ を、 S 、 M 、 n 、 V_1 、 p_a 、 g 、および R の中から適当な記号を用いてそれぞれ表せ。

問2 状態1から状態2への過程で気体が外部にした仕事 $W_{1\rightarrow 2}[\text{J}]$ を、 S 、 n 、 V_1 、 p_1 、 p_a 、 g 、および R の中から適当な記号を用いて表せ。

問3 状態1から状態2への過程で気体が得た熱量 $Q_{1\rightarrow 2}[\text{J}]$ を、 S 、 n 、 V_1 、 p_1 、 p_a 、 g 、および R の中から適当な記号を用いて表せ。

問4 状態3における気体の圧力 $p_3[\text{Pa}]$ を、 S 、 n 、 V_1 、 p_1 、 p_a 、 g 、および R の中から適当な記号を用いて表せ。

問5 状態3から状態1への過程で気体が得た熱量 $Q_{3\rightarrow 1}[\text{J}]$ を、 S 、 n 、 V_1 、 p_1 、 p_a 、 g 、および R の中から適当な記号を用いて表せ。

問6 状態2から温度調節器を作動させずにピストンを急激に押し下げて、気体の体積を V_1 にした場合の圧力 $p'_3[\text{Pa}]$ は、状態3の圧力 p_3 と比較するとどのような関係になるか。正しい大小関係を示す式を下から選択して番号で示せ。また、そのようになる理由を解答欄内に述べよ。

① $p'_3 > p_3$

② $p'_3 = p_3$

③ $p'_3 < p_3$

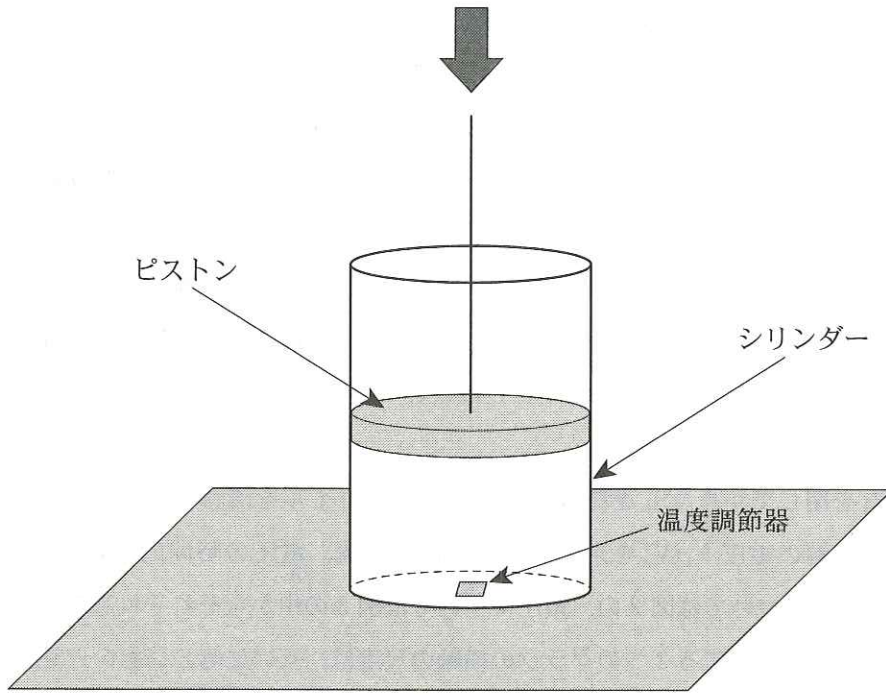


図 1

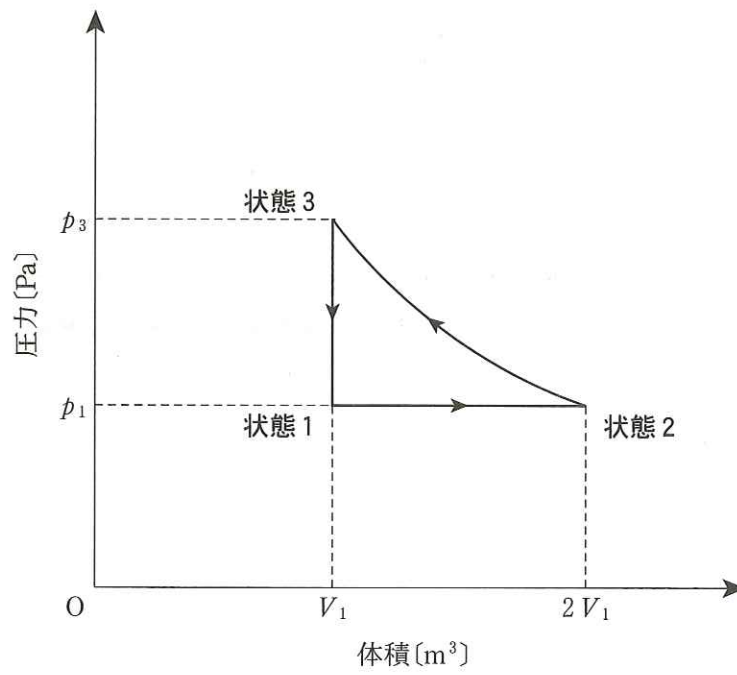


図 2

3 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

起電力 V_0 [V] の電池，電気抵抗 r [Ω]， R [Ω] の 2 個の抵抗，自己インダクタンス L [H] のコイル，電気容量 C [F] のコンデンサーをスイッチ S_1 ， S_2 ， S_3 を介して，図 1 のように接続した。スイッチを閉じて，コイル L の電流と電圧を調べた。実験は，すべてのスイッチが開かれ，コンデンサーを充電していない状態からはじめて，以下の問 1 から問 7 に述べる順に行った。

コイルを流れる電流については，図 1 に示した矢印の向きを正とし，またコイル両端の電圧については，図 1 に示した点 A を基準としたときの点 B の電位とする。

問 1 S_2 を閉じてから， S_1 を閉じた。その直後にコイルを流れる電流 I_1 [A] と，そのときのコイル両端の電圧 V_1 [V] を求めよ。その後の電流，電圧の時間的変化として適当なグラフを，電流については図 2 の，電圧については図 3 の中からそれぞれ選び，番号①～⑥で答えよ。なお，選択する 2 つのグラフの横軸の尺度は，互いに等しいものとせよ。

問 2 十分時間が経過すると，抵抗 r を流れる電流は安定した。その電流値 I_2 [A] を求めよ。

問 3 安定した後， S_1 を開いた。その直後にコイルを流れる電流 I_3 [A] と，そのときのコイル両端の電圧 V_3 [V] を求めよ。その後の電流，電圧の時間的変化として適当なグラフを，電流については図 2 の，電圧については図 3 の中からそれぞれ選び，番号①～⑥で答えよ。なお，選択する 2 つのグラフの横軸の尺度は，互いに等しいものとせよ。

問 4 S_1 を開いた後，十分時間が経過すると，抵抗 R を流れる電流は 0 A となった。この間に，抵抗 R で発生した熱量 J [J] を求めよ。答えは， I_3 を用いて表すこと。

問 5 その後， S_2 を開き， S_3 を閉じてから S_1 を閉じた。その直後にコイルを流れる電流 I_4 [A] と，そのときのコイル両端の電圧 V_4 [V] を求めよ。その後，コイルを流れる電流は増減をくり返しながらいずれ一定の値に近づいていった。電流，電圧の時間的変化として適当なグラフを，電流については図 2 の，電圧については図 3 の中からそれぞれ選び，番号①～⑥で答えよ。なお，選択する 2 つのグラフの横軸の尺度は，互いに等しいものとせよ。

問 6 十分時間が経過した後， S_1 を開いた。その直後にコイルを流れる電流 I_5 [A] と，そのときのコイル両端の電圧 V_5 [V] を求めよ。

問 7 その後，回路には振動電流が流れた。コンデンサーの電荷の最大値 Q_0 [C] を求めよ。答えは， I_5 を用いて表すこと。

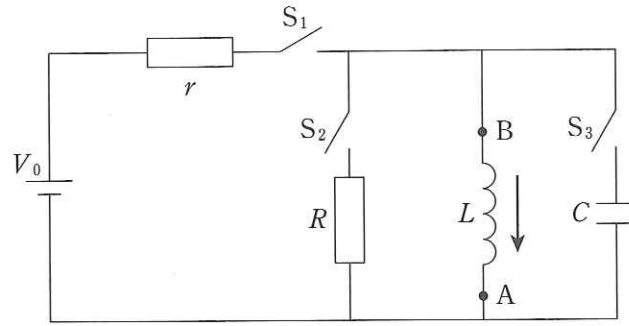


圖 1

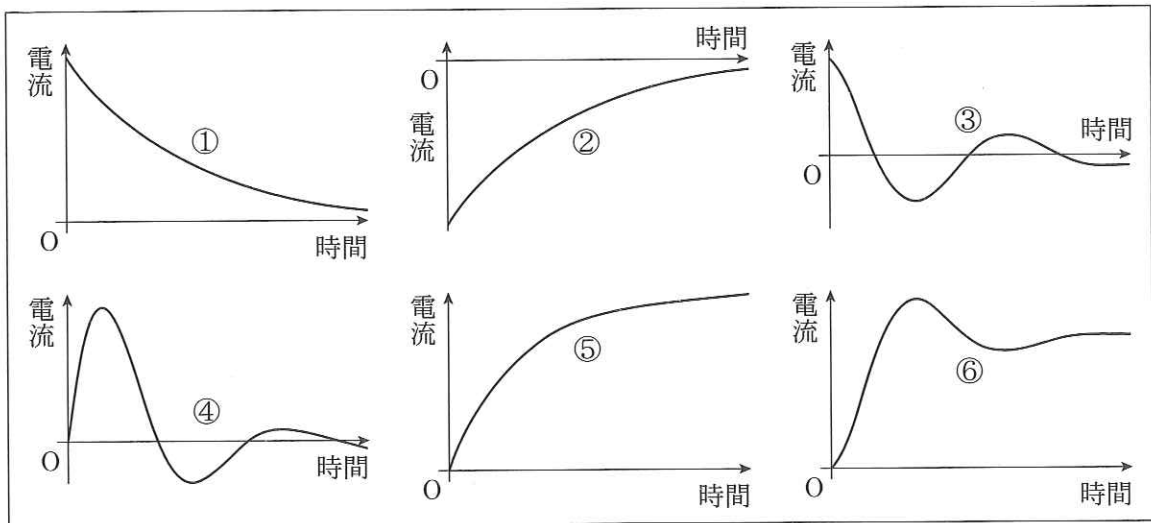


圖 2

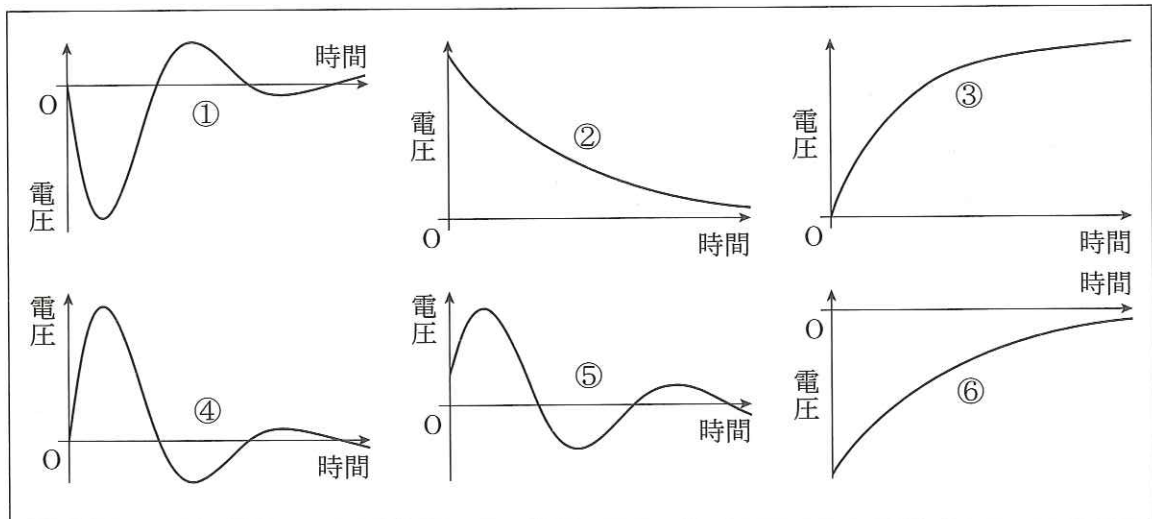


圖 3

4 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 工・応生： $\frac{1}{4}$)

図1のように、振動数 f [Hz]で振動するおんさの先端の位置A、およびA'にそれぞれ線密度 ρ_1, ρ_2 [kg/m]の弦 G_1, G_2 が固定されている。弦の他方には、滑車を通して同じ質量 m [kg]のおもりがつながれている。おんさと滑車の間の位置BおよびB'に置かれたこまにより、弦はABおよびA'B'間で振動する。ABおよびA'B'間の距離がともに l [m]のとき、おんさを振動させると弦 G_1, G_2 がおんさと共振して、それぞれ腹が n 個、 $n+1$ 個($n > 1$)の定常波(定在波)ができた。このとき、どちらの弦でも位置AおよびA'は振動の節となっていた。ここで、弦を伝わる波の速さ V [m/s]は、弦の線密度 ρ [kg/m]と張力 S [N]を用いて、 $V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$ で与えられる。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²]とし、弦にはたらく重力、および弦の質量と張力がおんさの振動に及ぼす影響は無視できるものとする。

問1 上記の観測結果より、弦 G_1 および G_2 を伝わる進行波の波長 λ_1, λ_2 [m]を、 l, n を用いて表せ。

問2 弦 G_1 および G_2 を伝わる進行波の速さ V_1, V_2 [m/s]を、 f, l, n を用いて表せ。

問3 弦 G_1 の線密度 ρ_1 は、弦 G_2 の線密度 ρ_2 の何倍か、 n を用いて表せ。

問4 弦 G_1 に関して、AB間の距離は変えず、おもりの質量を $m + \Delta m$ に変えて、おんさを振動させると腹が $n - 1$ 個の定常波ができた。質量の変化量 Δm を、 m, n を用いて表せ。

図2のように、振動数 f [Hz]のおんさPと振動数 f' [Hz]のおんさQがあり、おんさQが振動しながら、おんさPに向かって一定の速さ v_Q [m/s]で近づいている。このとき、おんさPが共鳴して振動した。ここで、音速を V_S [m/s]とする。

問5 おんさQの速さ v_Q を、 f, f', V_S を用いて表せ。

次に図3のように、同じ振動数 f [Hz]で振動しているおんさPとおんさRがあり、おんさPとRを結ぶ線分上に観測者がいる。

問6 おんさPと観測者が静止しているとき、おんさRを観測者に向かって一定の速さ v_R [m/s]で近づけたところ、うなりが聞こえた。観測者が聞くうなりの振動数を、 f, V_S, v_R を用いて表せ。

問 7 さらに、おんさ P をおんさ R とおなじ左方向に一定の速さ v_P (m/s) で観測者から遠ざけたとき、観測者が聞くうなりの振動数を、 f 、 V_S 、 v_R 、および v_P を用いて表せ。

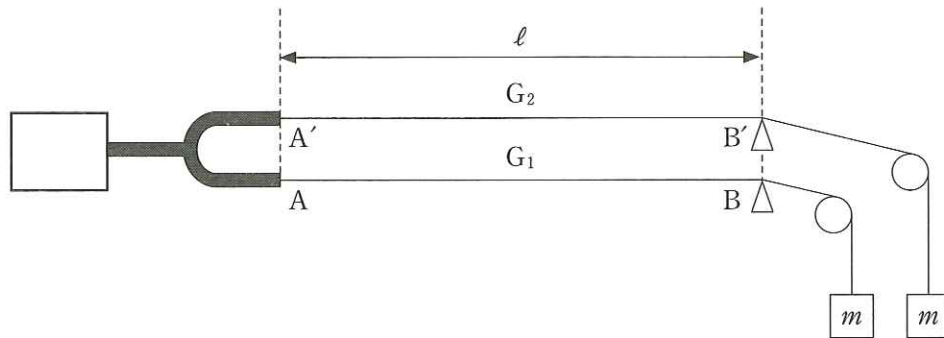


図 1

おんさ P



おんさ Q

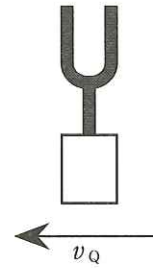


図 2

おんさ P



観測者



おんさ R



図 3