

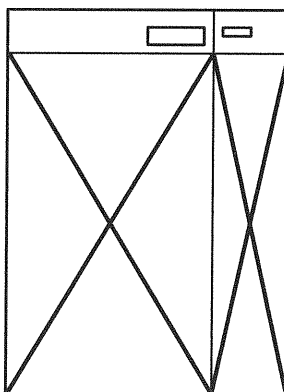
令和3年度入学試験問題（一般入試）

理 科

13:20 ~ 15:00

注 意

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 問題文は、物理：1～7 ページ，化学：8～13 ページ，生物：14～19 ページである。
3. 解答紙は計3枚で、物理：1枚，化学：1枚，生物：1枚である。
4. 解答開始前に、試験監督者の指示にしたがって、選択しない科目も含めすべての解答紙それぞれ2カ所に受験番号を記入すること。
5. 試験監督者の指示にしたがって、選択しない科目の解答紙に下記のように×印を大きく2カ所記入すること。



6. 「始め」の合図があったら、問題冊子のページ数を確認すること。
7. 解答は、黒色鉛筆（シャープペンシルも可）を使用し、すべて所定の欄に丁寧な字で正確に記入すること。英文字，ギリシャ文字は大文字・小文字の区別をすること。欄外および裏面には記入しないこと。
8. 下書き等は、問題冊子の余白を利用すること。
9. 試験終了後、監督者の指示にしたがって、解答紙を物理，化学，生物の順番にそろえること。
10. 解答紙は持ち帰らないこと。

# 物 理

〔 1 〕 以下の文章を読み，設問に答えなさい。ただし，真空の誘電率を $\epsilon_0$ として，

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \text{ とする。}$$

(1) 原点Oと $x$  軸上の点A ( $x = 3 \text{ m}$ ) に，それぞれ  $q$  [C] と  $4q$  [C] の点電荷を固定する。

第3の電荷  $Q$  [C] を導入し，全ての電荷に働く力を 0 にしたい。

1-1. 電荷  $Q$  を置く位置を求めなさい。

1-2.  $Q = aq$  と表すとき， $a$ を求めなさい。

(2) 図1に示すように，質量  $1.0 \text{ kg}$ で大きさの等しい2個の球状導体を，それぞれ長さ  $10 \text{ cm}$  の伸び縮みしない軽い糸で真空中につるし，これらに電気量が等しい正電荷を与えたところ鉛直線となす角度が  $45^\circ$  となった。このとき与えた電荷の電気量を求めなさい。ただし，導体の半径は糸の長さに比べて十分小さいものとし，重力加速度を  $10 \text{ m/s}^2$ ， $\sqrt{2}$ は  $1.4$ として計算せよ。

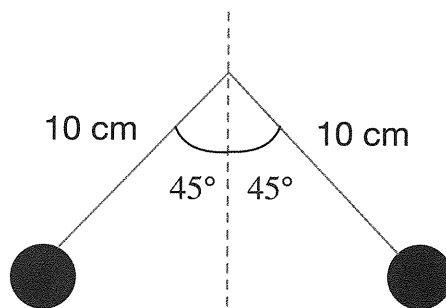


図1

[ 2 ] 次の文章の  ～  には適した式を記入し、 および  は、それぞれ直後の選択肢(a)～(h)の中から最も適切な数値を選び、解答欄の記号を塗りつぶさない。

重力加速度を $g$  [m/s<sup>2</sup>]、音速を $V$  [m/s] とする。空気の抵抗は考えない。

周期  $T$  [s] の音波を出す物体（以下、この物体を音源と呼ぶ）がある。

・この音波の振動数は  [Hz] である。

この音源が時刻  $t_0$  [s] に音波を出し始め、この時刻に高さ $H$  [m] から初速度0で自由落下する。落下する直下の地上でこの音源が出した音波を観測する。

・ $t_0$  [s] に高さ $H$  [m] で出された音波を観測者が受け取る時刻は  $t_0 +$   [s] である。

・落下開始から1周期後 ( $T$  [s] 後) に音源は高さ  [m] まで落下しており、そのとき出す音波と落下直後に出した音波とは観測地点に時間差  $\Delta t_1 =$   [s] で到着する。

・落下開始から  $(n-1)T$  [s] 後に音源が出した音波と  $nT$  [s] 後に音源が出した音波とは、観測地点に時間差  $\Delta t_n =$   [s] で到着する。ただし、 $n$ は自然数である。

・落下開始から  $nT$  [s] 後の音源の速度を $u_n$  [m/s] とする。このとき時刻  $(n-1)T$  [s] から

$nT$  [s] までの平均速度を $U_n = \frac{1}{2}(u_{n-1} + u_n)$ と定義すれば、 $U_n$ を使って

$\Delta t_n =$   [s] と書くことができる。

音源が落下を始める高さ $H=2500$  m, 重力加速度 $g=9.8$  m/s<sup>2</sup>, 音速 $V=330$  m/sとする。

図2は, 観測地点で受け取った音波の様子である。横軸は時間(秒)を表している。図のように落下開始直後に出された音波は受けることができたが, すぐに観測装置の具合が悪くなり観測することができなくなった。その後, 再び音波を受けることができるようになり, ある時間帯に図に示されたような音波を観測することができた。

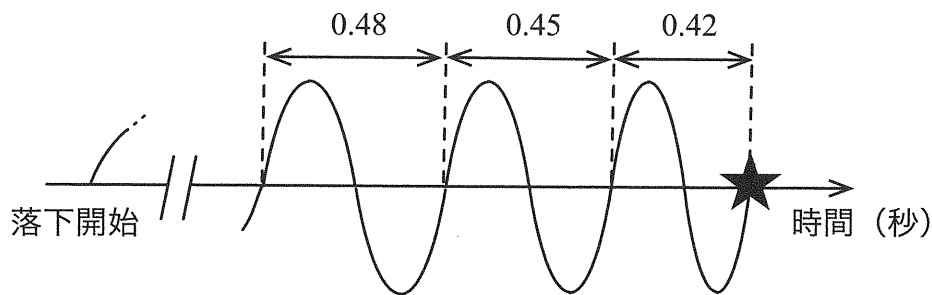


図2

・図2の観測データより, 音源が出す音波の周期  $T$  はおよそ  [s] である。

(a)0.5, (b)1, (c)3, (d)5, (e)10, (f)30, (g)50, (h)100

・図2の★印で示された時刻に受け取った音波は, この音源が地上からの高さ,

およそ  [m] まで落下した時に出されたものである。

(a)10, (b)20, (c)50, (d)100, (e)200, (f)500, (g)1000, (h)2000

次に、一般的な  $M$  [kg] ,  $m$  [kg] ,  $L$  [m] ,  $a$  [m] ,  $A$  [rad] の場合を考える。

直立状態から角度  $B$  [rad] ( $B \neq 0, \pi$ ) 傾け、その状態で手を離したときに、装置が直立状態のまわりで振動する時を「安定」、倒れて倒立した状態のまわりで振動する時を「不安定」、角度  $B$  傾いたまま動かないときを「不動」と呼ぼう。

(4)  $\cos A$  と  $M, m, L, a$  がある条件を満たしていれば、この装置は常に不動の状態にある。このとき  $\cos A$  を  $M, m, L, a$  であらわしなさい。

(5) 角度  $A$  と  $\frac{a}{L}$  に対して、安定・不安定・不動を示す図はどれか。図5の(ア)～(コ)の中から適切なものを一つ選び記号で答えなさい。図5の横軸は  $A$ 、縦軸は  $\frac{a}{L}$  であり、黒く塗りつぶされた部分が安定な領域、白い部分は不安定な領域、不動は破線で示されている。

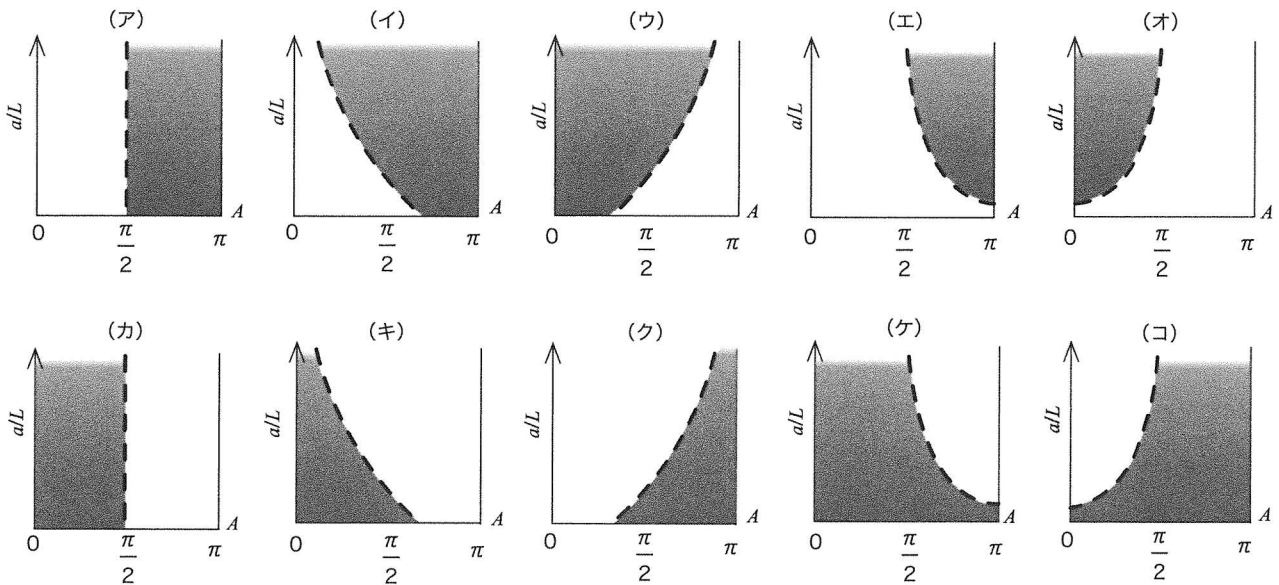


図5

(6) 装置が安定な状態にあるとき、直立状態から角度  $B$  ( $0 < B < \frac{\pi}{2}$ ) 傾け、その状態で手を離した瞬間に原点  $O$  のまわりで装置にはたらく全重力のモーメントを求めなさい。

[ 3 ] 次の文章を読んで、以下の設問に答えなさい。重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

図3のような装置がある。原点  $O$  に長さ  $L$  [m] の質量の無視できる剛体棒が付いており原点を中心に鉛直面内でなめらかに回転できる。棒の先には質量  $M$  [kg] の質点●が付いている。質点●から剛体棒に対して角度  $A$  [rad] で両側に長さ  $a$  [m] の質量の無視できる剛体棒が付けられており、質量  $m$  [kg] の質点○がそれぞれの先端に付けられている。質点●が原点の直上にある状態（図3の状態）を「直立」している状態、質点●が原点の直下にある状態を「倒立」している状態と呼ぼう。

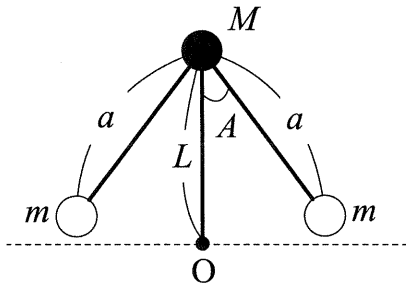


図3

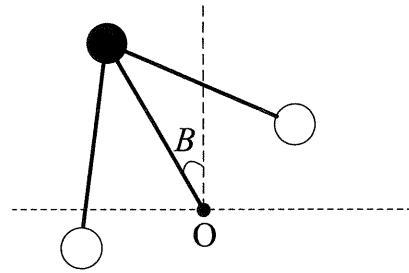


図4

$M = m/3$ ,  $L = a/2$ ,  $\cos A = 1/2$ , のときを考えよう。原点を含む水平面を位置エネルギー  $U$  [J] の基準 ( $U = 0$ ) とする。

(1) 直立しているこの装置全体の位置エネルギー  $U_0$  [J] を  $m$ ,  $a$ ,  $g$  であらわしなさい。

(2) 装置を直立状態から  $B$  [rad] 傾けた（図4）。このときの装置全体の位置エネルギーは（1）で求めた  $U_0$  [J] の何倍か。

(3) ある二つの角度  $B$  [rad] と  $C$  [rad] ( $B < C$ ) を考える。装置が直立状態から角度  $B$  および  $C$  傾いているときの位置エネルギーをそれぞれ  $U(B)$  [J],  $U(C)$  [J] とする。次の文章の(i)および(ii)について適切な選択肢を選びなさい。

「 $U(B)$ と  $U(C)$ の大小関係は {(i) : ア.  $U(B) = U(C)$ , イ.  $U(B) > U(C)$ , ウ.  $U(B) < U(C)$ } であるので、装置を角度  $B$  傾けた状態で手を離すと、{(ii) : ア. 直立状態のまわりで振動する, イ. 角度  $B$  で止まったまま, ウ. 倒立状態のまわりで振動する, エ. 等速円運動をはじめる}」。

最後に、図6のようなトンボの模型を考えよう。長さ  $L$  [m]，質量  $2M$  [kg] の一様な剛体棒を胴体として、その一端に半径  $K$  [m]，質量  $M$  [kg] の一様な剛体球が頭として取り付けられている（頭の重心は胴体の軸の延長線上にある）。胴体と頭の接点をトンボの中心と呼ぼう。トンボの中心には胴体と垂直に羽として両側に長さ  $R$  [m]，質量  $m$  [kg] の一様な剛体板が角度  $2A$  [rad] で取り付けられている。羽と胴体の厚さや幅，太さは無視することができる（図では誇張して描かれている）。羽と胴体の長さはトンボの中心から先端までの距離と考えてよい。

原点  $O$  に剛体棒を鉛直に固定する（原点まわりの回転は起こらない）。トンボの中心を支点として、この剛体棒にトンボが乗っている。支点上でトンボは胴体とこの剛体棒のなす角度  $\theta$  [rad] で釣り合っ静止した。

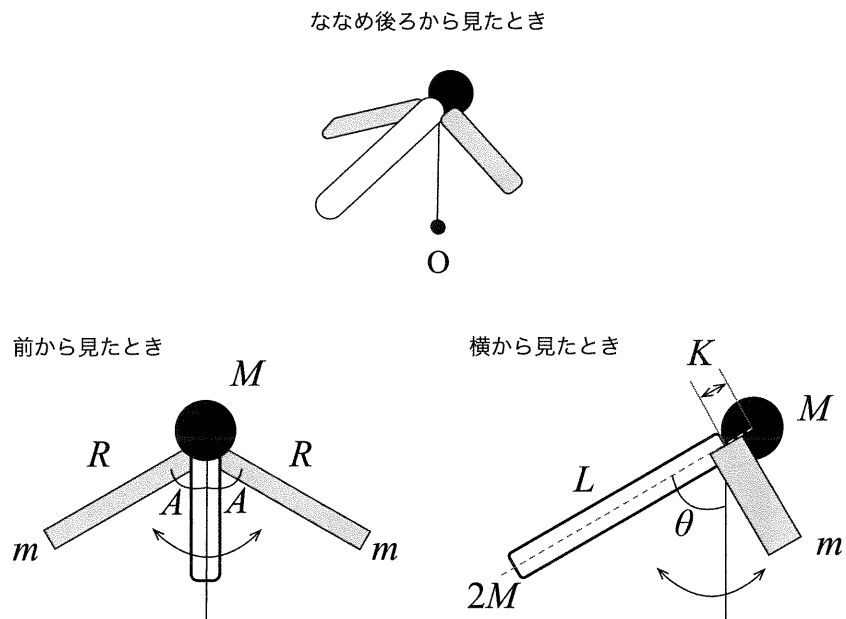


図6

(7)  $\tan \theta$  を  $R, K, L, m, M, \cos A$  の中から必要なものを用いて表しなさい。