

# 物 理

教育学部・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。解答用紙については、医学部は解答用紙3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題である。教育学部・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： $\frac{1}{3}$ ，教・工・応生： $\frac{1}{4}$ )

図のように、ばねの上端を天井に固定して、その下端に質量  $m$  [kg] のおもりを静かにつるしたところ、おもりはつり合って静止した。ばねの質量は無視できるものとする。ばね定数は  $k$  [N/m] である。また、ばねのみを鉛直につるしたときの下端を、重力の位置エネルギーの基準面とする。一方、ばねの左側の水平な台の上に、なめらかなレールを設置した。レールの右端は基準面上にあり、そこには質量  $2M$  [kg] の小球  $Q$  を置いた。

おもりを基準面の位置まで鉛直に戻した後に静かにはなしたところ、おもりは一定の周期で単振動を始めた。おもりの大きさと運動時の空気抵抗は無視できるものとする。続いて、基準面からの高さが  $h$  [m] のレール上に、質量  $M$  [kg] の小球  $P$  を静かに置いたところ、小球  $P$  がレールに沿って転がることなくすべり落ち始めた。そして、小球  $P$  は小球  $Q$  に水平に衝突した。小球  $Q$  は、衝突によって運動を開始してレールを飛び出し、おもりに単振動の最下点の位置で衝突した。小球  $P$  および小球  $Q$  の大きさと運動時の空気抵抗は無視できるものとする。また、小球  $P$  と小球  $Q$  との間のはね返り係数は  $e$  ( $0 < e < 1$ ) である。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

問 1 単振動しているおもりの最下点の、基準面からの距離  $y_L$  [m] を  $k$ 、 $m$ 、 $g$  を用いて表せ。

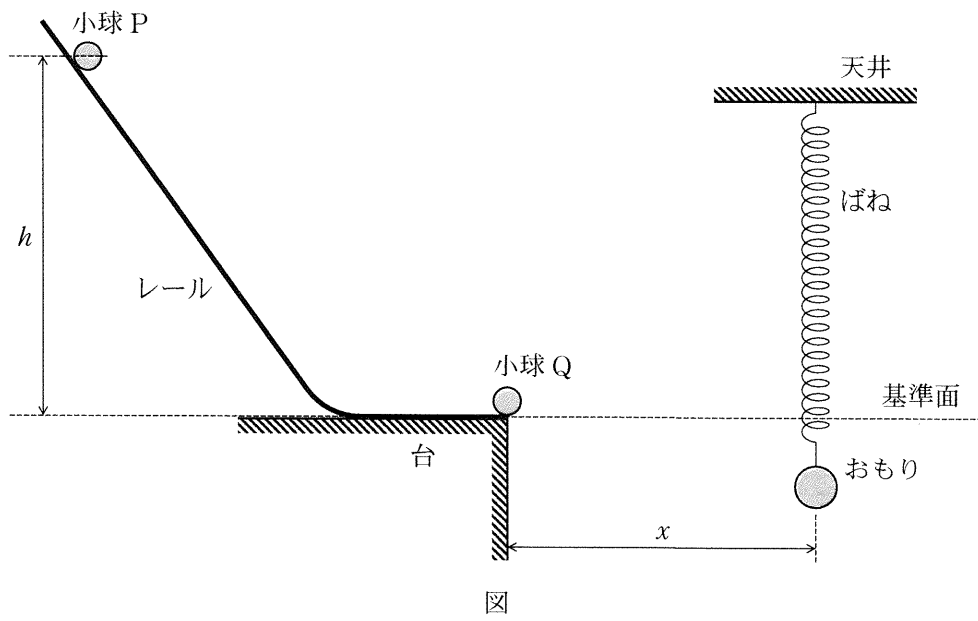
問 2 小球  $Q$  に衝突する直前の小球  $P$  の速さ  $v_P$  [m/s] を  $g$ 、 $h$  を用いて表せ。

問 3 小球  $Q$  がレールを飛び出すときの速さ  $v_Q$  [m/s] を  $e$ 、 $v_P$  を用いて表せ。

問 4 小球  $Q$  がレールを飛び出してからおもりに衝突するまでに要する時間  $\Delta t$  [s] を  $k$ 、 $m$  を用いて表せ。

問 5 小球  $Q$  がレールを飛び出すときの位置とおもりの位置との間の水平距離  $x$  [m] を  $k$ 、 $m$ 、 $e$ 、 $g$ 、 $h$  を用いて表せ。

問 6 小球  $Q$  がレールを飛び出した瞬間、おもりがどの位置にあるか求めたい。このときのおもりの基準面からの距離を  $y_Q$  [m] とおき、 $k$ 、 $m$ 、 $g$  を用いて表せ。



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

以下の問いでは、自己インダクタンス及び相互インダクタンスの影響は無視できるものとする。

太さが一様で単位長さあたりの抵抗値が  $r[\Omega/\text{m}]$  の針金を用いて、半径  $a_0[\text{m}]$  の 1 回巻きの円形コイルを作った。これを、図 1 に示すように、時間変化する一様な磁場に直交するように置いた。磁場の向きは紙面に垂直で裏から表に向いており、その磁束密度の大きさ  $B[\text{T}]$  は時間  $t[\text{s}]$  と共に一定の割合で増加し、

$$B = B_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

と、表される。ここで、 $B_0[\text{T}]$  と  $\alpha[1/\text{s}]$  は、 $t$  に依存しない正の定数である。

円形コイル内の磁場が時間変化するとき、コイルには電圧が生じる。この現象を ① といひ、生じた電圧を ② という。その向きは、③ の向きであり、コイルには ④ の向きに電流が流れる。

問 1 空欄 ①，② に適する語句を、また、③，④ の向きについては、図 1 に示すア、イのどちらか適する方を答えよ。

問 2 コイルに流れる電流の大きさ  $I_0[\text{A}]$  を求めよ。答えは、 $r$ ， $a_0$ ， $B_0$ ， $\alpha$  の中から必要なものを用いて表せ。

次に、同じ性質をもつ針金を用いて輪を作り、それをひねって、図 2 に示すような 8 の字のループにした。時間変化は式(1)と同じであるが、向きが逆、すなわち紙面の表から裏に向かう磁場内にそのループを置くとき、生じる電圧・電流について考える。図 2 の左と右の部分はそれぞれ半径  $a_1[\text{m}]$ ， $a_2[\text{m}]$  の円形であり、 $a_1 < a_2$  とする。針金の交差しているところでは、十分な絶縁がなされており、重なっている針金の間には電流の流れはない。ループに生じる電圧を考えるときは、左と右が別々の 1 回巻きの円形コイルとみなしてよい。

問 3 左と右の部分に生じる起電力の大きさ  $V_1[\text{V}]$ ， $V_2[\text{V}]$  を求めよ。答えは、 $r$ ， $B_0$ ， $\alpha$ ， $a_1$ ， $a_2$  の中から必要なものを用いて表せ。

問 4 左と右の部分それぞれの抵抗値  $R_1[\Omega]$ ， $R_2[\Omega]$  を求めよ。さらに、ループを流れる電流  $I[\text{A}]$  を、図 2 の矢印で示す向きを正として、キルヒホッフの法則を用いてその値を求めよ。答えは、 $r$ ， $B_0$ ， $\alpha$ ， $a_1$ ， $a_2$  の中から必要なものを用いて表せ。また、電流の向きも答えよ。

問 5 図 2 の磁場がループに供給している電力  $P$  [W] を求めよ。答えは,  $r, B_0, \alpha, a_1, a_2$  の中から必要なものを用いて表せ。

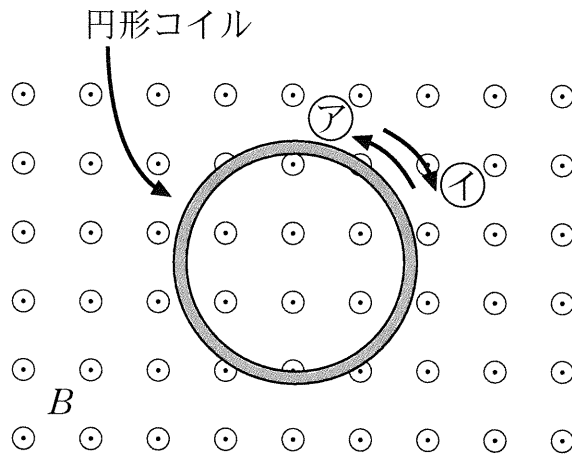


図 1

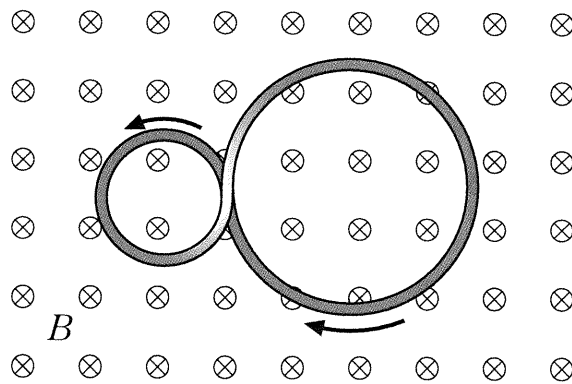


図 2

**3**

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

図のように、空気(屈折率 1)中に置かれた屈折率  $n_2$  の平坦で透明な物質の上に、屈折率  $n_1$  で一様な厚さ  $d$ [m]の薄膜が広がっている。 $n_1 > n_2 > 1$  であり、 $n_1, n_2$  は光の波長によらず一定であるとする。波長  $\lambda$ [m]の単色光が薄膜に入射角  $\theta_1$  ( $0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ )で入射したところ、経路 1 の光は、境界面 1 の点 A から屈折角  $\theta_2$  ( $0^\circ < \theta_2 < 90^\circ$ )で薄膜内に入り、境界面 2 の点 B で反射した。経路 1 の光は、境界面 1 の点 C において、経路 2 の光と干渉した。なお、点 D における経路 2 の光の位相は、点 A における経路 1 の光の位相と等しい。

問 1  $\sin \theta_2$  を、 $n_1, \theta_1$  を用いて表せ。

問 2 経路 1 の光の光路長 ABC を  $L_1$ [m]とする。 $L_1$  を、 $d, n_1, \theta_2$  の中から必要なものを用いて表せ。

問 3 経路 2 の光の光路長 DC を  $L_2$ [m]とする。 $L_2$  を、 $d, n_1, n_2, \theta_2$  の中から必要なものを用いて表せ。

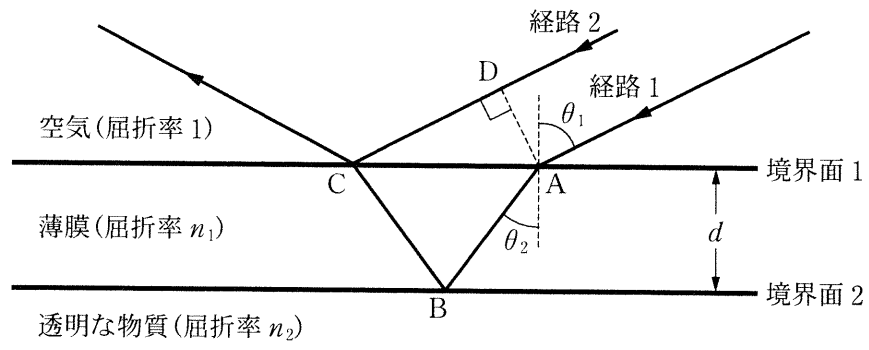
問 4 経路 1 と経路 2 の光が干渉により強め合うための条件式を、 $d, n_1, n_2, \theta_2, \lambda$ 、整数  $m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ )の中から必要なものを用いて表せ。

次に、 $\theta_1 = 0$  にして、ある範囲で波長を少し変化させ、光の干渉を観察すると、波長  $\lambda_1$ [m] のとき最も明るくなった。このとき問 4 の  $m$  の値を  $M$  とする。 $\lambda_1$  の光は、 $\theta_1$  を  $0^\circ$  から少しずつ大きくすると、一度暗くなった後、 $\theta_1 = \alpha$  [ $^\circ$ ] のとき、再び最も明るくなった。さらに  $\theta_1$  を大きくすると、明暗を繰り返した。

問 5  $\theta_1 = \alpha$  のとき明るくなる条件を、 $d, n_1, \lambda_1, M, \alpha$  を用いて表せ。

問 6 問 5 と  $\theta_1 = 0$  で最も明るくなった観察より、 $\sin \alpha$  を、 $n_1, M$  を用いて表せ。





図

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

図のように、容積  $V[\text{m}^3]$  の容器 A、容積  $3V$  の容器 B および容積  $2V$  の容器 C があり、容器 A と容器 B を、コック a がついている細管で連結し、容器 B と容器 C を、コック b がついている細管で連結する。容器 A はヒーターで温度が調節できる。すべての容器と細管には断熱性があり、閉じたコックを通じて熱が伝わることはない。ヒーターの体積と細管の体積は無視できるものとし、容器の熱膨張も無視できるものとする。

以下では、気体はすべて単原子分子理想気体である。はじめは 3 つの容器は真空中で、2 つのコックは閉じている。このとき容器 A に、物質質量  $n[\text{mol}]$  の気体を封入したところ、気圧は  $p[\text{Pa}]$  であった。また、容器 B に、物質質量  $4n$  の気体を封入したところ、気圧は  $3p$  であった。なお、気体定数を  $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$  とする。

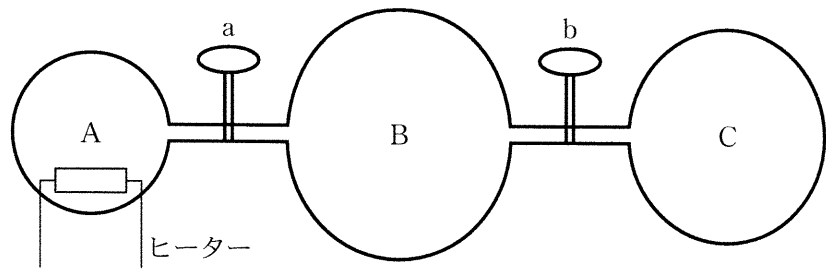
問 1 容器 A の温度  $T_1[\text{K}]$  を、 $p$ 、 $V$ 、 $n$ 、 $R$  を用いて表せ。

問 2 コック a を開くと、容器 A と容器 B の状態が一様になった(状態 1)。このときの温度  $T_2[\text{K}]$  および気圧  $p_2[\text{Pa}]$  を、それぞれ  $T_1$  および  $p$  を用いて表せ。

問 3 状態 1 に対して、コック a を閉じ、容器 A の温度をヒーターで  $\frac{4}{5}T_1$  だけ上昇させた(状態 2)。このときの容器 A の気体の物質質量を答えよ。また、状態 2 での容器 A の気体の内部エネルギーは、状態 1 に比べ何倍になったか答えよ。

問 4 状態 2 に対して、コック b を閉じたまま容器 C に温度  $T_1$  の気体を封入したところ、気圧は  $\frac{5}{2}p$  であった(状態 3)。このときの容器 C の気体の物質質量は、容器 A の気体の物質質量の何倍であるか答えよ。

問 5 状態 3 に対して、コックを 2 つとも開くと、3 つの容器全体の状態が一様になった。このとき、容器全体の気体の内部エネルギーの総和を、 $n$ 、 $R$ 、 $T_1$  を用いて表せ。また、容器全体の温度は  $T_1$  に比べ何倍であるか答えよ。



図









