

令和2年度前期日程入学試験問題

物 理

教 育 学 部

理 学 部

工 学 部

農 学 部

注 意 事 項

- ① 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- ② 問題冊子は、6ページ(表紙、白紙を除く)です。試験開始後、確認してください。
- ③ 解答は、別紙の解答用紙に記入しなさい。
- ④ 受験番号は、解答用紙の指定の欄に記入しなさい。

1 水平な地面に沿って x 軸をとり、鉛直上向きに y 軸をとる。地面上の原点 O から、 x 軸の正の方向と角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) をなす向きに質量 m の小球を発射する。

小球を発射する速さを v_0 とし、発射した瞬間を時刻 $t = 0$ とする。また、小球の大きさと空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g とし、以下に問に答えよ。解答は導出過程も含めて記述せよ。

問 1 図 1 のように、原点 O からの距離が ℓ の地面上の点 A には、じゅうぶん高く、厚さが無視できる壁が x 軸に垂直に設置されている。 θ を調節して小球を発射したところ、小球は地面に衝突する前に壁に当たった。時刻 t における小球の座標を (x, y) とし、小球が壁に当たる時刻を t_1 とする。なお、図中の破線は小球の軌跡の一例を示している。

- (1) 時刻 t における x と y を求めよ。ただし、 $0 \leq t \leq t_1$ とする。
- (2) 壁に当たるまでの小球の軌跡、すなわち、 x と y の関係を求めよ。
- (3) 点 A からの高さが h である壁面上の点 B に小球が当たった。このときの h を $\tan \theta$ 、 v_0 、 g 、 ℓ を用いて表せ。
- (4) 高さ h が最も大きくなる場合の θ を θ_H とする。 $\tan \theta_H$ を求めよ。

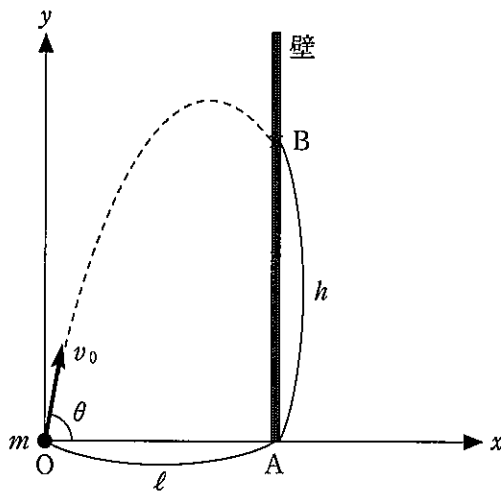


図 1

問 2 次に、壁を取り払って小球を原点 O から角度 θ で発射したところ、図 2 のように小球は地面上を繰り返し弾みながら運動を続けた。地面はなめらかで、小球と地面との間の反発係数(はねかえり係数)を e ($0 < e < 1$) とする。

- (1) 小球が発射されてから初めて地面上の点 C で弾んだ。点 C で弾む直前における小球の運動量の x 成分と y 成分をそれぞれ答えよ。また、点 C で弾んだ直後における小球の運動量の x 成分と y 成分をそれぞれ答えよ。
- (2) 点 C で弾んだときに小球が失った力学的エネルギーを求めよ。
- (3) 小球が 2 度目に弾む点 D の原点 O からの距離を求めよ。
- (4) 小球は、じゅうぶんな回数弾んだのちに、やがてある時刻で弾まなくなり地面上で等速直線運動を始める。小球が等速直線運動を始める点の原点 O からの距離を求めよ。

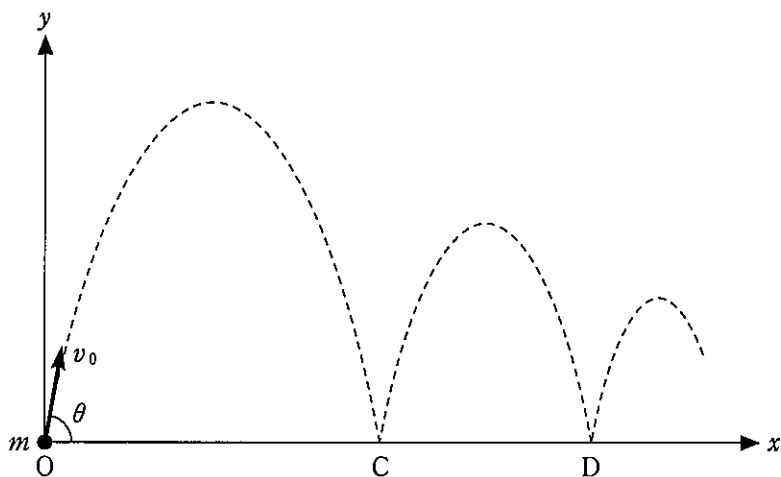


図 2

- 2 図3のように、じゅうぶん長く変形しない金属柱1と2を距離 L だけ離して鉛直に固定し、金属柱の下端の間に可変抵抗と電圧 V の電源を接続した。装置全体には、金属柱1と2を含む平面に垂直に、紙面の表から裏の向きに一様な磁束密度 B の磁場(磁界)がかかっている。そして、質量 m 、長さ L の導体棒を拡大図のように金属柱に接触させて回路をつくった。導体棒は水平を保ちながら鉛直方向になめらかに運動できるものとする。はじめに、導体棒を金属柱のじゅうぶん高い位置に手で静止させた。回路中の可変抵抗以外の電気抵抗は無視できるとする。また、導体棒にはたらく空気抵抗および回路に流れる電流がつくる磁場の影響も無視できるとする。重力加速度の大きさを g として以下の間に答えよ。解答は導出過程も含めて記述せよ。

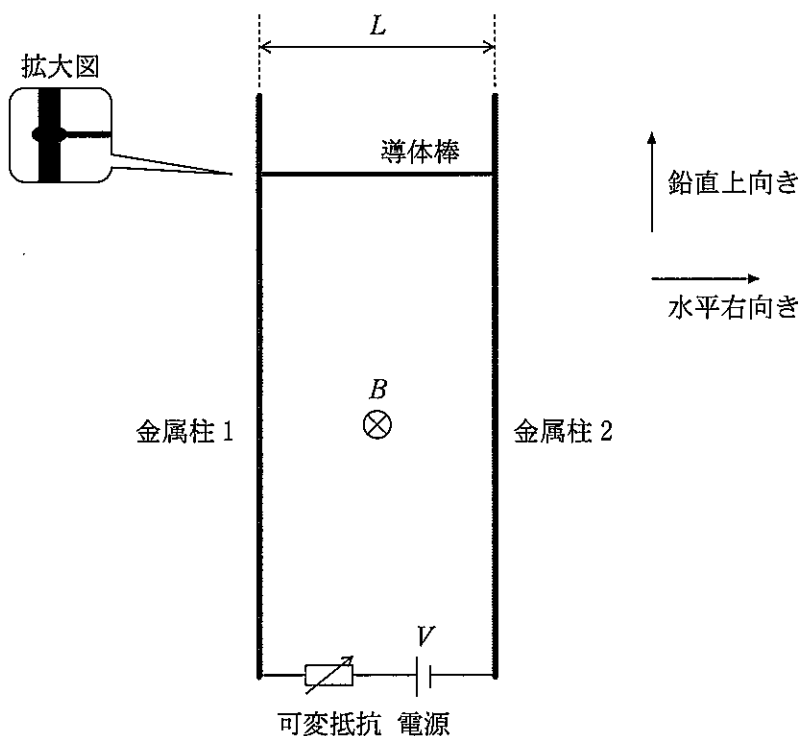


図3

問 1 可変抵抗の抵抗値を R_0 に設定して、手を導体棒から静かにはなしたところ、導体棒は水平に静止したままだった。

- (1) 電流が流れることによって左側の金属柱 1 が磁束密度 B の磁場から受ける力の向きを、鉛直上向き、鉛直下向き、水平右向き、水平左向きのいずれかで答えよ。
- (2) 回路に流れる電流の大きさを R_0 と V を用いて表せ。
- (3) R_0 を B, g, L, m, V を用いて表せ。

問 2 可変抵抗の抵抗値を R に設定して、手を導体棒から静かにはなしたところ、導体棒は落下を始めた。時間が経つと、導体棒の速さは一定の値 v_1 になった。

- (1) R の値は問 1 の R_0 より大きいか小さいかを理由も含めて答えよ。
- (2) 導体棒の速さが v である瞬間に、回路に流れる電流の大きさを求めよ。ただし、 $0 < v < v_1$ とする。
- (3) 導体棒の速さが v である瞬間に、導体棒にはたらく力の大きさと向きを答えよ。ただし、 $0 < v < v_1$ とし、力の向きは鉛直上向きか鉛直下向きかで答えよ。
- (4) v_1 を B, g, L, m, R, V を用いて表せ。
- (5) 導体棒が一定の速さ v_1 で落下している場合を考える。導体棒が距離 h だけ落下する間に、可変抵抗で発生するジュール熱を B, g, h, L, m, R, V を用いて表せ。

3 なめらかに動くピストンが付いた容器中に n [mol] の単原子分子理想気体を閉じ込めた状況を考える。容器中の理想気体は外部と熱のやりとりができる。理想気体の圧力、体積、温度をそれぞれ p [Pa], V [m³], T [K] とする。また、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。以下の問に答えよ。問 2 の解答は導出過程も含めて記述せよ。

問 1 単原子分子理想気体の状態変化に関する以下の文章中の空欄(ア)~(キ)を、 n , p , V , T , R , 文中の記号 ΔT , および数字の中から必要なものを用いて埋めよ。

容器中の n [mol] の理想気体の定積変化を考える。定積変化前後での気体の温度変化を ΔT [K] とする。定積変化の間に気体が外部にする仕事は [J] であり、この間の理想気体の内部エネルギーの変化は [J] で与えられる。これらの結果と熱力学第 1 法則から、理想気体の定積モル比熱は [J/(mol·K)] である。

次に、容器中の n [mol] の理想気体の定圧変化を考える。定圧変化前後での気体の温度変化を ΔT [K] とする。理想気体の状態方程式 を用いれば、定圧変化の間に気体が外部にする仕事は [J] であり、この間の理想気体の内部エネルギーの変化は [J] で与えられる。これらの結果と熱力学第 1 法則から、理想気体の定圧モル比熱は [J/(mol·K)] である。

- 問 2 容器中の n (mol) の単原子分子理想気体に対して、定積変化と定圧変化を組み合わせ、図 4 に示すサイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を実現した。状態 A の理想気体の圧力、体積、温度はそれぞれ p_0 (Pa)、 V_0 (m³)、 T_0 (K) とする。状態 B の理想気体の圧力は $x p_0$ (Pa) とし、 x は $x > 1$ を満たす数値とする。
- (1) サイクルを一周だけ実現する間に理想気体が外部にする正味の仕事を p_0 、 V_0 、 x を用いて表せ。
 - (2) 状態 B、C、D の理想気体の温度を、それぞれ T_B (K)、 T_C (K)、 T_D (K) とする。 T_B 、 T_C 、 T_D を、 T_0 と x の中から必要なものを用いて表せ。
 - (3) 2 つの定積変化 $A \rightarrow B$ と $C \rightarrow D$ において理想気体が外部から吸収する熱量を、それぞれ $Q_{A \rightarrow B}$ (J) と $Q_{C \rightarrow D}$ (J) とする。 $Q_{A \rightarrow B}$ と $Q_{C \rightarrow D}$ を、 n 、 R 、 T_0 、 x の中から必要なものを用いて表せ。熱量は、理想気体が吸収する場合を正とし、放出する場合を負とする。
 - (4) 2 つの定圧変化 $B \rightarrow C$ と $D \rightarrow A$ において理想気体が外部から吸収する熱量を、それぞれ $Q_{B \rightarrow C}$ (J) と $Q_{D \rightarrow A}$ (J) とする。 $Q_{B \rightarrow C}$ と $Q_{D \rightarrow A}$ を、 n 、 R 、 T_0 、 x の中から必要なものを用いて表せ。熱量は、理想気体が吸収する場合を正とし、放出する場合を負とする。
 - (5) サイクルの熱効率 e を x を用いて表せ。
 - (6) $x = 2$ および $x = 10$ のときの熱効率 e を分数で答えよ。また、熱効率 e を縦軸、 x を横軸にとり、 $1 < x \leq 10$ の範囲でグラフの概形を描け。

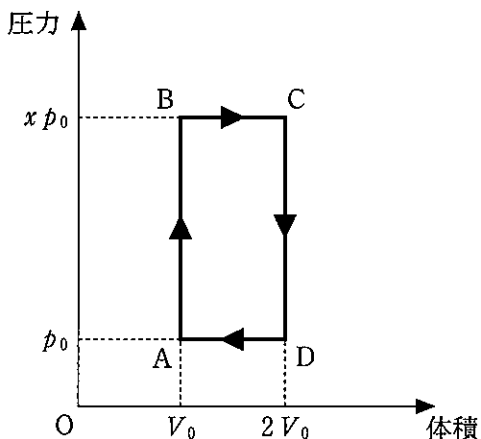


図 4