

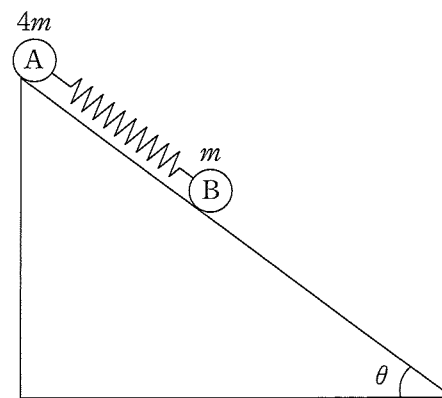
令和 5 (2023) 年度入学試験問題 (前期)

理 科

注 意

1. 合図があるまで表紙をあけないこと。
2. 化学, 物理, 生物のうちから, 出願時に選択した 2 科目を受験すること。
3. 化学, 物理, 生物の全ての解答用紙に受験番号, 氏名を記入すること。
4. 受験しない科目の解答欄と右側の採点欄の 2 か所に大きく×印をすること。
5. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
6. 枠外に記入した場合, および解答用紙に解答以外のことを書いた場合, その答案は無効とする。
7. 問題冊子の裏表紙は計算に使用する。
8. 問題冊子は 1 冊, 解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
9. 受験票は机に出しておくこと。

I 自然長  $L$  [m] の軽いばねの両端に、質量  $4m$  [kg] の小球 A と質量  $m$  の小球 B を接続し、これを図のように滑らかな斜面上に置く。水平面に対する斜面の傾きの角度を  $\theta$  [rad] とすると、 $\tan \theta = \frac{3}{4}$  となっている。重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、摩擦は無視できるものとして、以下の問に答えよ。ただし、A や B が斜面の外に落ちることはなく、全ての運動は図に示された平面内で起こるものとする。

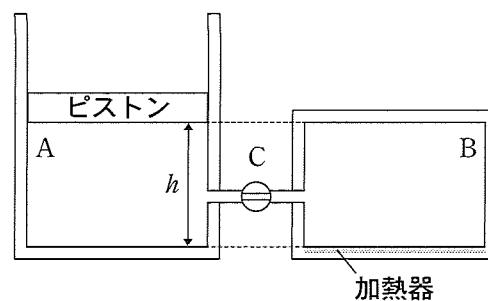


はじめ、A は斜面の上端に固定してあり、ばねが自然長より  $\frac{L}{4}$  伸びたところで B は静止していた。これを初期状態とする。

- (1) このばねのばね定数 [N/m] を表せ。
- (2) ばねで接続された A と B を一体と考え、その重心を G とする。斜面の上端を原点として斜面下方向に  $x$  軸をとる。G の  $x$  座標 [m] を表せ。
- (3) 初期状態から B を斜面下方向に少し引いて手を離すと、B は単振動をした。この振動の周期 [s] を表せ。
- (4) 初期状態から、A の斜面上端での固定を解除した。この瞬間を時刻 0 とする。時刻  $t$  [s] における G の  $x$  座標  $G(t)$  [m] を表せ。
- (5) (4) のあと、時刻  $t$  における A の  $x$  座標を求めるために、A と G との距離を考える。以下の文の空欄を埋めよ。

A や B が斜面を滑り降りている間、ばねは伸縮を繰り返す。このとき常に、G から A までの距離は G から B までの距離の ( ① ) 倍である。よって、G から見た A の運動は、本問のばねを長さ ( ② )  $\times L$  に切った短いばねに A を付けたときの単振動と見なすことができる。時刻  $t$  における GA 間の距離を  $R(t)$  [m] と表すと、  
 $R(t) = ( ③ ) \times \cos(( ④ ) \times t) + ( ⑤ )$  となり、時刻  $t$  における A の  $x$  座標は  $G(t) - R(t)$  と表すことができる。

II 真空中に、同じ底面積  $S$  [m<sup>2</sup>] をもつ 2 つの円筒形の容器 A, B が、コック C のついた細管で連結されている。容器 B の高さは  $h$  [m] で、加熱器がついている。容器 A の上部には、上下に滑らかに動く質量  $M$  [kg] のピストンがある。これらは、全て断熱材で作られ、細管部の容積は無視できるものとする。重力加速度は  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、気体定数は  $R$  [J/(mol·K)]、単原子分子理想気体の定積モル比熱は  $\frac{3}{2}R$  として、①～⑧に適当な式をいれよ。

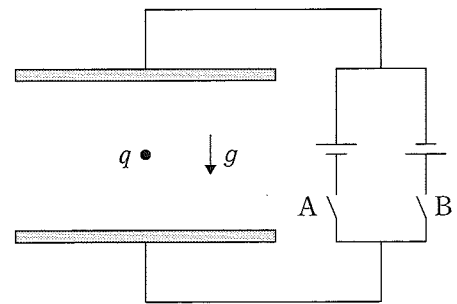


最初、C は開いており、両方の容器が合わせて 2 モルの単原子分子理想気体で満たされている。加熱器を使って、図のように、ピストンの高さが  $h$  になるようにした。この時、気体の圧力は ( ① ) [Pa]、温度は ( ② ) [K] であった。この状態を状態 0 と呼ぶ。

C を閉じた後、B 内の気体に加熱器でゆっくりと熱量  $Q$  [J] を与えた。状態 0 と比較して、B 内の気体の温度と圧力の増加分は、それぞれ ( ③ ) [K]、( ④ ) [Pa] であった。

次に、加熱を止めてから C をゆっくりと開いた。十分な時間の後、気体の温度は ( ② ) + ( ⑤ ) [K] に、ピストンの高さは  $h + ( ⑥ )$  [m] になった。この状態を状態 1 と呼ぶ。状態 0 から状態 1 までの過程で、気体の内部エネルギーの増加分は ( ⑦ ) [J]、気体が外部にした仕事は ( ⑧ ) [J] である。

Ⅲ 電荷  $q$  [C] ( $q > 0$ ) に帯電した球を、図のように平行板コンデンサーの極板間に入れ、その動きを観察した。球の半径は  $r$  [m] であり、密度は  $\alpha$  [kg/m<sup>3</sup>] である。コンデンサーの極板間の距離は 5.0 mm であり、極板は水平に配置されている。コンデンサーには図のように 2 つの電池とスイッチ A, B が接続されている。球は極板間に存在する気体から浮力を受け、動くときには球の半径と速さの積に比例する抵抗力 (比例定数  $k$ ) を受ける。極板間に存在する気体の密度を  $\beta$  [kg/m<sup>3</sup>]、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として以下の問に答えよ。



- (1) スイッチ A, B が開いていて極板間に電場のないとき、極板間に入れられた球は落下し、その速さは  $V$  [m/s] で一定となった。  $r$  を  $k, V, \alpha, \beta, g$  のうち適当なものを用いて表せ。
- (2) スイッチ A を閉じ、スイッチ B を開くと、球は一定の速さ  $V_A$  [m/s] で陰極に向かって下降した。一方、スイッチ B を閉じ、スイッチ A を開くと、球は一定の速さ  $V_B$  [m/s] で陰極に向かって上昇した。どちらの場合も極板間の電場の強さは  $E$  [N/C] であった。  $V_A$  と  $V_B$  を表す下記の式の①と②を埋めよ。なお、  $r$  を用いてよい。

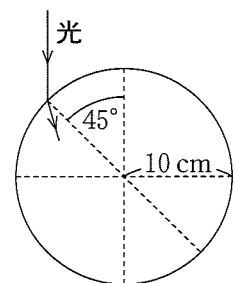
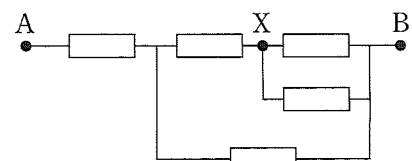
$$V_A = 4\pi r^2 \times (\text{①}) \times g + (\text{②})$$

$$V_B = -4\pi r^2 \times (\text{①}) \times g + (\text{②})$$

- (3)  $q$  を  $r, k, V_A, V_B, E$  を用いて表せ。
- (4) 電池の起電力が 400 V のとき、極板間に発生する電場の強さ [N/C] はいくらか。有効数字 2 桁で表せ。
- (5) 電池の起電力が 400 V のとき、  $V_A$  は  $5.2 \times 10^{-4}$  m/s,  $V_B$  は  $4.0 \times 10^{-4}$  m/s であった。  $kr$  を  $1.4 \times 10^{-10}$  (N·s)/m とし、これらの測定結果から球の電荷量を計算すると、球の電荷量は電気素量  $e$  ( $1.60 \times 10^{-19}$  C) のほぼ整数倍であった。整数の値を答えよ。

Ⅳ 以下の問に答えよ。

- (1) 抵抗値が同じ 5 本の抵抗を図のように接続した。 AB を電圧  $E$  [V] の電源につないだとき XB 間の電圧 [V] はいくらか。
- (2) 真空中でガラスに 45° の入射角で光を入射させたとき、屈折角は 30° であった。ガラスの屈折率はいくらか。また、このガラスで半径 10 cm の球を作り、光を図のような位置に鉛直下向きに入射させた。光がガラス球を抜け出たとき、光は鉛直方向から何度傾いているか。



- (3) 以下の(a)~(f)の物理量の単位を、基本単位 (m, kg, s, A, K, mol, cd) のうち適当なものを組み合わせて表せ。(例：加速度  $\rightarrow$  m·s<sup>-2</sup>)

- |          |           |            |
|----------|-----------|------------|
| (a) 圧力   | (b) エネルギー | (c) 電圧     |
| (d) 磁束密度 | (e) モル比熱  | (f) 放射能の強さ |

