令和３年度入学試験問題

理　　科

令和３年２月25日

(理科１科目受験者)	(理科２科目受験者)
自 12 時 30 分	自 12 時 30 分
至 13 時 30 分	至 14 時 30 分

答案作成上の注意

1　この問題冊子には，物理基礎・物理(３～16ページ)，化学基礎・化学(17～28ページ)，生物基礎・生物(29～46ページ)，地学基礎・地学(47～57ページ)の各問題があります。総ページは**57ページ**です。

2　解答用紙は，物理基礎・物理，化学基礎・化学，生物基礎・生物は，それぞれ**１枚**(表裏の計２ページ)です。地学基礎・地学は**２枚**(表裏の計３ページ)です。

3　下書き用紙は，各受験者に**１枚**あります。

4　**受験番号**は，解答用紙の所定の場所に，必ず記入しなさい。

5　解答は，解答用紙に記入しなさい。
出願の際に**届け出た科目以外**の科目について解答しても**無効**となります。

6　配付した解答用紙は，持ち出してはいけません。

7　試験終了後，問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ってください。

8　この問題冊子の裏表紙には，試験時間中に机の上に置いてよいものを記載しています。

〔Ⅰ〕 図1のように，水平な床面上の点Oから，水平と角θ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。

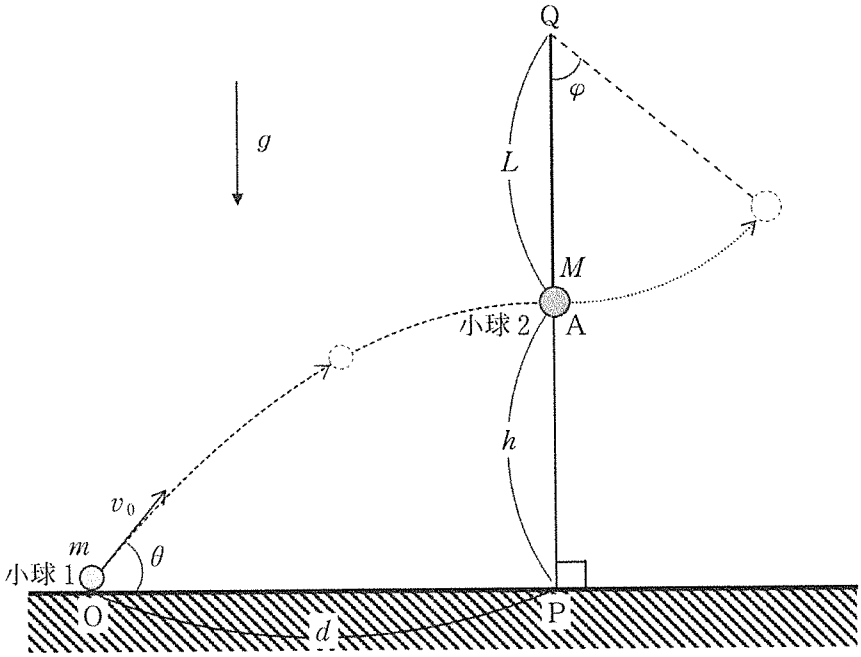


図1

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。

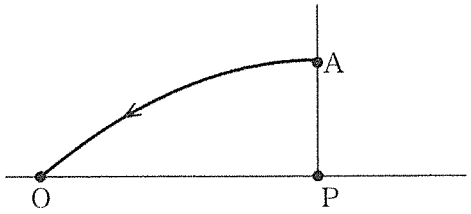
問 3　問 2 の衝突の後，小球 1 はある軌跡を描いて床面に達した。以下の条件(1)および(2)の場合について，衝突してから最初に床面に達するまでの小球 1 の軌跡として適切なものを，解答群の選択肢からそれぞれ一つ選び，その記号を解答欄に記入せよ。

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

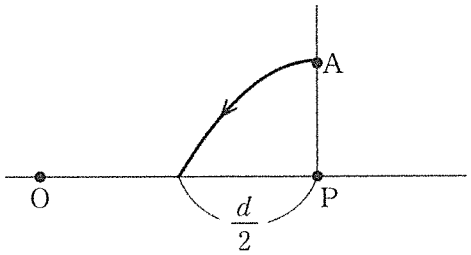
問 4　問 2 の衝突の後，糸がたるむことなく小球 2 は左右に振動した。振れ角 φ における糸の張力の大きさ T を，φ，L，M，g，V のうち必要なものを用いて表せ。また導き方も示せ。

解答群

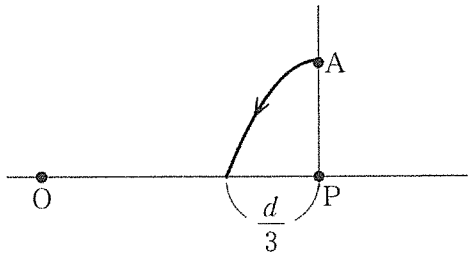
(ア)



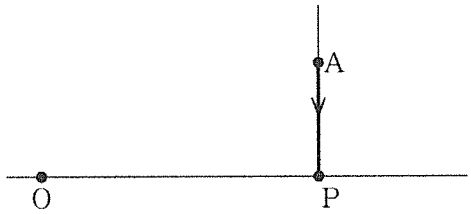
(イ)



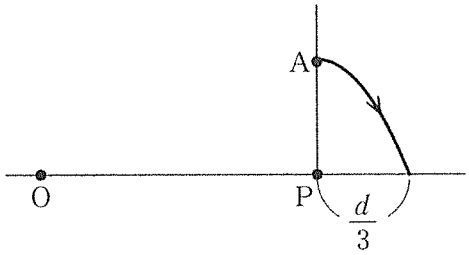
(ウ)



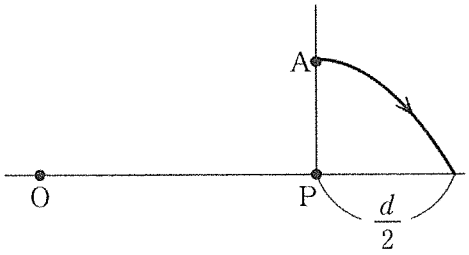
(エ)



(オ)



(カ)



〔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。

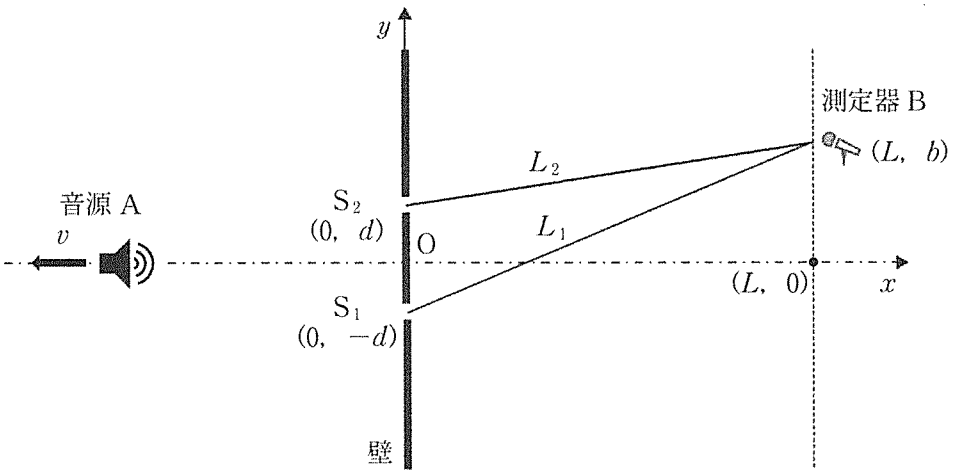


図 1

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λ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λの関係が，整数m ($m = 1, 2, \cdots$)を用いて，$L_1 - L_2 =$ ① と表されるときである。距離L_1は，$L_1 = \sqrt{L^2 + (b+d)^2} \fallingdotseq L\left[1 + \dfrac{(b+d)^2}{2L^2}\right]$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$(1+a)^n \fallingdotseq 1 + na$を用いた)，同様に距離$L_2$は，$L_2 \fallingdotseq$ ② と近似できるので，経路差$L_1 - L_2$は 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, 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 ⑤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λ'は，音速V，および，v，λを用いて，$\lambda' =$ 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, 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Δbだけ変化したとすると，音源の速さvは，Δb，d，λ，L，Vを用いて，$v =$ 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。

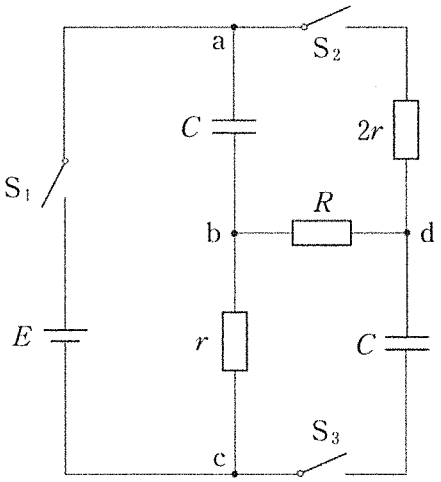


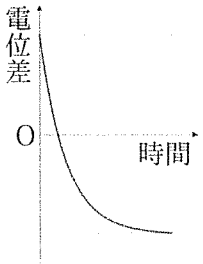
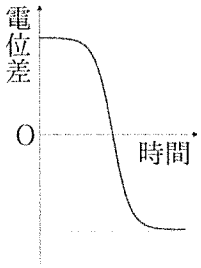
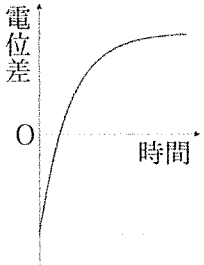
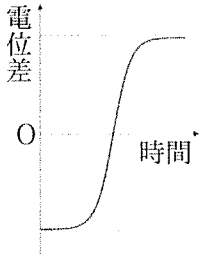
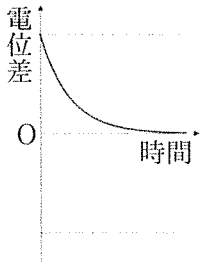
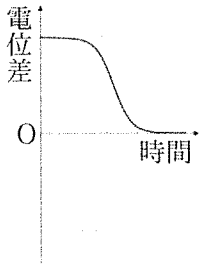
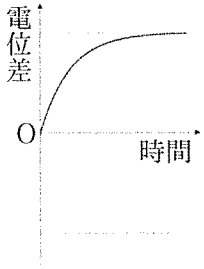
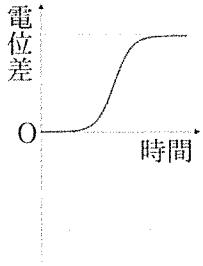
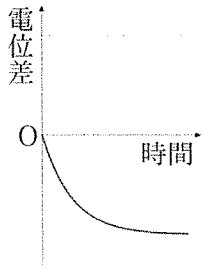
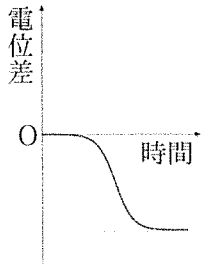
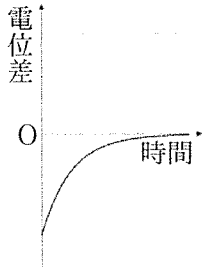
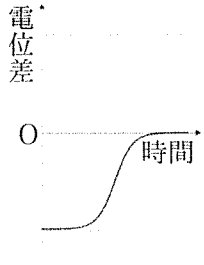
図 2

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，$P =$ [B]，$U =$ [C]，$W =$ [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 $\boxed{\quad E \quad}$ 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 $\boxed{\quad F \quad}$ 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) 	(キ) 	(ク) 
(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) $\frac{1}{2}CE^2+\frac{1}{2}\frac{E^2}{r}$
(ナ) $2CE^2+2\frac{E^2}{r}$	(ニ) $\lvert V_{ab}\rvert<\lvert V_{cd}\rvert$	(ヌ) $\lvert V_{ab}\rvert>\lvert V_{cd}\rvert$	(ネ) $\lvert V_{ab}\rvert=\lvert V_{cd}\rvert$

〔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，以下の問いに答えよ。

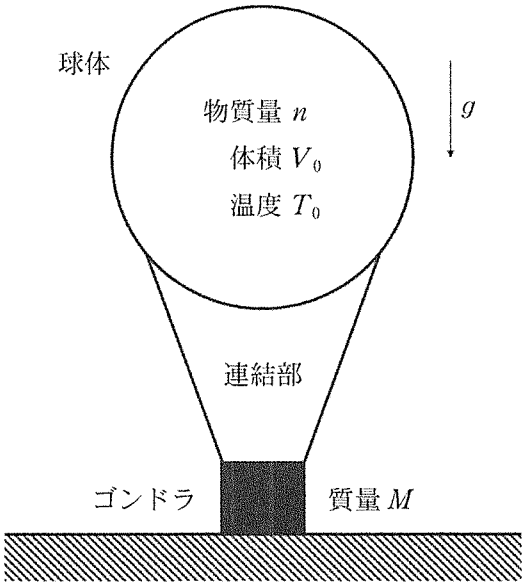


図1

問 1　大気の密度(単位体積あたりの質量)ρ 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 ΔU

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った。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，ρ，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。

試験時間中に机の上に置いてよいもの

○　本学受験票

○　大学入学共通テスト受験票

○　配付した問題冊子等

○　黒鉛筆(和歌，格言等が印刷されているものは不可)

○　鉛筆キャップ

○　シャープペンシル

○　消しゴム

○　鉛筆削り(電動式，大型のもの，ナイフ類は不可)

○　定規

○　コンパス

○　時計(辞書，電卓，端末等の機能があるものや，それらの機能の有無が判別しづらいもの，秒針音のするもの，キッチンタイマー，大型のものは不可)

○　眼鏡

○　ハンカチ

○　目薬

○　ティッシュペーパー(袋又は箱から中身だけ取り出したもの)

○　本学が試験当日に配付するフェイスシールド