帝京大学

2022 年度　一般選抜　物理

物理①

（2 科目　120 分）

1 図 1 のように，半径 R の軽い円筒の内側に，質点とみなせる質量 $\frac{m}{2}$ の小球 1，2 が軽い棒を介して固定されている。棒と小球は円筒側面に垂直な一直線上にあり，小球 1 と 2 の重心 G は円筒の中心軸上にある。重心 G と小球 1，2 の間の距離はともに r である。円筒本体と棒の質量は無視できるものとして以下の設問に答えよ。

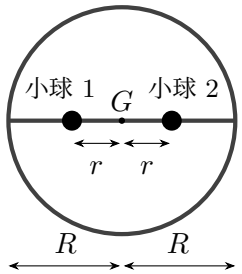


図 1

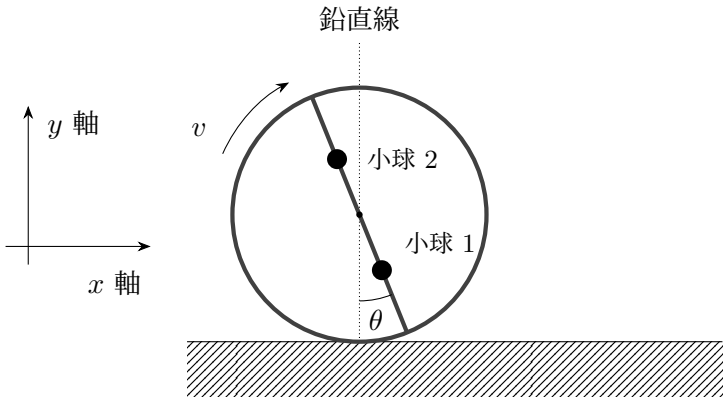


図 2

図 2 のように，滑らかな水平面上で円筒が水平方向に移動することなく時計回りに回転している。小球 1 と 2 の重心 G は静止している。図で水平左から右方向を x 軸の正方向，鉛直上向きを y 軸の正方向とする。

(1) ある瞬間，小球 1 が小球 2 より右側にあり，棒と鉛直線がなす角は θ であった。円筒外側の側面の速さを v とすると，小球 1，2 の速度の x 成分と y 成分はそれぞれいくらか。

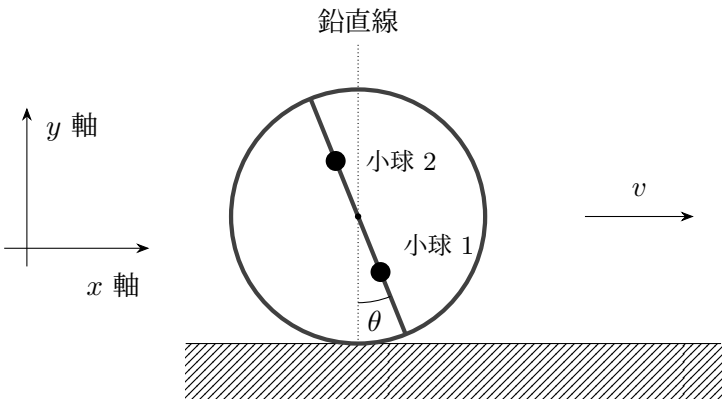


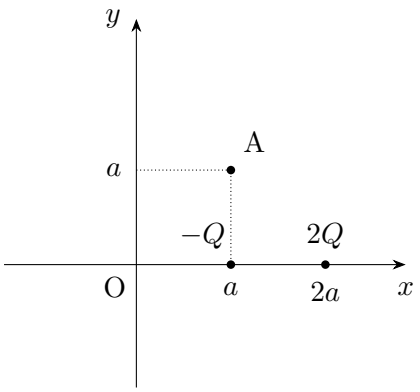
図 3

図 3 のように，摩擦のある水平面上で円筒が滑ることなく時計回りに転がっている。このとき力学的エネルギーの損失はなく，小球 1 と 2 の重心 G は一定の速さ v で水平左から右方向に移動している。図で水平左から右方向を x 軸の正方向，鉛直上向きを y 軸の正方向とする。

(2) ある瞬間，小球 1 が小球 2 より右側にあり，棒と鉛直線がなす角は θ であった。小球 1，2 の速度の x 成分と y 成分はそれぞれいくらか。

(3) 小球 1 と 2 の運動エネルギーの総和はいくらか。

2 xy 平面内での電場と電位を考える。図のように，点 $(2a,\ 0)$ に電気量 $2Q$ の点電荷を，点 $(a,\ 0)$ に，$-Q$ の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を k として以下の設問に答えよ。ただし，$a > 0$ かつ $Q > 0$ であり，電位の基準は無限遠とする。



図

(1) 原点 O $(0,\ 0)$ における電場の x 成分と y 成分をそれぞれ求めよ。

(2) x 軸上において，無限遠以外で電位が 0 になる点をすべて求めよ。

(3) x 軸上において，無限遠以外で電場の強さが 0 になる点をすべて求めよ。

(4) 点 A $(a,\ a)$ における電場の x 成分と y 成分をそれぞれ求めよ。

(5) 電位が 0 の点が描く軌跡を下の【語群】から選べ。ただし，楕円は正円も含み，長方形は正方形も含むとする。この【語群】にない場合は「なし」と書け。

【語群】

楕円，直線，双曲線，放物線，長方形

3 ヒトの体は，熱力学の第一法則にしたがう熱機関と考えることができる。肉体作業やスポーツのような活動によって外部に仕事をしたり，熱放射によって外部へ熱を放出することによって，ヒトの内部エネルギーは減少する。このことは，次式のように表すことができる。

$$-(\text{内部エネルギーの変化}) = (\text{外部にした仕事}) + (\text{外部へ放出した熱量})$$

ここで，質量 70 kg のヒトが，登山口から標高差 1200 m の山頂まで，一定の上昇率で 4 時間かけて登ったときの，エネルギー収支について考える。単位時間あたりのヒトの内部エネルギーの変化を代謝率と定義し，このヒトの基礎代謝率（何も活動していない睡眠時の代謝率）を $-80\,\mathrm{W}$ とする。また，ヒトがある活動を行ったときの熱効率は，

$$(\text{ある活動を行ったときの熱効率}) = \frac{(\text{ある活動によって外部にした仕事率})}{\left|(\text{ある活動を行ったときの代謝率}) - (\text{基礎代謝率})\right|}$$

と定義されるが，この登山を行ったときの熱効率は 0.15 であった。重力加速度の大きさを $9.8\,\mathrm{m/s^2}$，$1\,\mathrm{cal} = 4.2\,\mathrm{J}$ として，以下の設問に有効数字 2 桁で答えよ。

(1) この登山によってヒトが外部にした仕事は，このヒトの位置エネルギーの変化に等しいと考えることができる。この仕事をジュール [J]，キロカロリー [kcal]，キロワット時 [kWh] の単位でそれぞれ表せ。

(2) (1) で計算した仕事をもとに，仕事率をワット [W]，キロカロリー毎時 [kcal/h] の単位でそれぞれ表せ。

(3) (2) で計算した仕事率をもとに，この登山を行ったときのヒトの代謝率をワット [W]，キロカロリー毎時 [kcal/h] の単位でそれぞれ表せ。

(4) (3) で計算した代謝率をもとに，この登山を行ったときのヒトの内部エネルギーの変化をキロカロリー [kcal]，キロワット時 [kWh] の単位でそれぞれ表せ。

(5) (1) で計算した仕事，(4) で計算した内部エネルギーの変化をもとに，この登山において，登山家が外部へ放出した熱量をキロカロリー [kcal]，キロワット時 [kWh] の単位でそれぞれ表せ。

(6) この登山によるヒトの内部エネルギーの変化の大きさは，1 個 300 kcal のエネルギーをもつドーナツの何個分に相当するか。

物理②

（2 科目　120 分）

1 地球上の 2 都市 A，B を結ぶ，地中を貫く真っすぐなトンネルを掘って列車を走らせることを考えてみる。このトンネルは完全な直線でなめらかであるとする。また，空気抵抗の影響は無視できるものとする。

地球は一様な密度をもつ球であると仮定する。このとき地球の中心 C から距離 r の位置にある物体にはたらく万有引力の大きさは，半径 r の球の内部の全質量を中心に集中させたときの万有引力の大きさの値と一致することが知られている。地球の半径を R とし，以下の設問に答えよ。

(1) 地球の中心から距離 $r < R$ の位置にある質量 m の物体の受ける万有引力の大きさを求めよ。ただし，万有引力定数を G，地球の質量を M とする。

地表の重力加速度の大きさを g とする。以降の問いは，G，M を用いずに解答せよ。

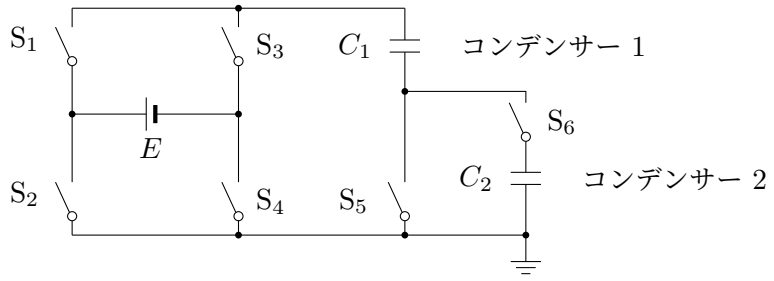
(2) 前問で求めた万有引力の大きさを m，g，r，R を使って表せ。

(3) いま，線分 AB の中点を原点 O とし，トンネルに沿って B 側を正に x 軸をとるとき，座標 x の位置にある質量 m の列車が受ける x 軸方向の力 f を $+x$ 向きを正として求めよ。

(4) 列車が都市 A の停車駅でブレーキを緩めると，(3) で求めた力 f のために運動を始め，駆動力なしに都市 B の停車駅に達することができる。都市 A を出てから都市 B に着くまでに要する時間 t を求めよ。

(5) $R = 6.4 \times 10^3\,\mathrm{km}$，$g = 10\,\mathrm{m/s^2}$ のとき (4) で求めた t を分単位，有効数字 2 桁で求めよ。

2 図のように，起電力 E [V] の電池，電気容量 C_1，C_2 [F] のコンデンサー 1 とコンデンサー 2，および 6 個のスイッチ S_1 から S_6 を接続した。最初，各コンデンサーに電荷は蓄えられていない。スイッチ S_1 から S_6 を開閉して回路を状態 1 から状態 4 まで順番に変化させた後に，再び状態 1 に戻すサイクルを繰り返し行った。次の状態への切り替えは前の状態が定常状態になるまで待ってから行った。



図

状態 1：　すべて開

状態 2：　S_2，S_3，S_5：閉　S_1，S_4，S_6：開

状態 3：　すべて開

状態 4：　S_1，S_4，S_6：閉　S_2，S_3，S_5：開

この問題では，コンデンサーに蓄えられた電気量とは，図でコンデンサーの上側の電極に蓄えられた電気量を意味し，コンデンサー両端の電圧は，下側の電極の電位を基準とするものとし，以下の設問に答えよ。

(1) 第一巡目のサイクルでは，状態 1 でコンデンサー 1，コンデンサー 2 に蓄えられた電気量はともに 0 である。状態 3 で各コンデンサーに蓄えられた電気量はいくらか。

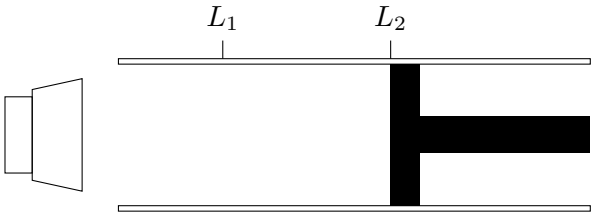
(2) 第二巡目のサイクルでは，状態 1 で各コンデンサーに蓄えられた電気量はいくらか。

(3) 第二巡目のサイクルでは，状態 3 で各コンデンサーに蓄えられた電気量はいくらか。

(4) 第 n 巡目のサイクルでの状態 1 でコンデンサー 2 に蓄えられた電気量を q_n とする。第（n + 1）巡目のサイクルでの状態 1 でコンデンサー 2 に蓄えられた電気量はいくらか，q_n，C_1，C_2，E を用いて表せ。

(5) 上記サイクルを多数回繰り返すと，コンデンサー 2 の両端の電圧はある値に近づいていく。その電圧値はいくらか。

3 図のように，ピストンが入った円筒管と振動数を連続的に変えられる音源が，空気中に置かれている。音源からは単一の振動数の音がでるものとする。音源の振動数を f [Hz] にして左側の管口に近づけて，ピストンを管口から右向きにゆっくり移動させた。すると管口から距離 L_1 [m] のときにはじめて共鳴し，さらに移動させると管口から距離 L_2 [m] のときに 2 度目の共鳴をした。開口端補正はピストンの位置および音波の振動数にかかわらずに一定として，以下の設問に答えよ。



図

(1) 音速および振動数 f [Hz] の音波の波長を求めよ。

(2) 開口端補正を求めよ。

ピストンを管口から距離 L_2 [m] の位置に固定し，音源の振動数を f [Hz] から連続的にあげていくと共鳴が起きた。

(3) この共鳴時の振動数を求めよ。

気柱の共鳴は温度の変化に敏感である。(3) の時点で気温が 20 ℃ であった。この後，ピストンの位置を変えずに，気温が 20 ℃ から 10 ℃ に下がると共鳴が無くなった。そこでピストンの位置をわずかにずらすことで (3) と同じ共鳴状態が得られた。

(4) ピストンをどちら向きに動かしたか。ただし，音の速さ V [m/s] と気温 t [℃] の間には $V = 331.5 + 0.6t$ の関係が成り立つものとする。

次に気温を 20 ℃，音源の振動数を f [Hz] に戻し，ピストンを管口から距離 L_2 [m] の位置からさらに右に動かしていくと 3 度目の共鳴をし，さらに動かすとピストンが円筒管からはずれた。音源の振動数を f [Hz] の近くでわずかに変化させたところ，振動数 f [Hz] で共鳴を起こしていることがわかった。

(5) 円筒管の長さを求めよ。