

# 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 ページで、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 

1	2	3
---	---	---

 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： $\frac{1}{4}$ )

図に示すように、一端が壁に固定されたばね定数  $k$  [N/m] のばねが床に置かれており、もう一方の端に質量  $m$  [kg] の小球がつながれている。床に平行にばねが伸びる方向を  $x$  軸の正の向きとして、ばねが自然長のときの小球の位置を  $x = 0$  とする。 $x < a$  [m] ( $a > 0$ ) では床面はなめらかだが、 $x \geq a$  では床面はあらく、そこでの静止摩擦係数を  $\mu$ 、動摩擦係数を  $\mu'$  とする。なめらかな床面を A 面、あらい床面を B 面とよぶ。ばねの質量と小球の空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

小球を原点から座標  $x = L$  [m] まで引っ張って手を離したとき、小球の運動は、 $L$  の値によってどのように変わるだろうか。

問 1 A 面内 ( $L < a$ ) で手を離すと小球は単振動をした。単振動の角振動数  $\omega$  [rad/s] を求めよ。

問 2 B 面まで引っ張って手を離したところ、小球は静止したままであった。このときの  $L$  の上限値  $L_0$  [m] を、 $k$ 、 $m$ 、 $\mu$ 、 $\mu'$ 、 $g$ 、 $a$  から必要なものを用いて表せ。

問 3  $L_0$  を超えて引っ張って手を離したところ、小球は A 面に到達する前に静止した。このときの  $L$  の上限値  $L_1$  [m] を、 $k$ 、 $m$ 、 $\mu$ 、 $\mu'$ 、 $g$ 、 $a$  から必要なものを用いて表せ。

さらに小球を、 $L_1$  を超えて  $L_2$  [m] にまで引っ張って手を離すと、小球は B 面から A 面へ運動し、再び B 面へと戻り、静止した。このときの小球の座標を  $x = b$  [m] とする。その後、小球は以下のいずれかの運動を行う。

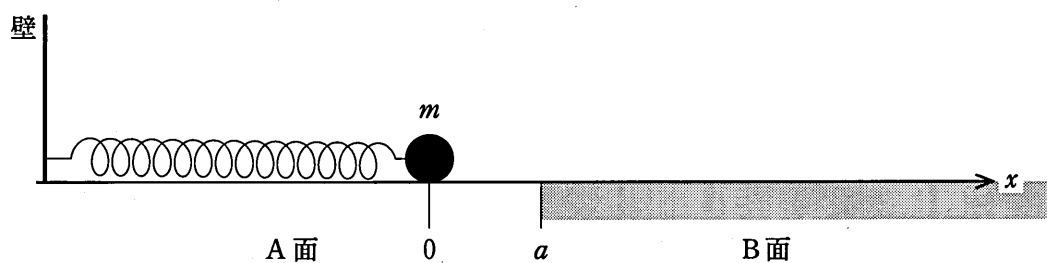
- ① そのまま静止し続ける。
- ② 再び動き出し、B 面で静止する。
- ③ 再び動き出し、B 面から A 面へ運動したのち、B 面へ戻る。

また、 $L_2$  を大きくとると、③の運動が繰り返し起こったが、小球が B 面で一瞬静止する座標が徐々に原点の方向に移動し、最終的に、<sup>(ア)</sup> 小球は座標  $x = c$  [m] で完全に静止した。

問 4 ①、②、③の運動になるための、それぞれの  $b$  の条件式を、 $a$ 、 $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_2$  から必要なものを用いて表せ。

問 5 下線部(ア)のようになる理由を述べよ。

問 6 小球から手を離してから、下線部(i)の状態になるまでに、摩擦力が小球におよぼした仕事の総和を求めよ。



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、抵抗値が $R(\Omega)$ ， $2R(\Omega)$ ， $3R(\Omega)$ の抵抗 $R_1$ ， $R_2$ ， $R_3$ ，電気容量が $C(F)$ ， $C(F)$ ， $2C(F)$ のコンデンサー $C_1$ ， $C_2$ ， $C_3$ ，スイッチ $S_1$ ， $S_2$ ， $S_3$ ， $S_4$ ，素子Dおよび内部抵抗が無視できる直流電源Eを用いて回路を作った。素子Dの両端AB間の電位差 $V(V)$ と流れる電流 $I(A)$ の関係を図2に示した。素子Dは、電圧を $0V$ から上げていくと、はじめは電流が流れないが、 $V_0(V)$ に達すると電流が流れはじめる。その電流と電圧の関係は直線的であり、電流はAからBの向きを正とする。はじめ、3つのコンデンサーには電荷が蓄えられていなかった。抵抗値や電気容量については $R$ ， $C$ を用いて答えよ。また必要ならば、図2の $V_0$ ， $V_D$ ， $I_D$ を用いてもよい。

はじめに、スイッチ $S_2$ ， $S_3$ ， $S_4$ は開けたままで、スイッチ $S_1$ だけを閉じる。

問1 電源Eの電圧を $0V$ から上げていく。電源電圧が $V_T(V)$ を超えると素子Dに電流が流れはじめた。この電圧 $V_T$ を求めよ。

問2 電源電圧を $V_T$ からさらに上げると、素子Dに流れる電流が図2の $I_D(A)$ になった。このときの電源電圧 $V_E(V)$ を求めよ。また、抵抗 $R_1$ に流れる電流 $I_1(A)$ を求めよ。

つづいて、スイッチ $S_1$ を開き、スイッチ $S_2$ を閉じる。スイッチ $S_3$ ， $S_4$ は開いたままとする。

問3 電源電圧を調整したところ、素子Dに流れる電流が前問の $I_D$ に等しくなった。このときの電源電圧 $V'_E(V)$ を求めよ。また、抵抗 $R_1$ に流れる電流 $I'_1(A)$ を求めよ。

さらに、スイッチ $S_3$ を閉じた。

問4 コンデンサー $C_1$ の充電が完了したとき、その両端の電位差 $V_C(V)$ ，電気量 $Q(C)$ と静電エネルギー $U_C(J)$ を求めよ。

最後に、スイッチ $S_3$ を開いてから、スイッチ $S_4$ を閉じると、コンデンサー $C_2$ と $C_3$ に電荷が蓄えられた。以下の問いの解答は、問4の電気量 $Q$ を用いて表せ。

問5 それぞれのコンデンサー $C_1$ ， $C_2$ ， $C_3$ に蓄えられている電気量 $Q_1(C)$ ， $Q_2(C)$ ， $Q_3(C)$ を求めよ。

問 6 スイッチ  $S_4$  を閉じる前に比べて閉じた後のコンデンサー  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  の全静電エネルギーはどれだけ変化したか。

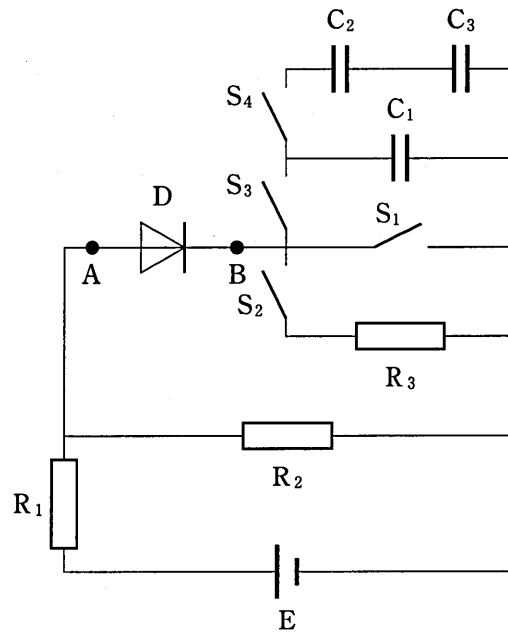


図 1

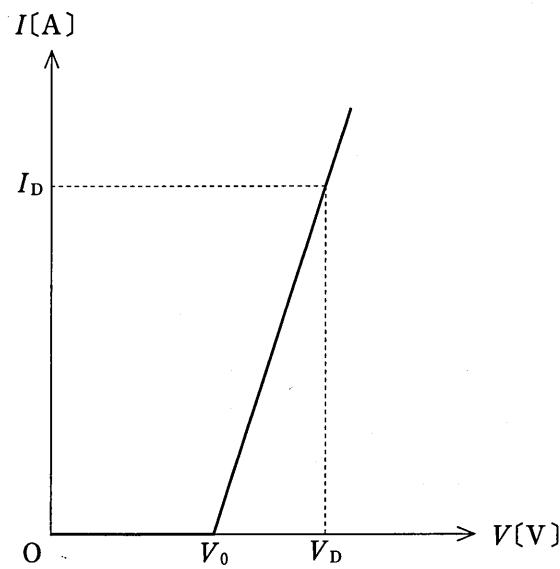


図 2

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： $\frac{1}{4}$ )

図1のように、断熱材でつくられた円筒容器内に、なめらかに動く2つのピストンで仕切られた空間Aおよび空間Bがあり、それぞれ同じモル数の単原子分子理想気体が封入されている。断熱材でつくられた2つのピストンの質量と断面積はともに  $M[\text{kg}]$  および  $S[\text{m}^2]$  とする。2つのピストンの下側には気体の加熱と冷却を行う温度調節装置がついており、その質量と体積は無視できるものとする。また、重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$ 、大気圧を  $p_0[\text{Pa}]$  とする。なお、円筒容器内の気体にはたらく重力は無視できるものとする。

はじめに、空間Aでは圧力  $p_1[\text{Pa}]$ 、体積  $V_1[\text{m}^3]$ 、温度  $T_1[\text{K}]$  であり、空間Bでは圧力  $p_2[\text{Pa}]$ 、体積  $V_2[\text{m}^3]$ 、温度  $T_1[\text{K}]$  であった。

問1  $p_1$  と  $p_2$  のそれぞれを  $p_0, M, S, g$  を用いて表せ。

問2  $V_1$  は  $V_2$  の何倍か。  $p_0, M, S, g$  を用いて表せ。

つぎに、図2のように、上側のピストン上に質量  $m[\text{kg}]$  のおもりをのせ、温度調節装置を用いて2つの空間の温度を  $T_1$  にした。このとき、空間Aにおいては圧力  $p_3[\text{Pa}]$ 、体積  $\frac{2}{3}V_1$  となり、空間Bでは圧力  $p_4[\text{Pa}]$ 、体積  $V_4[\text{m}^3]$  となった。

問3  $p_3$  と  $m$  のそれぞれを  $p_0, M, S, g$  を用いて表せ。

問4  $p_4$  を  $p_0, M, S, g$  を用いて表せ。

最後に、おもりをのせたまま、上下両方のピストンについている温度調節装置により、空間Aおよび空間Bの気体にそれぞれ熱量  $Q_1[\text{J}]$ 、 $Q_2[\text{J}]$  を与えた。その結果、図3のように空間Aおよび空間Bの体積はともに  $V_1$  となり、圧力はそれぞれ  $p_5[\text{Pa}]$ 、 $p_6[\text{Pa}]$ 、温度はそれぞれ  $T_5[\text{K}]$ 、 $T_6[\text{K}]$  となった。

問5  $T_5$  を  $T_1$  を用いて、また、 $T_6$  を  $p_0, M, S, g, T_1$  を用いて表せ。

問6  $Q_2$  は  $Q_1$  の何倍か。  $p_0, M, S, g$  を用いて表せ。

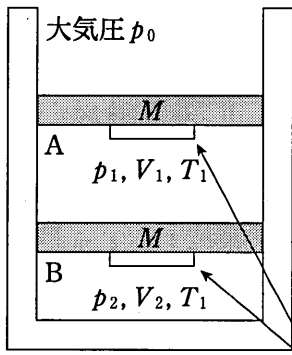


图 1

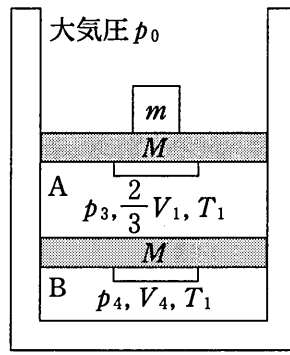


图 2

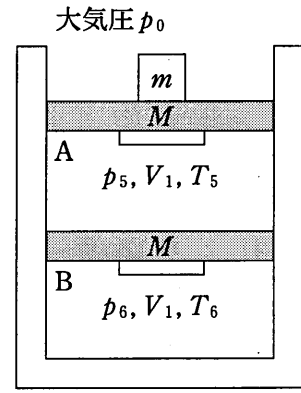


图 3

温度調節装置

- 4 2つのおんさ A, B を用いて, 3つの実験を行った。以下の問いに答えよ。(配点比率 工・  
応生:  $\frac{1}{4}$ )

実験①

図1のように, 振動数  $f_A$  [Hz] のおんさ A とピストンのついた開管を配置し, おんさ A を鳴らしながらピストンを管の左端から右端までゆっくり移動させると, 4箇所共鳴することがわかった。最初に共鳴したときのピストンの位置と, 4回目に共鳴したときのピストンの位置との間隔は  $L$  [m] であった。

問 1 おんさ A が発する音の波長  $\lambda$  [m] を求めよ。

問 2 測定時の空気中での音速  $V$  [m/s] を  $L, f_A$  を用いて表せ。

実験②

実験①で4回目に共鳴したときのピストンの位置をそのまま動かさずに, おんさ A をおんさ B に交換して鳴らしたところ, 共鳴は起こらなかった。次に, この実験を行っている部屋の気温をゆっくり上げながらおんさ B を鳴らし続けていると, 気温が  $10^\circ\text{C}$  上がったところではじめて共鳴が起こった。このときの気温を保って, 図2のようにおんさ B を鳴らしながら, 今度は逆方向にピストンを左端までゆっくり移動させていくと, 共鳴する箇所が全部で4つあることがわかった。ただし, おんさの振動は気温の影響を受けないものとする。また, 振動数に関係なく, 気温が  $1^\circ\text{C}$  上昇すると空気中の音速は  $0.6\text{ m/s}$  大きくなるものとする。

問 3 おんさ B の振動数  $f_B$  [Hz] を  $L, f_A$  を用いて表せ。

問 4 おんさ A の横におんさ B を置いて, 2つのおんさを同時に鳴らすとうなりが聞こえた。その周期  $T$  [s] を  $L$  を用いて表せ。

実験③

おんさ A の一端を弦に接続し, その弦の張力を調節できるような装置(図3)を作った。おんさ A から調節ねじまでの距離は  $L_s$  [m] である。おんさ A を鳴らしながら弦の張力を調節し, 弦が共振したところで張力調節ねじを固定した。共振しているようすを撮影したところ, 腹のある波の振動が確認できた。また, このときおんさ A と弦の接合部は振動の節になっているようすが確認できた。



問 5 下線部のような波を何と呼ぶか。

問 6 上記の波の腹は 2 つであった。そのとき振動が弦を伝わる速さ  $V_s$  (m/s) を  $f_A$ ,  $L_s$  を用いて表せ。ただし、弦の質量と張力がおんさ A の振動に及ぼす影響は無視できるものとする。

問 7 上記の状態の弦の基本振動数  $f_s$  (Hz) を求めよ。

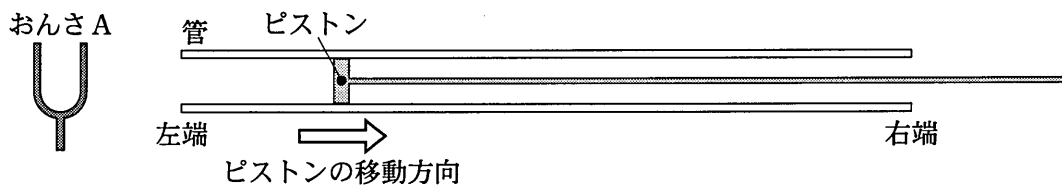


図 1

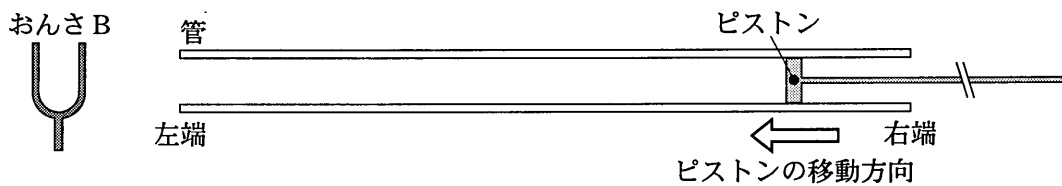


図 2

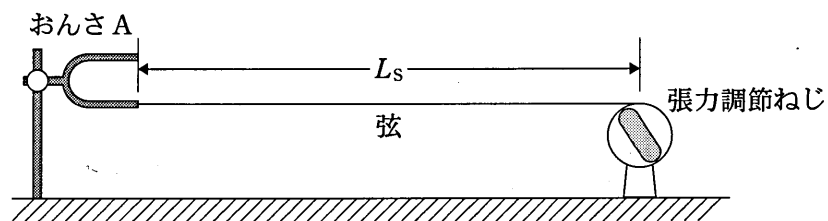


図 3