

**物理基礎・物理 (3 問)**

[ I ] 図1のように、水平な床面上の点Oから、水平と角 $\theta$ をなす向きに速さ $v_0$ で質量 $m$ の小球1を投げ上げ、床面から高さ $h$ の点Aの位置に静止している質量 $M$ の小球2に衝突させる。長さ $L$ の軽い糸の一端につけられた小球2は、糸の他端を床面から高さ $h+L$ の点Qに固定されつり下げられている。点Aを通る鉛直線と床面の交点をPとしたとき、点Oと点Pの距離は $d$ であった。小球1は衝突の直前で高さ $h$ に達し、そのときの速度は水平右向きであった。小球1と小球2は紙面内のみを運動するものとする。重力加速度の大きさを $g$ とし、空気抵抗は無視できるものとして、以下の問い合わせに答えよ。

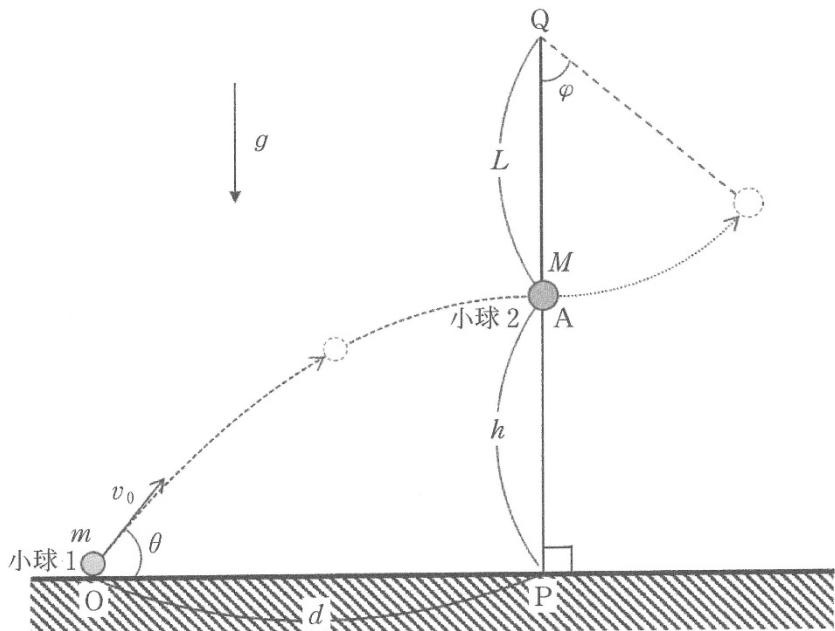


図1

問 1 小球 1 について、正接  $\tan \theta$  と衝突直前の速さ  $v_1$  を、 $d, h, g, m$  のうち必要なものを用いて表せ。また導き方も示せ。

問 2 小球 1 と小球 2 は反発係数  $e (e > 0)$  で衝突し、衝突直後の二つの小球の速度はいずれも水平成分のみであった。衝突直後における小球 1 の速度の水平成分  $v$  と、小球 2 の速度の水平成分  $V$  を、 $v_1, m, M, e$  を用いて表せ。ただし水平右向きを正とする。また導き方も示せ。

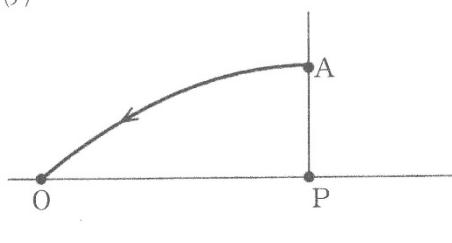
問 3 問 2 の衝突の後、小球 1 はある軌跡を描いて床面に達した。以下の条件(1)および(2)の場合について、衝突してから最初に床面に達するまでの小球 1 の軌跡として適切なものを、解答群の選択肢からそれぞれ一つ選び、その記号を解答欄に記入せよ。

$$(1) \quad e = 1, \quad M = 3m, \quad (2) \quad e = \frac{1}{3}, \quad M = m$$

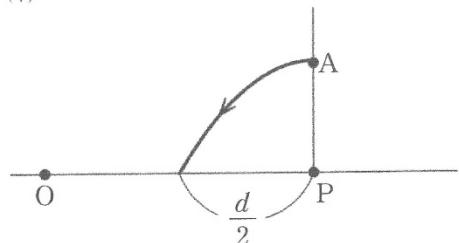
問 4 問 2 の衝突の後、糸がたるむことなく小球 2 は左右に振動した。振れ角  $\varphi$  における糸の張力の大きさ  $T$  を、 $\varphi, L, M, g, V$  のうち必要なものを用いて表せ。また導き方も示せ。

解答群

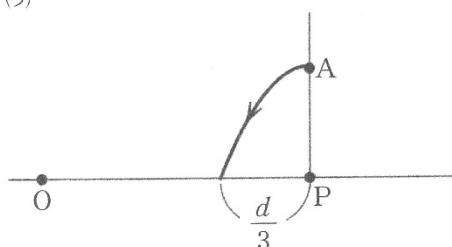
(J)



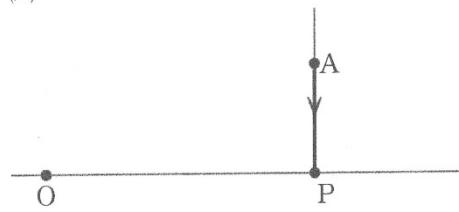
(I)



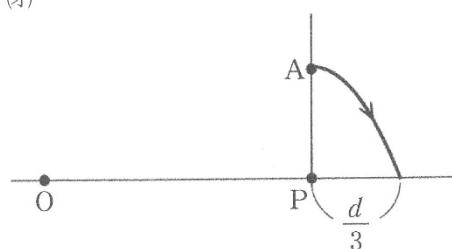
(II)



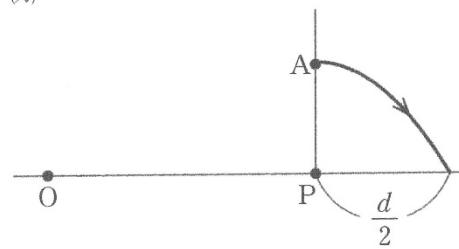
(III)



(IV)



(V)



このページは白紙です。

[II] 問 1 図1のように、静止した壁に沿って $y$ 軸を、壁に対して垂直に $x$ 軸をとる。

壁には二つの小さな開口部 $S_1$ と $S_2$ がある。これら開口部の間隔を $2d$ とし、その中点を原点 $O$ とする。 $x$ 軸上の $x < 0$ の位置に、一定の振動数の音波を発生させる音源Aをおく。音源Aは壁から十分離れており、 $x$ 軸上を移動できるものとする。また、大気は静止しており、二つの開口部において音波は平面波とみなせ、壁は十分に広いものとする。壁から十分離れた $xy$ 平面上の座標 $(L, b)$ に測定器Bをおき、音の大きさを測定する( $L > 0, b > 0$ とする)。次の文章中の空欄①～⑧に入る適切な語句や式を解答用紙の解答欄に記入せよ。ただし、空欄⑤については選択肢から語句を選べ。

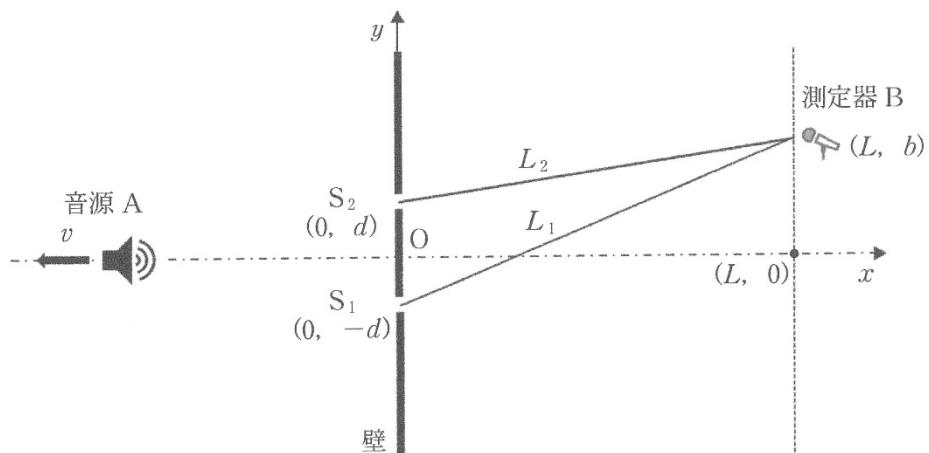


図 1

はじめに音源 A は静止しており、そのときの音波の波長は  $\lambda$  である。測定器 B を  $y$  軸に平行な直線  $x = L$  の上のいくつかの位置で静止させて音の大きさを測定すると、 $y$  軸方向の位置に依存して周期的に強弱を繰り返す様子が観測された。音波が強め合うのは、 $S_1$  から測定器 B までの距離  $L_1$  と  $S_2$  から測定器 B までの距離  $L_2$  の差(経路差)  $L_1 - L_2$  と、音波の波長  $\lambda$  の関係が、整数  $m$  ( $m = 1, 2, \dots$ ) を用いて、 $L_1 - L_2 = \boxed{①}$  と表されるときである。距離  $L_1$  は、 $L_1 = \sqrt{L^2 + (b+d)^2} \doteq L \left[ 1 + \frac{(b+d)^2}{2L^2} \right]$  と表され( $b$  や  $d$  は  $L$  に比べてきわめて小さいと考えて、 $|a| \ll 1$  のときに成り立つ近似式  $(1+a)^n \doteq 1+na$  を用いた)，同様に距離  $L_2$  は、 $L_2 \doteq \boxed{②}$  と近似できるので、経路差  $L_1 - L_2$  は  $\boxed{③}$  となる。したがって、音波が強め合う測定器 B の座標は、 $(L, \boxed{④})$  となる。

次に、同じ音源 A が、 $x$  軸の負の向きに音速より十分に小さい速さ  $v$  で動いている場合を考える。このとき、ドップラー効果のため、開口部を通過する音波の振動数は  $\boxed{⑤} \text{ 大きくなる・小さくなる・変わらない}$ 。波の振動数と波長の関係から、開口部を通過する音波の波長  $\lambda'$  は、音速  $V$ 、および、 $v, \lambda$  を用いて、 $\lambda' = \boxed{⑥}$  と表される。これにより、音波が強め合う測定器 B の座標は、 $(L, \boxed{⑦})$  となる。ここで、 $m = 1$  のとき、音波が強め合う点の  $y$  座標が、音源が静止しているときに比べて  $\Delta b$ だけ変化したとすると、音源の速さ  $v$  は、 $\Delta b, d, \lambda, L, V$  を用いて、 $v = \boxed{⑧}$  と表される。

問 2 図 2 のような、 静電容量  $C$  の二つのコンデンサー、 抵抗値  $R$ ,  $r$ ,  $2r$  の三つの抵抗、 起電力  $E$  の直流電源、 およびスイッチ  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  からなる回路を考える。全てのスイッチが開いてコンデンサーに電荷が蓄えられていない状態を初期状態とする。この回路において、  $R$  は  $r$  に比べ十分大きく、 直流電源の内部抵抗は無視できるものとする。次の文章中の空欄 A ~ F に入るグラフや式を指す記号として適切なものを解答群の選択肢から選び、 解答用紙の解答欄に記入せよ。

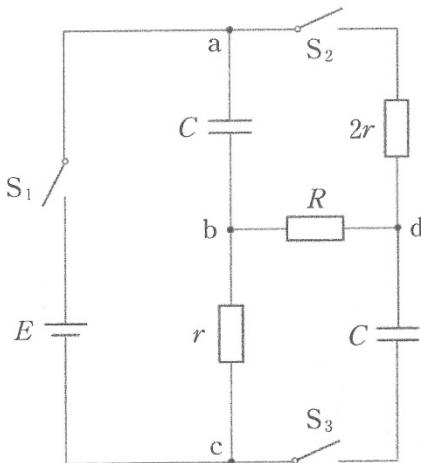


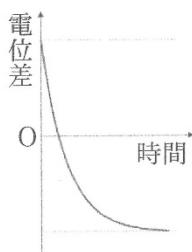
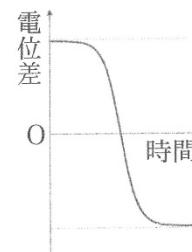
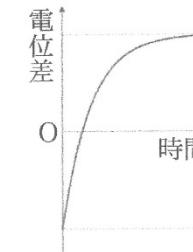
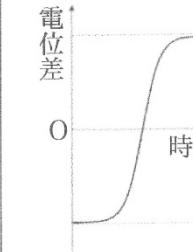
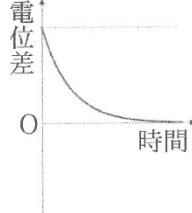
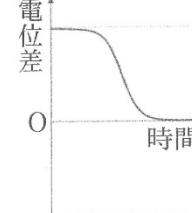
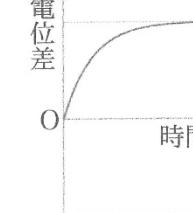
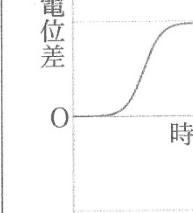
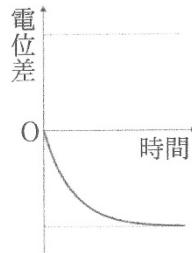
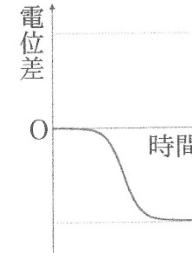
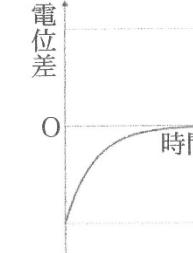
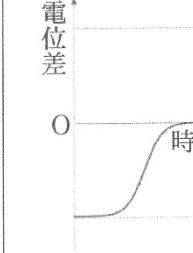
図 2

初期状態からスイッチ  $S_1$  を閉じると、 接点 b の電位が変化し始めた。接点 a に対する接点 b の電位が時間変化する様子を測定すると、 そのグラフは A のようになった(スイッチ  $S_1$  を閉じた時刻を  $t = 0$  とする)。スイッチ  $S_1$  を閉じてから十分な時間が経過するまでに、 電源のした仕事  $P$ 、 コンデンサーに蓄積された静電エネルギー  $U$ 、 抵抗で発生したジュール熱  $W$  は、 それぞれ、  $P = \boxed{B}$  ,  $U = \boxed{C}$  ,  $W = \boxed{D}$  と表せる。

次に、 コンデンサーを放電させて回路を初期状態に戻し、 スイッチ  $S_2$ ,  $S_3$  を閉じてからスイッチ  $S_1$  を閉じたところ、 接点 b, d の電位が時間とともに変化し始めた。接点 d に対する接点 b の電位が時間変化する様子を測定すると、

そのグラフは E のようになった(スイッチ  $S_1$  を閉じた時刻を  $t = 0$  とする)。その後、十分な時間が経過したとき、コンデンサーの極板間の電位差の大きさ  $|V_{ab}|$  と  $|V_{cd}|$  を比較すると F であった。ここで、 $V_{ab}$  と  $V_{cd}$  はそれぞれ接点 a, b 間、接点 c, d 間の電位差を表す。

解答群

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
			
(オ)	(カ)	(ガ)	(カ)
			
(ケ)	(コ)	(サ)	(シ)
			
(ス) $\frac{1}{2}CE^2$	(セ) $CE^2$	(ソ) $2CE^2$	(タ) $\frac{1}{2}\frac{E^2}{r}$
(チ) $\frac{E^2}{r}$	(ツ) $2\frac{E^2}{r}$	(テ) $CE^2 + \frac{E^2}{r}$	(ト) $\frac{1}{2}CE^2 + \frac{1}{2}\frac{E^2}{r}$
(ハ) $2CE^2 + 2\frac{E^2}{r}$	(ニ) $ V_{ab}  <  V_{cd} $	(ヌ) $ V_{ab}  >  V_{cd} $	(ズ) $ V_{ab}  =  V_{cd} $

このページは白紙です。

[III] 図1のように、温度  $T_0$ 、物質量  $n$ [mol] の気体が密封された体積  $V_0$  の球体、連結部、質量  $M$  のゴンドラからなる気球を考える。大気の圧力は  $P_0$ 、温度は  $T_0$  であり、球体内部の気体と外部の大気は同じ種類の理想気体とみなすことができる。球体は自由に伸縮する薄い断熱材でできており、球体内外での圧力は常に等しくなるものとする。これら気体の物質量 1 molあたりの質量を  $m$  とし、気体定数を  $R$  とすると、温度  $T$  のときの物質量 1 molあたりの内部エネルギーは  $U = \frac{5}{2}RT$  である。球体内部にはヒーターが設置されており、球体内部の気体を均一に加熱することができるものとする。球体を形づくっている断熱材、球体内部のヒーター、連結部の質量と体積は無視でき、ゴンドラの体積は無視できるものとする。なお、重力加速度の大きさを  $g$  とし、この気球の存在する範囲内において大気の密度は変わらないものとして、以下の問いかに答えよ。

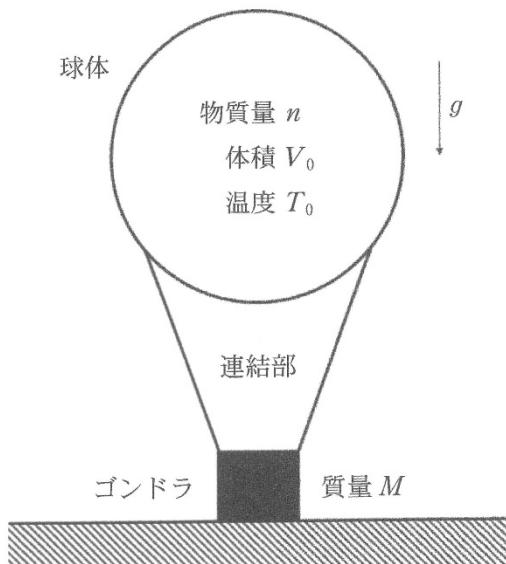


図1

問 1 大気の密度(単位体積あたりの質量) $\rho$  を,  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $R$ ,  $m$  を用いて表せ。

問 2 球体を密閉したまま球体内部の気体を加熱したところ, 温度が  $T_1$ , 球体の体積が  $V_1$  となった。

- (1) 球体の体積  $V_1$  を,  $V_0$ ,  $T_0$ ,  $T_1$  を用いて表せ。
- (2) 球体内部の温度が  $T_0$  から  $T_1$  になる過程について, 以下の量を,  $n$ ,  $R$ ,  $T_0$ ,  $T_1$  を用いて表せ。
  - a. 球体内部の気体が外部に対してした仕事  $W$
  - b. 球体内部の気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$
  - c. 球体内部の気体に加えられた熱量  $Q$

問 3 球体の体積が  $V_1$  となったとき, 気球全体に作用する重力と浮力がつりあつた。

浮力についてはアルキメデスの原理に従うとして以下の問いに答えよ。

- (1) 重力と浮力のつり合いの式を,  $\rho$ ,  $V_1$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $M$ ,  $g$  を用いて表せ。
- (2) 温度  $T_1$  を,  $T_0$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $M$  を用いて表せ。また導き方も示せ。

このページは白紙です。