

令和7年度入学者選抜試験問題

工 学 部

(高分子・有機材料工学科, 化学・バイオ工学科,
情報・エレクトロニクス学科,
機械システム工学科, システム創成工学科)

理 科 (物 理)

前 期 日 程

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 この問題冊子の本文は、1 ページから 6 ページまでです。
- 3 解答は、物理専用の解答用紙を使用してください。
- 4 問題は 3 問からなっています。**問題番号と一致した解答用紙**に記入してください。
- 5 すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は、採点できないことがあります。
- 6 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

第1問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。答えは解答用紙の指定の箇所に記入すること。なお、重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

[A] 図1は質量 m [kg] で、一辺の長さが $2a$ [m] の一様な立方体が、粗く水平な床の上に置かれているようすを真横から見たものである。

点Aに軽い糸をつけ、糸を水平からある角度 θ ($0^\circ \leq \theta < 45^\circ$) の向きに大きさ F [N] で引いたとき、立方体は静止していた。

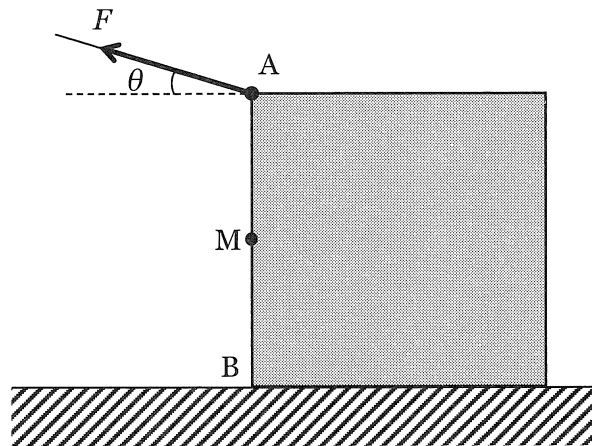


図1

- (1) 点Aに作用する力の水平方向成分の大きさ F_x [N] を、 θ , F を用いて表せ。
- (2) 立方体が床から受ける垂直抗力の大きさ N [N] を、 θ , g , m , F を用いて表せ。
- (3) 点Bから垂直抗力の作用点までの距離 x [m] を、 θ , a , g , m , F , N を用いて表せ。
- (4) 角度 θ のまま引く力をしだいに大きくしていくと、大きさ F_1 [N] をこえた直後に、立方体は床の上をすべることなく傾き始めた。 F_1 を、 θ , g , m を用いて表せ。
- (5) 糸を点AからABの中点Mにつけかえ、(4)と同じ θ , F_1 で引いたとき立方体はどうなるか、適切なものを次の(ア)～(ウ)から選び、記号で答えよ。
(ア) 静止したまま, (イ) すべり始める, (ウ) 傾き始める
- (6) 糸を点Mから点Aにつけ直し、角度 $\theta = 0^\circ$ で糸を引き、その力をしだいに大きくしたとき、立方体が床の上をすべることなく傾き始めるための静止摩擦係数 μ の条件を答えよ。

[B] 図 2 のように、長さ r [m] の軽い糸の一端に取り付けられた質量 m [kg] の小球が、点 O からつるされて、点 P で静止している。この小球に水平方向に大きさ v_0 [m/s] の初速度を与えたところ、小球は半径 r で鉛直面内を円運動して点 O の真上の点 Q に達した。

- (7) 点 Q で小球の速さ v_Q [m/s] を、 g , r , v_0 を用いて表せ。
 (8) 点 Q における糸の張力 T [N] を、 g , m , r , v_0 を用いて表せ。
 (9) 糸がたるまずに小球が円運動するために必要な v_0 の最小値 v_P [m/s] を、 g , r を用いて表せ。

点 P で与える水平方向の初速度を変えて同じ実験をしたところ、図 3 のように、小球が点 H を通過した直後に糸がたるみ、小球は放物運動した。点 H を通過してから t [s] 後に最高点に達し、その後、点 H を通る水平線を横切った。ここで、 $\angle HOQ$ を θ [rad] とする。なお、糸は小球の放物運動に影響しない。

小球が点 H に達するまでに糸の張力がした仕事の大きさは $\boxed{(a)}$ [J] で、重力がした仕事の大きさは $\boxed{(b)}$ [J] である。

- (10) $\boxed{(a)}$ と $\boxed{(b)}$ に当てはまるものを次の(ア)～(オ)からそれぞれ選び、記号で答えよ。

(ア) 0, (イ) $mgr(1 + \cos\theta)$, (ウ) $mgr(1 + \sin\theta)$, (エ) $mgr(\frac{1}{2} + \cos\theta)$, (オ) $mgr(\frac{1}{2} + \sin\theta)$

- (11) 点 H における小球の速さ v_H [m/s] を、 g , r , θ を用いて表せ。
 (12) 最高点に達するまでの時間 t を、 g , v_H , θ を用いて表せ。
 (13) 小球が水平線を横切るときの点 H からの距離 X [m] を、 g , v_H , θ を用いて表せ。

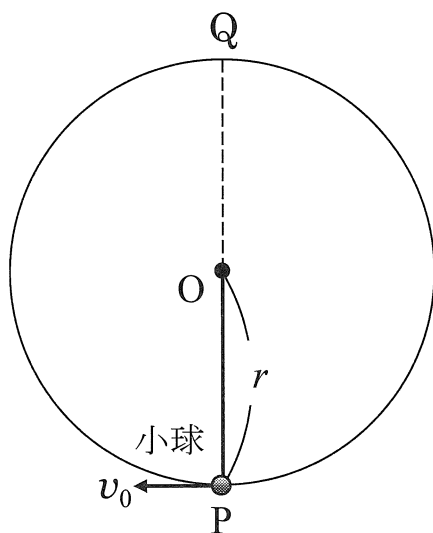


図 2

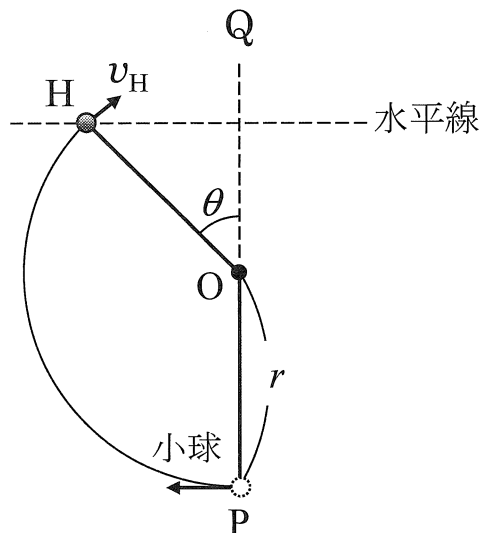


図 3

第2問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。答えは解答用紙の指定の箇所に記入すること。

[A] 図1の xy 平面の x 軸上で原点 O から左へ距離 a [m]の点 $(-a, 0)$ に、電気量 Q [C] ($Q > 0$)をもつ小球 A を固定した。続いて、同じ電気量 Q をもつ小球 B を、電気を通さない長さ $2a$ の軽い糸で小球 A とつなぎ、点 $(a, 0)$ に静かに置いた。クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$]とし、重力は無視する。

- (1) x 軸上で、電場の強さが0となる点の x 座標を求めよ。ただし無限遠点は除く。
- (2) 小球 B が小球 A から受ける力の大きさ F [N]を、 a, k, Q を用いて表せ。
- (3) 糸を静かに切ったところ、固定された小球 A は動かず、固定されていない小球 B だけが右へ運動した。小球 B が無限遠点に達したときにもつ運動エネルギー U [J]を、 a, k, Q を用いて表せ。

次に、図1の配置に戻し、小球 A と B を固定した。

- (4) y 軸上の点 $(0, a)$ における電場の強さ E [V/m]を、 a, k, Q を用いて表せ。
- (5) 原点 O における電位 V [V]を、 a, k, Q を用いて表せ。ただし、無限遠点の電位を0とする。

最後に、図2のように質量 m [kg]、電気量 Q の小球 C を点 $(0, \sqrt{3}a)$ から y 軸の負の向きに打ち出したところ、小球 C は y 軸に沿って直進し、原点 O を通過した。この間、固定された小球 A と B は動かなかった。

- (6) 小球 C が原点 O に達するための最小の打ち出しの速さ v [m/s]を、 a, k, m, Q を用いて表せ。

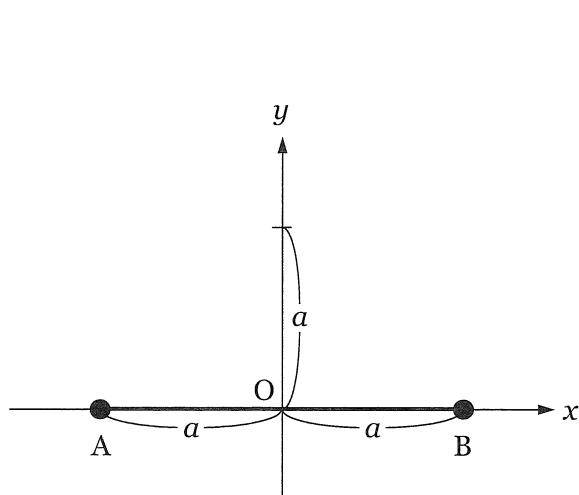


図1

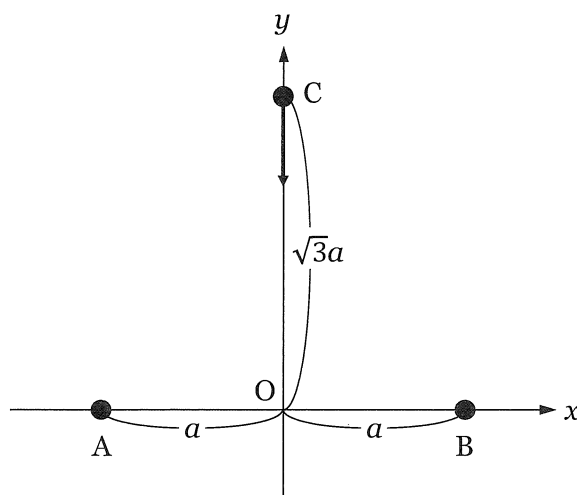


図2

[B] 図3のように、真空中に平行板コンデンサーがある。極板は幅 0.10 m 、奥行き 0.10 m の正方形で、極板の間隔は 0.020 m である。真空の誘電率は ϵ_0 [F/m] である。以下の問いに答えよ。

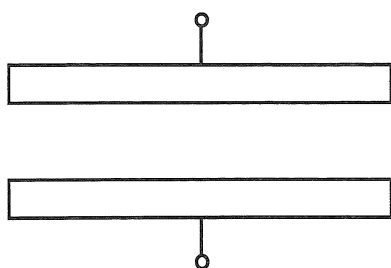


図3

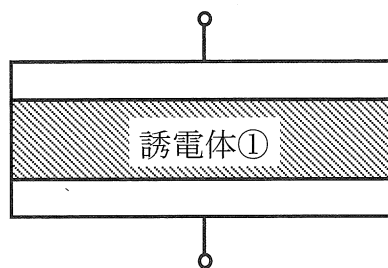


図4

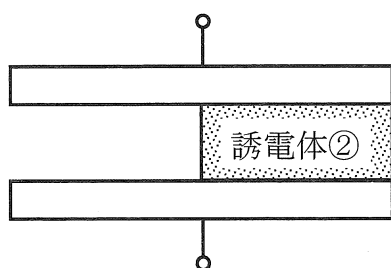


図5

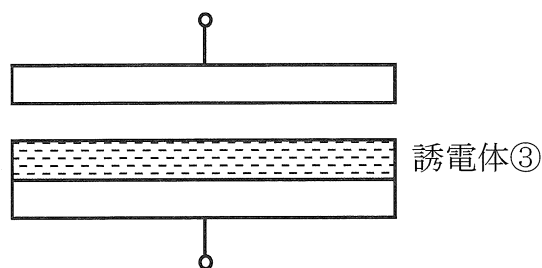


図6

- (7) 図3のコンデンサーの電気容量 C_0 [F] を ϵ_0 を用いて表せ。
- (8) 図4のように、この極板間を比誘電率 10 の誘電体①で満たしたコンデンサーの電気容量 C_1 [F] は C_0 の何倍か答えよ。
- (9) 図5のように、比誘電率 9.0、幅 0.050 m 、奥行き 0.10 m 、高さ 0.020 m の誘電体②を、この極板間の右半分に入れたコンデンサーの電気容量 C_2 [F] は C_0 の何倍か答えよ。
- (10) 図6のように、比誘電率 4.0、幅 0.10 m 、奥行き 0.10 m 、高さ 0.010 m の誘電体③を、下の極板の上に置いたコンデンサーの電気容量 C_3 [F] は C_0 の何倍か答えよ。

図3のコンデンサーの極板間に電池をつないで電気量 Q [C] を蓄えた。このときのコンデンサーの静電エネルギーは U_0 [J] であった。この後、電気量 Q が逃げないようにしながら電池を取り外し、図4のようにコンデンサーの極板間を比誘電率 10 の誘電体①で満たす操作を行ったところ、極板間の電圧が V_1 [V] になり、コンデンサーの極板間に蓄えられている静電エネルギーが U_1 [J] に変化した。

- (11) 静電エネルギー U_0 を、 Q 、 ϵ_0 を用いて表せ。
- (12) 電圧 V_1 を、 Q 、 ϵ_0 を用いて表せ。
- (13) 静電エネルギーの変化量 $U_1 - U_0$ を、 Q 、 ϵ_0 を用いて表せ。

第3問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。答えは解答用紙の指定の箇所に記入すること。なお、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

[A] 図1のように容器の上部に質量が無視できるピストンが設置してある。ピストンは滑らかに動くことができ、その断面積は S [m²] である。容器内には物質質量 n [mol] の理想気体が入っており、気体と容器およびピストンとの間に熱のやりとりはないものとする。はじめ、加熱装置をはたらかせない状態で、ピストンは図1(a)のように静止している。次に、ピストンに重さ m [kg] のおもりを静かにのせたとき、ピストンはゆっくり下降し、図1(b)のように容器の底面から x_1 [m] の位置で静止した。このとき、容器内の気体の圧力と温度は、それぞれ p [Pa]、 T [K] となった。ただし、重力加速度の大きさを g [m/s²]、大気圧を p_0 [Pa] とする。加熱装置の体積は無視できる。

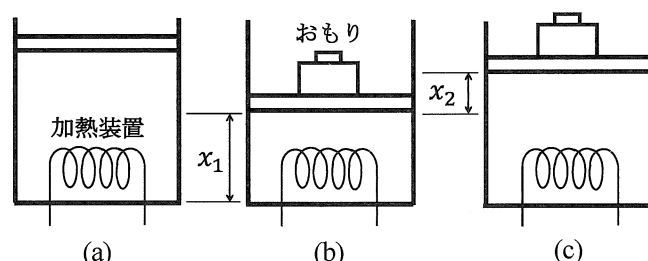


図1

- (1) おもりをのせてピストンが下降しているときの、容器内の気体の温度変化をもっともよく表す図を、図2の(ア)、(イ)、(ウ)から選び、記号で答えよ。

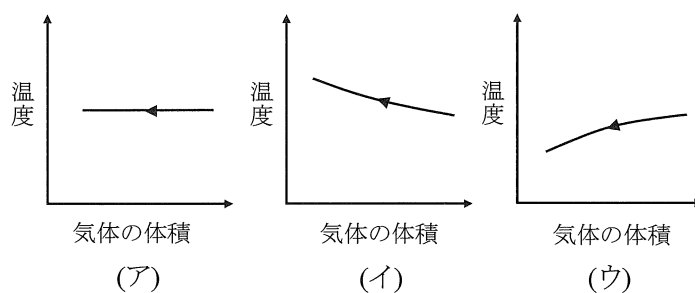


図2

- (2) p を、 g 、 m 、 p_0 、 S を用いて表せ。
 (3) T を、 n 、 p 、 R 、 S 、 x_1 を用いて表せ。

次に、図1(b)の容器内の気体に加熱装置で熱量 Q [J] をゆっくりと加えたところ、ピストンはゆっくり x_2 [m] 上昇して、図1(c)のように静止した。このとき、気体の温度は ΔT [K] だけ上昇した。

- (4) 気体が外部にした仕事 W [J] を、 p 、 S 、 x_2 を用いて表せ。
 (5) 気体の内部エネルギーの変化 ΔU [J] を、 p 、 Q 、 S 、 x_2 を用いて表せ。
 (6) この気体の定圧モル比熱 C_p [J/(mol·K)] を、 n 、 Q 、 ΔT を用いて表せ。

[B] 図3のように、一辺が L [m]の立方体容器の中を飛び回る単原子分子理想気体の分子1個について考える。分子は質量が m [kg]で一定の速さで直線的に運動し、容器のなめらかな壁と弾性衝突をするものとする。すなわち、分子と壁との衝突前後では、分子の速度の大きさは変化せず、壁に垂直な成分のみ向きが逆になる。はじめに、図3のように x, y, z 軸をとり、この分子が x 軸に垂直な壁Aではね返りながら運動する場合について考える。ここで、図4のように、分子が壁Aに衝突する直前の速度 $\vec{v}$ [m/s]の大きさを v とし、 x, y, z 軸方向の成分をそれぞれ v_x, v_y, v_z とする。ただし、重力の影響を無視する。

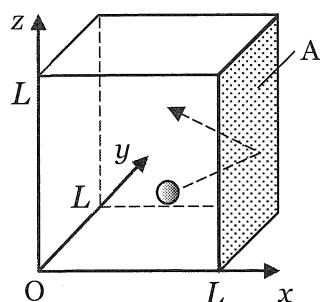


図3

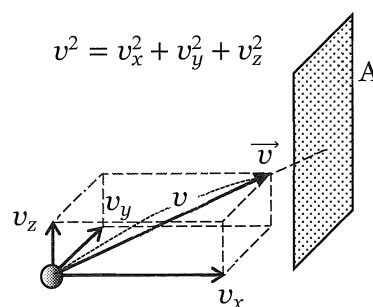


図4

- (7) 分子が壁Aに衝突する直前の運動量の x 成分 a [kg·m/s]を、 m, v_x を用いて表せ。
- (8) 壁Aが1回の衝突で分子から受ける力積 I [N·s]を、 m, v_x, L の中から適切な記号を用いて表せ。
- (9) この分子が1秒間に壁Aに衝突する回数 b を、 m, v_x, L の中から適切な記号を用いて表せ。

次に、容器内をさまざまな速度で飛び回る N 個の分子について考える。ただし、分子どうしは衝突しないものとする。分子 N 個の v_x^2 の平均を $\overline{v_x^2}$ と表す。

- (10) 壁Aが1秒間に受ける力積は分子1個あたり bI であり、これは壁Aが1個の分子から受ける力を時間的に平均した値に等しい。壁Aが N 個の分子から受ける平均の力 F [N]を、 $m, \overline{v_x^2}, L, N$ を用いて表せ。

分子 N 個の v^2 の平均を $\overline{v^2}$ と表すと、分子の運動はどの方向に対しても均等なので、 $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$ である。

- (11) 壁Aが N 個の分子から受ける圧力 p [Pa]を、 $m, \overline{v^2}, L, N$ を用いて表せ。
- (12) アボガドロ定数を N_A [/mol]とすると、物質量は N/N_A で与えられる。気体の温度を T [K]、気体定数を R として、分子1個あたりの平均運動エネルギー $\frac{1}{2} m \overline{v^2}$ を、 N_A, R, T を用いて表せ。
- (13) 分子の二乗平均速度 $\sqrt{\overline{v^2}}$ を、 m, N_A, R, T を用いて表せ。