

平成28年度入学試験問題

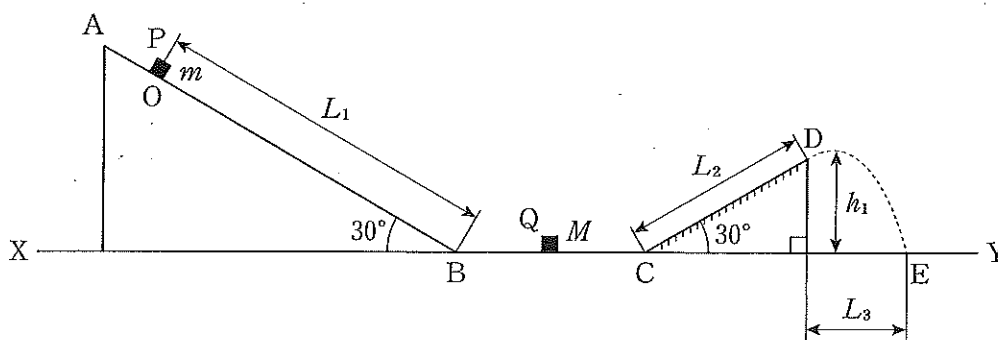
物 理

注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答はすべて解答用紙の指定されたところに記入しなさい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は4枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて12ページあります。問題は4ページから11ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出なさい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰ること。

1 なめらかな斜面 AB とあらい斜面 CD が、図のようにそれぞれ 30° の角度で水平面 XY 上に固定されている。斜面 AB 上の点 O で質量 m [kg] の小物体 P を静かにはなしたところ、P は斜面上を距離 L_1 [m] すべり、なめらかな水平面 BC 上に置かれている質量 M [kg] ($M > m$) の小物体 Q と衝突した後、その場で停止した。Q は衝突後、水平面上を右へ進んだ後、斜面 CD 上を距離 L_2 [m] 進み、点 D から飛び出した。その後、Q は高さ h_1 [m] の最高点まで到達したのち落下し、水平面と点 E で衝突した。P および Q の大きさは無視でき、空気抵抗は考えなくてよい。また、小物体は、点 B および点 C においてなめらかに運動する。Q と斜面 CD との間の動摩擦係数を μ' 、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。以下の問いに答えよ。答えは **1** の解答用紙の該当欄に記入せよ。なお、 $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ 、 $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ を用いよ。

- (a) Q と衝突する直前の P の速さを v_0 [m/s] とする。 v_0 を L_1 , g を用いて表せ。
- (b) P との衝突直後の Q の速さを V_1 [m/s] とする。 V_1 を m , M , L_1 , g を用いて表せ。
- (c) Q が斜面 CD 上を運動するとき、Q の加速度 a [m/s²] を、斜面に沿って上向きを正として μ' , g を用いて表せ。
- (d) Q が点 C から点 D まで運動する間に、Q に働く動摩擦力がした仕事 W [J] を M , μ' , g , L_2 を用いて表せ。
- (e) 点 D から飛び出すときの Q の速さを V_2 [m/s] とする。 V_2 を V_1 , L_2 , μ' , g を用いて表せ。
- (f) Q が点 D を通過して飛び出すために、 m , M , L_1 , L_2 , μ' が満たすべき関係を示せ。
- (g) Q が点 D を飛び出した瞬間から高さ h_1 の最高点に到達するまでの時間 t_1 [s] を V_2 , g を用いて表せ。
- (h) h_1 を V_2 , L_2 , g を用いて表せ。
- (i) Q が高さ h_1 の最高点から点 E に到達するまでに要する時間を t_2 [s] とする。 t_2 を g , h_1 を用いて表せ。
- (j) 点 D から点 E までの水平距離 L_3 [m] を V_2 , h_1 , g を用いて表せ。



2 図1のような正弦波を考える。図1の横軸は位置 x [m]，縦軸は媒質の変位 y [m] を表している。波は x 軸の正の向きに進んでいる。実線は $t = 0$ における媒質の変位，破線は $t = t_1$ [s] ($t_1 > 0$) における媒質の変位のグラフである。時刻 $t = 0$ から t_1 までの時間は波の1周期より短い。以下の問いに答えよ。答えは 2 の解答用紙の該当欄に記入せよ。問(a)では，文章中の に適切な記号や式を入れ文章を完成せよ。問(b)から問(e)では各問いの指示に従い答えよ。問(c)をのぞき，答えは設問中や図中の記号を用いて書け。

- (a) この波の振幅は [m]，波長は [m]，速さは [m/s]，周期は [s]，振動数は [Hz] である。
- (b) 時刻 t ，位置 x における媒質の変位 y を表す式を書け。
- (c) $x = d$ の位置に，反射板を x 軸と垂直に置いて波を反射させた。じゅうぶん時間が経過したある時刻の反射板への入射波は図2に示す波形であった。この時刻の反射波の波形を解答欄のグラフに実線で描け。なお，波は反射板の位置で固定端反射をし，反射によって減衰することはないとする。
- (d) 反射板を置いてからじゅうぶん時間が経過したときの，時刻 t ，位置 x ($x \leq d$) における反射波による媒質の変位 y を表す式を書け。
- (e) 入射波と反射波により定常波ができる。 $-4d \leq x \leq d$ の範囲にある節と腹の位置の x 座標の値をそれぞれすべて答えよ。

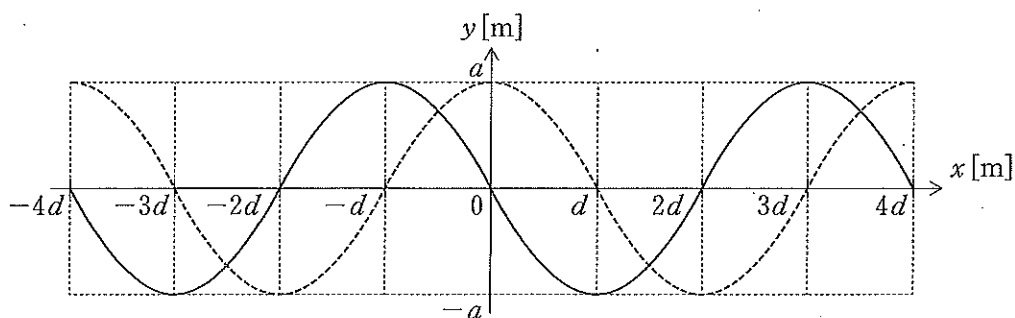


図1

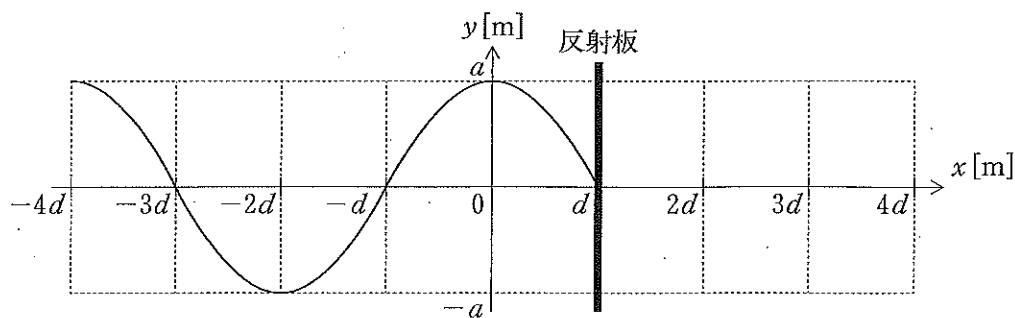


図2

3 図1のように断面積 S [m²], 長さ l [m], 巻き数 N_1 の密に巻かれた円筒状コイル1がある。コイル1には電流の大きさと向きを変化させることができる電源と抵抗値 R_1 [Ω] の抵抗 R_1 がつながれている。 l はコイルの直径に比べてじゅうぶん長い。コイルの巻き線は絶縁体で被覆されており、巻き線の抵抗値は無視できる。コイル内の磁場 (磁界) は一様で、コイル以外に流れる電流による磁場は無視できる。以下の問いに答えよ。コイルは空気中にあり、空気の透磁率は真空の透磁率 μ_0 [N/A²] とせよ。答えは **3** の解答用紙の該当欄に記入せよ。問(a), (b)および(c)は文章中の に適切な記号や式を入れ, (イ) は枠内の2つの選択肢から適切なものを選び, 文章を完成せよ。答えは問題文中の記号を用いて書け。問(d)は設問の指示に従え。

(a) コイル1に図1の矢印の向きに電流が流れており, その電流は矢印の向きを正として I_1 [A] である。このとき, コイル1の内部には強さ (ア) [A/m] の磁場が (イ) P から Q, Q から P の向きに生じる。コイル1内部の磁束密度の大きさは (ウ) [T] である。

(b) 問(a)のコイル1の内部に断面積が S [m²], 透磁率が μ [N/A²] の l よりじゅうぶん長い鉄心を挿入し, 問(a)と同じ I_1 [A] の電流を流した。鉄心内部の磁束密度の大きさは (ウ) の (エ) 倍になった。

鉄心が入った状態で, コイル1の電流を微小時間 Δt [s] 間に I_1 から ΔI_1 [A] ($\Delta I_1 > 0$) だけわずかに増加させた。鉄心内部の磁束密度は Δt 間に (オ) [T] 増加し, コイル1を貫く磁束は (カ) [Wb] 変化する。ファラデーの電磁誘導の法則より, コイル1には大きさが (キ) [V] の誘導起電力が生じ, 自己インダクタンスは (ク) [H] となる。

(c) 問(b)の鉄心の入ったコイル1の中央部に, 図2のように断面積が S のコイル2をコイル1と同じ向きに巻いた。コイル2の巻き数は N_2 である。コイル2には抵抗値 R_2 [Ω] の抵抗 R_2 とスイッチ SW がつながれており, スイッチ SW は開いている。コイル1の電流を問(b)と同じように Δt 間に I_1 から ΔI_1 ($\Delta I_1 > 0$) 増加させたとき, コイル2を貫く磁束の変化は (ケ) [Wb] であるので, コイル2には大きさが (ク) [V] の誘導起電力が生じる。したがって, コイル1とコイル2の相互インダクタンスは (ケ) [H] となる。コイル2の誘導起電力はコイル1の誘導起電力の (コ) 倍となる。

(d) 図2において, スイッチ SW を開けたままで, コイル1に流れる電流 I_1 を図3のように変化させた。コイル1の自己インダクタンスは 5.0×10^4 H, コイル1とコイル2の相互インダクタンスは 0.50 H とする。 $l = 0.10$ m, $S = 1.0 \times 10^{-4}$ m², $\mu = 5.0 \times 10^{-2}$ N/A², $R_1 = 1.0 \times 10^3$ Ω, $R_2 = 1.0 \times 10^2$ Ω の場合について以下の問いに答えよ。なお, 電流 I_1 は図2の矢印の向きを正, コイル2に接続した抵抗 R_2 に流れる電流 I_2 [A] は図2の矢印の向きを正とする。回路の導線の抵抗値は無視できる。

(i) コイル1の巻き数 N_1 を求めよ。

(ii) コイル2の巻き数 N_2 を求めよ。

(iii) コイル1に接続した電源の出力電圧 [V] (B点を基準とするA点の電位) を I_1 と $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ を用いて表せ。なお, 抵抗値および自己インダクタンスの値は数値を用いよ。

- (iv) 電源の出力電圧の時間変化を解答欄のグラフに示せ。 $t = 0\text{ s}$, 0.2 s , 0.6 s , 1.0 s の各時刻についてはグラフに示さなくてよい。
- (v) 次に、スイッチSWを閉じ、コイル1に流れる電流 I_1 を再び図3のように変化させた。電流 I_2 の時間変化を解答欄のグラフに示せ。コイル2の自己誘導は無視してよい。 $t = 0\text{ s}$, 0.2 s , 0.6 s , 1.0 s の各時刻についてはグラフに示さなくてよい。なお、グラフの縦軸の単位 1 mA は 10^{-3} A である。

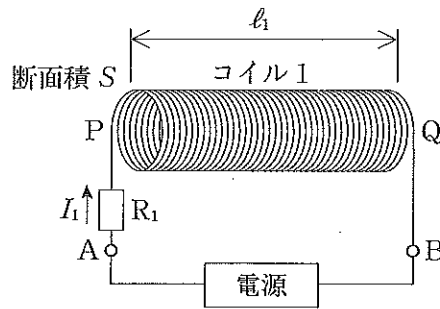


図1

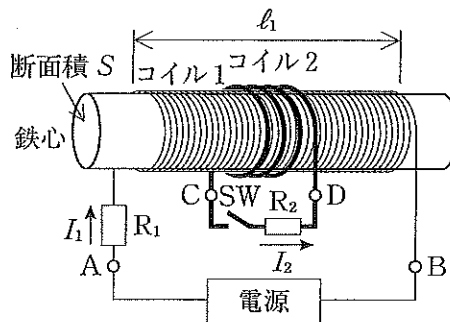


図2

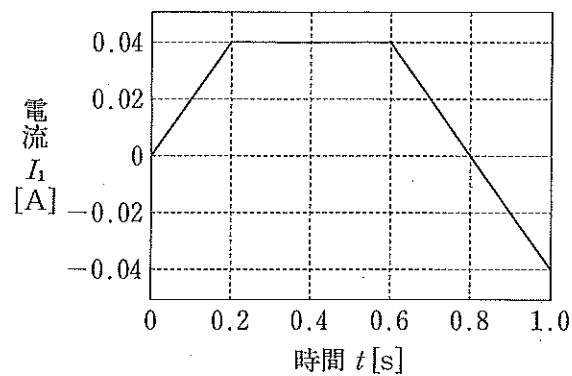


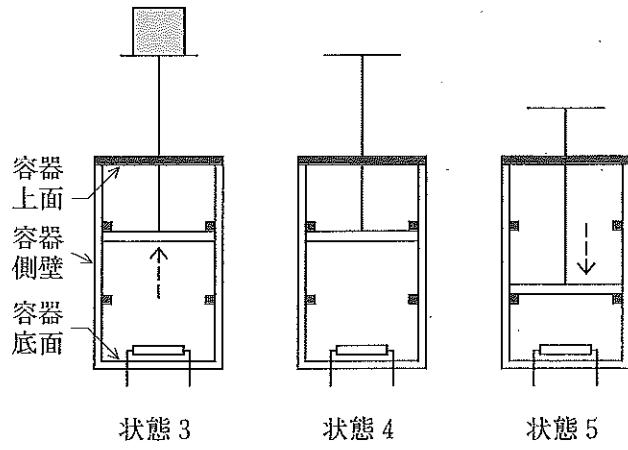
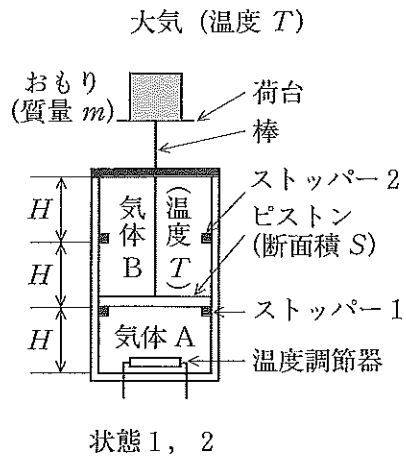
図3

4 図のように、断面積 $S[\text{m}^2]$ の円筒容器が水平面上に鉛直におかれている。容器はピストン（断面積 S ）によって上下に仕切られており、ピストンの下側には理想気体 A、上側には理想気体 B が密封されている。ピストンは、容器に固定された 2 つのストッパーの間を鉛直方向になめらかに動く。ピストンには細い棒が取り付けられており、容器上面の小さな穴を通して外部の荷台とつながっている。この穴から気体がもれることはない。気体 A は周囲と断熱されており、気体 A の温度は温度調節器を使って任意に設定することができる。気体 B は、容器上面が熱をよく通すため、大気温度 $T[\text{K}]$ と等しく保たれる。大気温度は変化しない。容器底面からストッパー 1、ストッパー 1 からストッパー 2、ストッパー 2 から容器上面の距離は、いずれも等しく $H[\text{m}]$ である。

はじめ、ピストンはストッパー 1 に接して静止しており、荷台には質量 $m[\text{kg}]$ のおもりがのっている。このとき、気体 A と気体 B の温度はいずれも T 、圧力はいずれも $p_1[\text{Pa}]$ である。この状態を状態 1 とする。

気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ 、重力加速度の大きさを $g[\text{m}/\text{s}^2]$ として、以下の問いに答えよ。ピストン・棒・荷台の質量、ピストン・容器・ストッパーの厚さ、温度調節器の大きさはいずれも無視できるものとする。答えは 4 の解答用紙の該当欄に記入せよ。答えには、 H, S, T, p_1, m, R, g のうち必要な記号を用いよ。

- 気体 A と気体 B の物質量 $n_A[\text{mol}]$ と $n_B[\text{mol}]$ をそれぞれ求めよ。
- 気体 B の圧力と気体 B の体積の関係を、ピストンが動く範囲で解答欄のグラフに示せ。
- 状態 1 から気体 A をゆっくりと加熱し、ピストンがストッパー 1 から離れた瞬間を状態 2 とする。状態 2 における気体 A の圧力 $p_2[\text{Pa}]$ を求めよ。
- 状態 2 からさらに気体 A をゆっくりと加熱し、ピストンがストッパー 2 に触れた瞬間に加熱をやめる。この状態を状態 3 とする。状態 3 における気体 A の圧力 $p_3[\text{Pa}]$ を求めよ。
- 状態 3 から、おもりを荷台から取り除いた後、気体 A をゆっくりと冷却する。ピストンがストッパー 2 から離れた瞬間を状態 4 とする。状態 4 における気体 A の圧力 $p_4[\text{Pa}]$ を求めよ。
- 状態 4 からさらに気体 A をゆっくりと冷却し、ピストンがストッパー 1 に触れた瞬間に冷却をやめる。この状態を状態 5 とする。状態 5 から荷台に質量 m のおもりをのせると状態 1 に戻る。状態 1 から状態 2, 3, 4, 5 を経て、状態 1 に戻るまでの 1 サイクルについて、気体 A の圧力と気体 A の体積の関係の概略を解答欄のグラフに示せ。また、状態 1, 2, 3, 4, 5 をグラフ中に黒丸と番号で示せ。なお、グラフの縦軸には、状態 1, 2 における気体 A の圧力 p_1, p_2 が示されている。



図中に破線で示す矢印は、状態2から状態3および状態4から状態5への変化におけるピストンの移動方向を示す。