

平成 27 年度入学者選抜試験問題

工 学 部

(機能高分子工学科, 物質化学工学科, 情報科学科, 電気電子工学科,
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 8 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 [I], [II], [III], [IV] からなっています。解答は問題番号と一致した解答用紙に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には、計算過程も記入してください。
- 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。

[I]

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (8) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図1のように、傾きの角 θ ($\theta < 45^\circ$) の斜面が水平面と点Pでなめらかに接続されている。はじめ、水平面からの高さ h [m]にある斜面上の点Oから、質量 m [kg]の物体Aを斜面に沿って静かにはなした。図2に示すように、物体Aが点Pに達したとき、質量 m [kg]の物体Bを水平面からの高さ H [m]の位置より自由落下させた。物体Bは点Oで弾性衝突をしてはねかえり、水平面上を右向きに進んでいた物体Aと点Qで衝突した。水平方向右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。水平面と斜面はなめらかな面とする。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とし、物体の大きさ、および空気抵抗は無視できるものとする。

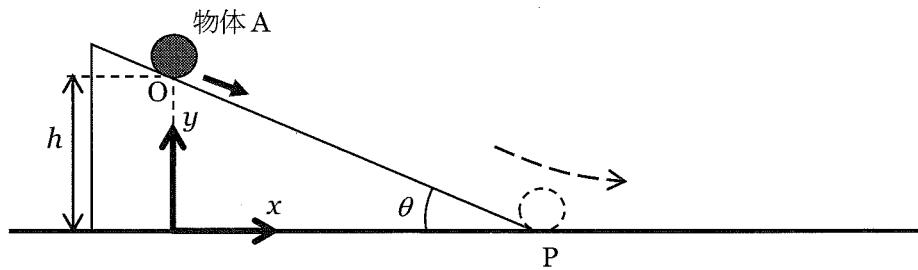


図 1

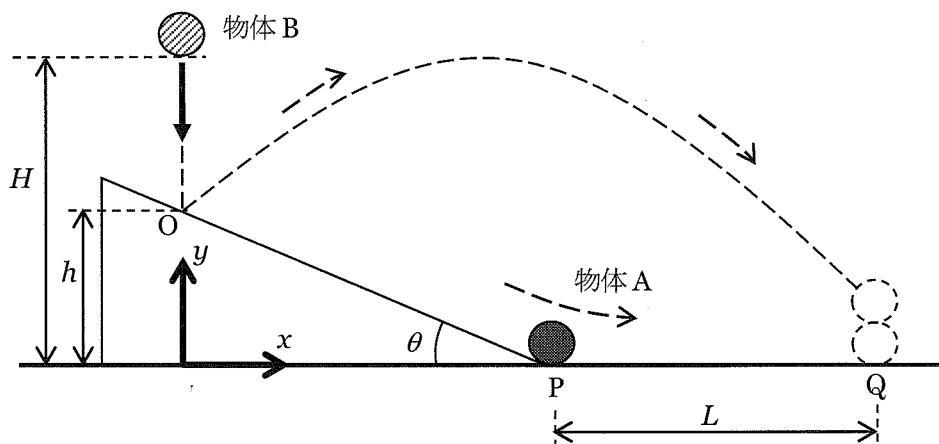


図 2

- (1) 物体Aが斜面をすべりおりるとき、物体Aが斜面から受ける力の大きさ $N[N]$ を、 θ, g, m を用いて表せ。
- (2) 物体Aが斜面をすべりおりるときの加速度の大きさ $a[m/s^2]$ を、 θ, g を用いて表せ。
- (3) 物体Bが点Oで斜面に衝突する直前の速さ $V[m/s]$ を、 g, h, H を用いて表せ。
- (4) 図3を参考にして、物体Bが点Oで弾性衝突した直後の x 方向と y 方向の速さ $V_x[m/s]$ と $V_y[m/s]$ を、 θ, V を用いてそれぞれ表せ。
- (5) 物体Bと斜面との衝突で、物体Bに与えられた力積の大きさ $F\Delta t[N \cdot s]$ を、 θ, m, V を用いて表せ。
- (6) 物体Bが点Oではねかえってから点Qに達するまでの時間 $t_0[s]$ を、 g, h, V_y を用いて表せ。
- (7) 点Pから点Qまでの距離 $L[m]$ を、 θ, h, t_0, V_x を用いて表せ。
- (8) 高さ H を、 g, h, t_0, L を用いて表せ。

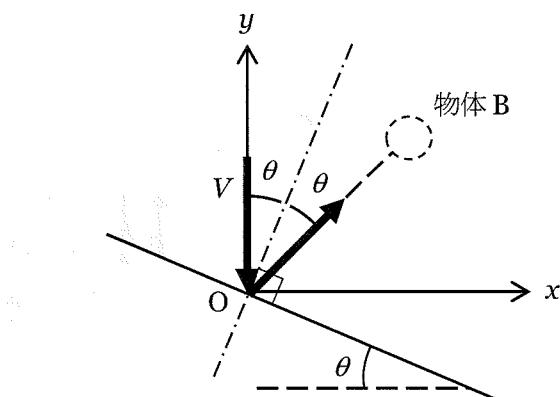


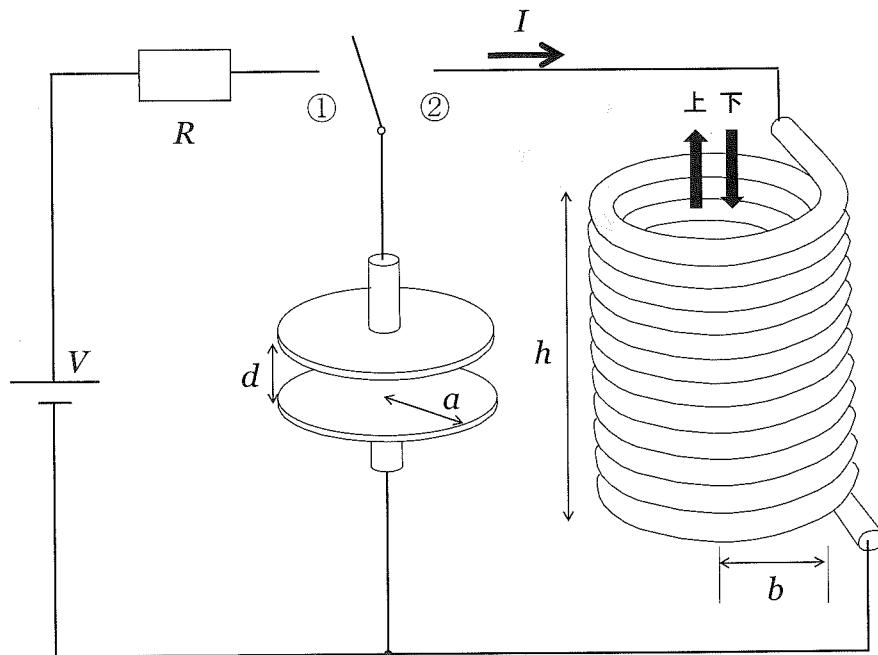
図3

[II]

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (10) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図のように、電池、スイッチ、抵抗、コンデンサー、コイルからなる回路がある。電池の電圧は V [V]、抵抗の値は R [Ω] である。円形の平行板コンデンサーの半径は a [m]、極板間隔は d [m] である。コイルの巻数は N 、長さは h [m]、半径は b [m] である。 h は b に比べて十分に大きく、コイルの内部には一様な磁界（磁場）が形成されるとする。空気の誘電率および透磁率を、それぞれ ϵ [F/m]、 μ [N/A²] とする。ただし、 $\epsilon = \frac{1}{4\pi k}$ (k [N·m²/C²] はクーロンの比例定数) である。

はじめ、スイッチは①側と②側のいずれにも接続されていない。電池の内部抵抗、コイルおよび導線の抵抗は無視できるものとする。



図

コンデンサーの一方の極板に $+ Q_0$ [C]、他方の極板に $- Q_0$ [C] の電気量を与えたとき、極板間には一様な電界（電場）が生じた。

- (1) 極板間の電界の強さ E_0 [V/m] を、 ϵ, a, d, Q_0 の中から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 極板間の電位差 V_0 [V] を、 ϵ, a, d, Q_0 の中から必要な記号を用いて表せ。
- (3) コンデンサーの電気容量 C [F] を、 ϵ, a, d, Q_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

次に、コンデンサーを放電させて極板上の電気量を0にした後、スイッチを①側に接続した。

- (4) スイッチを①側に接続した直後に回路に流れる電流 I_s [A]と、十分に時間が経過した後に回路に流れる電流 I_e [A]をそれぞれ求めよ。
- (5) 十分に時間が経過すると、コンデンサーには静電エネルギーが蓄えられる。そのエネルギーを蓄えるために電池がした仕事 W [J]を、 C, R, V の中から必要な記号を用いて表せ。

さらに、スイッチを②側に切り替えると、はじめ電流 I [A]は図中に示した向きに流れた。このとき、コイルの内部に生じる磁界の強さ H [A/m]は以下の式で与えられる。

$$H = \frac{N}{h} I$$

- (6) コイルの内部の磁束密度の大きさ B [T]を、 μ, b, h, I, N の中から必要な記号を用いて表せ。また、スイッチを切り替えた直後にコイルの内側に生じる磁界の向きは、図中の上下どちら向きであるか答えよ。
- (7) 時間 Δt [s]の間に電流が ΔI [A]、磁束が $\Delta\Phi$ [Wb]だけ変化したとき、単位時間あたりの磁束の変化 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ を、 $\mu, b, h, \Delta t, \Delta I, N$ の中から必要な記号を用いて表せ。
- (8) コイルの自己インダクタンス L [H]を、 μ, b, h, N を用いて表せ。
- (9) この回路では電気振動が起こる。振動電流の最大値 I_m [A]を、 C, L, V を用いて表せ。
- (10) コンデンサーの極板間隔 d を変化させると、電気振動の周波数 f [Hz]も変化する。極板間隔が d_0 [m]のとき周波数が f_0 [Hz]であったとすると、周波数が $2f_0$ [Hz]になるときの極板間隔 d_1 [m]を、 d_0 を用いて表せ。

[III]

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (8) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図 1 のように、なめらかに動く軽いピストンとコック付きの細管が接続された断面積 S [m²] の円筒容器 A に、物質量 n_A [mol] の单原子分子理想気体を封入して、ピストン上に質量 m [kg] のおもりをのせた。十分に時間が経過した後、容器内の気体の温度は T_0 [K]、容器底面からピストンまでの高さは h_0 [m] になった。気体定数を R [J/(mol · K)]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、細管の体積は無視できるものとする。また、おもりによる圧力は十分に大きく、大気圧の影響は無視できるものとする。

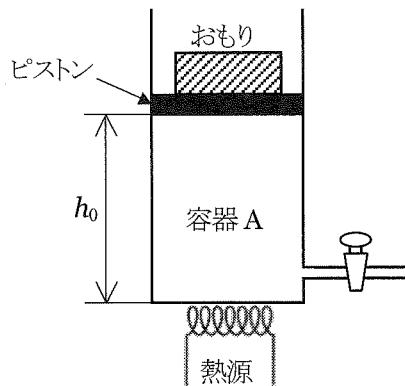


図 1

- (1) 容器 A 内の気体の温度 T_0 を、 g, h_0, m, n_A, R を用いて表せ。

質量 m のおもりの上に質量 $2m$ [kg] のおもりを追加した。十分に時間が経過した後、気体の温度は T_0 、容器底面からピストンまでの高さは h_1 [m] になった。次に、容器 A 内の気体を加熱したところピストンの高さは h_0 に戻った。

- (2) 高さ h_1 を、 g, h_0, m, S の中から必要な記号を用いて表せ。
 (3) 加熱の過程で気体がした仕事 W_1 [J] を、 g, h_0, h_1, m の中から必要な記号を用いて表せ。

加熱をやめて十分に時間が経過すると、気体の温度は T_0 、ピストンの高さは h_1 にそれぞれ戻った。その後、容器 A を断熱材で囲み、ピストン上から質量 $2m$ のおもりだけを取り去ったところ、容器 A 内の気体の温度は T_1 [K]、容器底面からピストンまでの高さは h_2 [m] になった。なお、細管やコックおよびピストンからの熱の出入りはないものとする。

- (4) 質量 $2m$ のおもりを取り去り、温度が T_1 になるまでに気体がした仕事 W_2 [J] を、 n_A, R, T_0, T_1 を用いて表せ。

- (5) 容器 A 内の気体の温度変化 $(T_1 - T_0)$ [K]を, g, h_1, h_2, m, n_A, R を用いて表せ。

次に、図 2 のように断熱された容器 A のピストンをストッパーで固定し、底面積 $2S$ [m²]、高さ $2h_2$ [m] の円筒形断熱容器 B を細管につないだ。容器 B には容器 A と同じ单原子分子理想気体が n_B [mol] 封入されており、その温度は T' [K] である。その後、細管のコックを開け十分に時間が経過したところ平衡状態に達し、気体の温度は T_2 [K] になった。

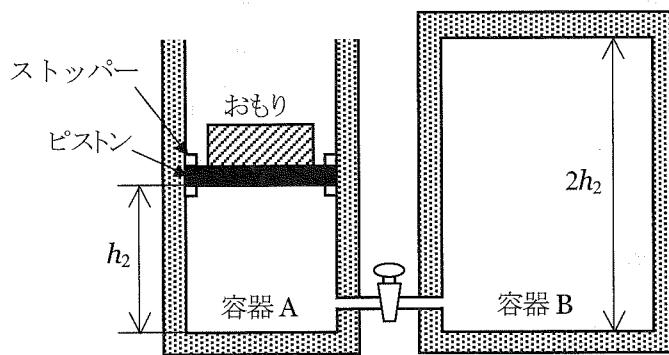


図 2

- (6) 物質量の総和が変化しないことに注意して、容器 A 内の気体の物質量 n'_A [mol]を, g, h_2, m, n_A, n_B から必要な記号を用いて表せ。
- (7) 気体の内部エネルギーの総和は、コックを開く前と後でどれだけ変化したか、その差 ΔU [J]を求めよ。
- (8) 温度 T_2 を, n_A, n_B, T_1, T' を用いて表せ。

[IV]

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (7) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図(a)のように、点 A に音源 S があり、点 B に観測者 O がいて、ともに AB を通る直線上を動く。音源 S の振動数を f [Hz]、波長を λ [m]、音の速さを V [m/s] とする。

音源 S が、静止している観測者 O に向かって一定の速度 v_s [m/s] で近づく場合を考える。音源 S は点 A から、図(b)のように時間 t [s] の後に点 A' に到達する。その間に音源 S は ① 個の波を出しながら、② [m] 進む。点 A を出た音波は、時間 t の間に ③ [m] 進み点 C に到達する。A'C 間には ④ 個の波が含まれ、観測者 O はこの音を聞く。この音波の波長 λ_1 [m] は、次のようになる。

$$\lambda_1 = \frac{(A'C \text{ 間の距離})}{(A'C \text{ 間の波の数})} = ④$$

よって、観測者 O が聞く音の振動数 f_1 [Hz] は、 $f_1 = \frac{V}{V - v_s} f$ と表され、 f_1 は、 f ⑤ (ア) なるため、音は元の音 ⑥ (イ) 聞こえる。

一方、観測者 O が静止した音源から一定の速度 v_0 [m/s] で遠ざかる場合、観測者 O が聞く音の振動数 f_2 [Hz] は、 $f_2 = \frac{V - v_0}{V} f$ と表され、 f_2 は、 f ⑦ (ウ) なるため、音は元の音 ⑧ (エ) 聞こえる。ただし、 v_s および v_0 は V より小さいとする。

(1) 上の文章の空欄①から④を適切な式で埋めよ。

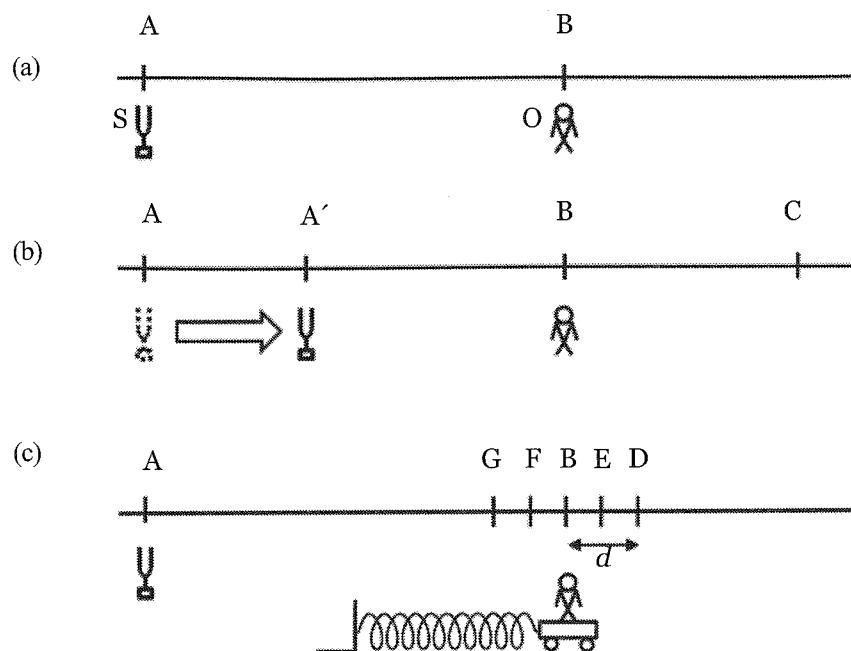
(2) 上の文章の空欄 (ア) から (エ) にあてはまるもっとも適切な語句を以下の語群からそれぞれ選べ。

語群 { より大きく、 より小さく、 と同じに、 より低く、 より高く }

次に、点 B に静止している観測者 O が長さ L [m] の閉管に息を吹き込み、基本振動数の音を発生させた。その音は、静止している音源 S の音と干渉し、1秒間に3回のうなりを生じた。音源 S が動きだし、速度を変えて近づいてくると、うなりの回数が減少し、音源の速度が v_1 [m/s] のとき、うなりが消えた。

(3) 長さ L の閉管から発生する音の振動数 f_L [Hz] を、 L, V を用いて表せ。

(4) 音源の速度 v_1 を、 f, V を用いて表せ。



図

こんどは、図(c)のように、観測者 O がばねにより振動する台車に乗って音を観測する場合を考える。点 B にある台車に、ばね定数 k [N/m] のばねを接続し、その位置でばねが自然の長さになるようにばねの左端を固定した。ばねを d [m] 伸ばして点 D で静かになしたところ、観測者 O は点 D と点 G の間を単振動した。このとき静止した音源 S から発する音が、観測者 O には高さが変化して聞こえた。ここで、点 E と点 F はそれぞれ BD , BG の中点とする。台車と観測者 O の質量の合計を m [kg] とし、台車と床の摩擦は無視する。

- (5) 観測者 O の速さの最大値 v_m [m/s] を、 d, k, m を用いて表せ。
- (6) 観測者 O が聞く音の振動数 f_3 [Hz] が音源から発する音の振動数 f と等しくなるときの観測者 O の位置を、図(c)の記号の中から選び、すべて答えよ。
- (7) f_3 が最大となるときの観測者 O の位置と速度の向きを答えよ。また、このときの最大値 f_m [Hz] を、 f, v_m, V を用いて表せ。