

一般入試 前期・均等配点型(A日程) 2日目

物 理

I 問いに答えよ。地上の重力加速度の大きさを g とする。大気による抵抗は無視する。(配点 60)

- (1) 地上での小球の鉛直方向の運動を考える。地面を基準として鉛直上向きに y 軸を設定する。質量 m の小球を、時刻 $t = 0$ において位置 $y = y_0$ ($y_0 > 0$) から初速度ゼロで静かにはなした。図1は小球の位置の時間変化を表している。

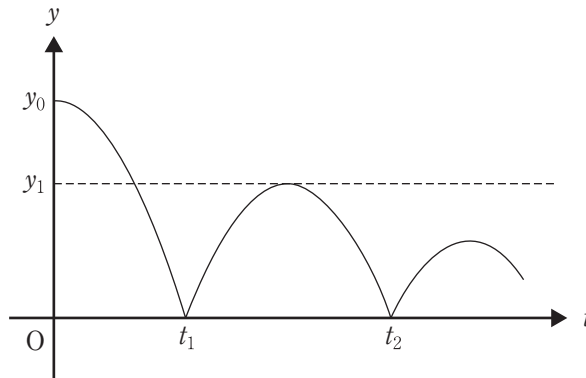


図1：地上における小球の位置の時間変化

問1 時刻 $t = 0$ から、小球が最初に地面に到達する時刻 t_1 までの小球の速度 v と小球の位置 y を、それぞれ時刻 t を用いて表せ。

問2 時刻 t_1 を用いずに、次の文章の空所を埋めよ。

地面を重力による位置エネルギーの基準として、時刻 $t = 0$ での小球の重力による位置エネルギー U_0 は $U_0 =$ ア である。時刻 t_1 で小球が地面に到達する直前の速度 v_1 は $v_1 = -$ イ となる。時刻 t_1 で小球は地面と1回目の衝突をした。衝突直後における小球の速度を v'_1 とする。小球が地面と衝突するときの反発係数(はねかえり係数) e を v_1 と v'_1 を用いて表すと $e = -$ ウ となる。ただし、 $0 < e < 1$ とする。衝突直後における小球の力学的エネルギー E_1 を e と U_0 で表すと、 $E_1 =$ エ $\times U_0$ となる。

問3 反発係数 e を用いて、次の文章の空所を埋めよ。

地面との1回目の衝突後、小球は位置 y_1 まで上昇した。1回目の衝突時刻 t_1 から2回目の衝突時刻 t_2 までの間も力学的エネルギー保存の法則が成り立っているため、位置 y_1 は y_0 の オ 倍である。時間 $\Delta t_{12} = t_2 - t_1$ は、最初の落下を始めた時刻 $t = 0$ から時刻 t_1 までの時間 $\Delta t_{01} = t_1 - 0$ の カ 倍となる。時刻 t_2 での2回目の衝突直後における小球の速度 v'_2 は、1回目の衝突直前における速度 v_1 と反発係数 e を用いて $v'_2 =$ キ $\times v_1$ と表される。時刻 t_2 以後、3回目の衝突直前までの小球の力学的エネルギー E_2 は $E_2 =$ ク $\times U_0$ となる。

- (2) 月面上での小球の鉛直方向の運動を考える。月面上の重力加速度の大きさは地上の重力加速度の大きさに比べて $\frac{1}{6}$ 倍であるとする。月面を基準として鉛直上向きに y 軸を設定する。質量 m の小球を、時刻 $t = 0$ において位置 $y = Y_0$ ($Y_0 > 0$) から初速度ゼロで静かにはなした。小球が月面と衝突するときの反発係数を e_M とする。ただし $0 < e_M < 1$ とする。図2は小球の位置の時間変化を表している。

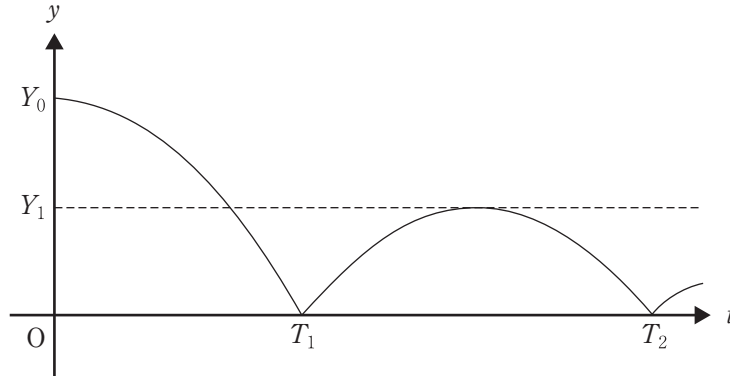


図2：月面上における小球の位置の時間変化

- 問4 月面を重力による位置エネルギーの基準として、1回目の衝突時刻 T_1 から2回目の衝突時刻 T_2 までの小球の力学的エネルギー E_{M1} を、 m, g, Y_0, e_M を用いて答えよ。
- 問5 2回目の衝突時刻 T_2 を、 g, Y_0, e_M を用いて答えよ。
- 問6 小球が月面と k 回目の衝突をした後の最高点の位置を Y_k とする。 $Y_k < \frac{Y_0}{2}$ となる k の条件を、常用対数を用いて不等式で表せ。
- (3) 地上と月面上において、同一の小球の鉛直方向の運動を比較する。それぞれの小球の最初の高さが互いに等しく $y_0 = Y_0$ だとして。

- 問7 T_1 は t_1 の何倍かを答えよ。
- 問8 それぞれの1回目の衝突後に小球が到達する最高点の高さが $y_1 < Y_1$ となる条件を e と e_M を用いて答えよ。この不等式が成立しない場合は「成立しない」と答えよ。

Ⅱ 問いに答えよ。数値は有効数字2桁で答えよ。(配点 45)

直流電源E, スイッチ S_1 および S_2 , 抵抗 R_1 および R_2 , コンデンサー C_1 および C_2 を用いて図1のような回路を組み, コンデンサーを充放電することを考える。はじめ S_1 および S_2 は開いており, コンデンサーはどちらも電荷を蓄えていないとする。またEの電圧は 5.0 V , R_1 と R_2 の抵抗値はどちらも $4.0\ \Omega$, C_1 と C_2 の電気容量はどちらも $6.0\ \mu\text{F}$ とする。導線の抵抗と直流電源の内部抵抗は無視する。

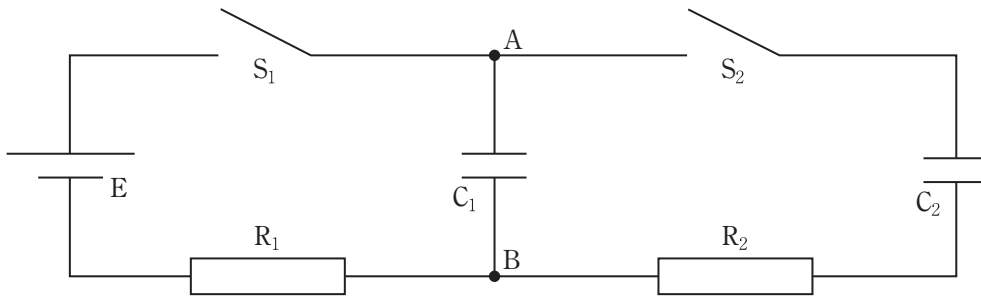


図1

ある時刻に S_1 を閉じ, C_1 の充電を開始した。

- 問1 S_1 を閉じた直後に R_1 に流れる電流の大きさを求めよ。
 問2 点Bを基準とした点Aの電位は時間とともにどのように変化するか, 図2の(a)~(j)の中から最も適切なものを選び記号で答えよ。

十分に時間が経過し, C_1 の充電が完了した。

- 問3 C_1 に蓄えられた電気量を求めよ。
 問4 C_1 に蓄えられた静電エネルギーを求めよ。

S_1 を開いた後に S_2 を閉じた。

- 問5 点Bを基準とした点Aの電位は時間とともにどのように変化するか, 図2の(a)~(j)の中から最も適切なものを選び記号で答えよ。

十分に時間が経過し, 電荷の移動が完了した。

- 問6 点Bを基準とした点Aの電位を求めよ。
 問7 C_1 に蓄えられている電気量を求めよ。
 問8 C_1 および C_2 に蓄えられている静電エネルギーの和を求めよ。
 問9 問4の静電エネルギーと比較して問8の静電エネルギーが異なっている理由を簡潔に答えよ。

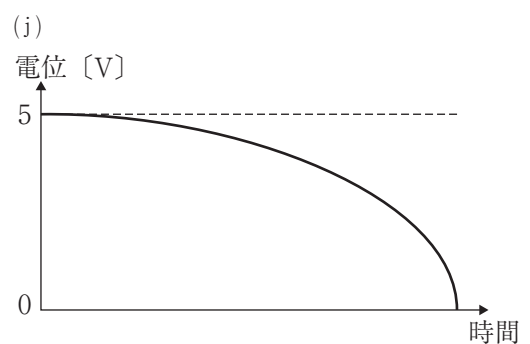
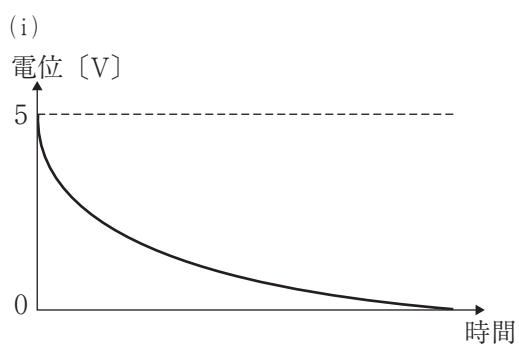
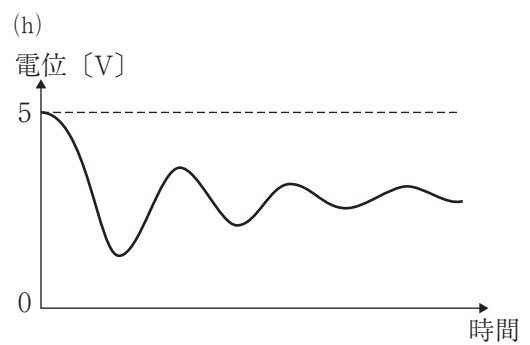
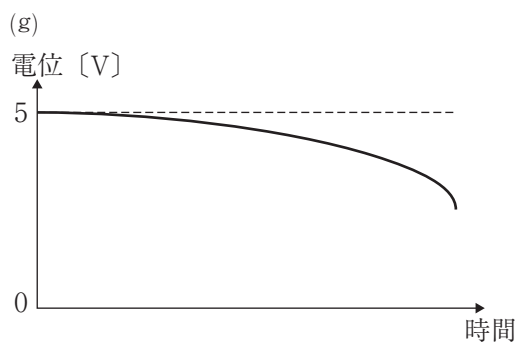
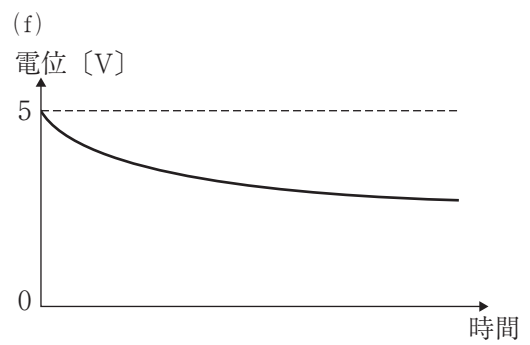
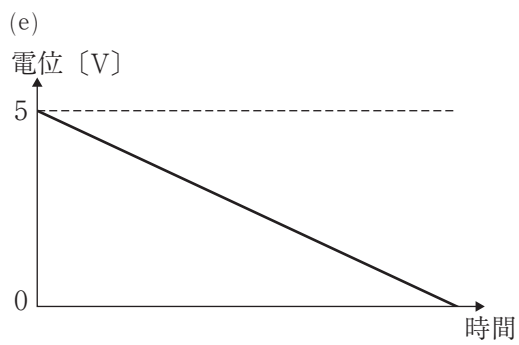
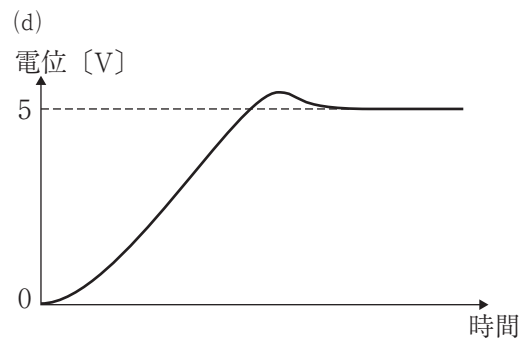
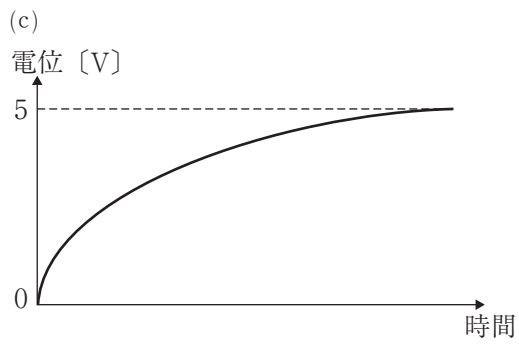
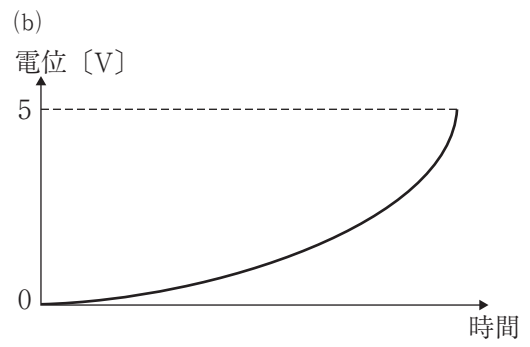
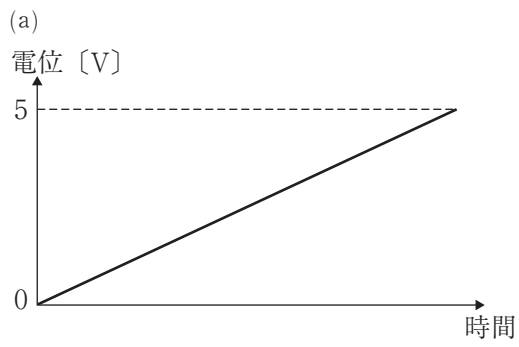


図 2

Ⅲ 空所を埋め、問いに答えよ。問3以外は風の影響を無視できるものとする。(配点 45)

空気中で、振動数 f_0 の音波を発する音源Sと観測者Oが x 軸上を運動する場合を考える。音速を V とすると、Sが発した音波の波長は である。

- (1) 図1に示すように、はじめ音源Sが x 軸上の原点 $x = 0$ 、観測者Oが $x = L$ ($L > 0$)でそれぞれ静止している。時刻 $t = 0$ から t_0 までSは音波を発した。この間、Sが発する音波の数は、 f_0 と t_0 を用いると、 である。 $t = 0$ でSから発せられた音波がOに到達する時刻 t_1 は、 L と V を用いると、 $t_1 =$ となる。一方、時刻 t_0 でSから発せられた音波がOに到達する時刻 t_2 は、 $t_2 =$ + t_0 となる。Oが音波を観測する時間は $t_2 - t_1$ であるから、Oが観測する音波の振動数 f_1 は、



図1

$$f_1 = \frac{\text{イ}}{t_2 - t_1} = f_0$$

となり、元の f_0 に一致することが確かめられる。

- (2) 次に、図2に示すように、音源Sと観測者Oが x 軸の正の向きにそれぞれ速さ v_s ($v_s < V$)、 v_0 ($v_0 < V$)で運動する場合を考える。時刻 $t = 0$ でSの位置は $x = 0$ 、Oの位置は $x = L$ ($L > 0$)であった。時刻 $t = 0$ から t_0 までSは音波を発した。 $t = 0$ でSから発せられた音波がOに到達する時刻を t_3 とする。ただし、 $t_3 > t_0$ とする。図3は、 $v_s > v_0$ のときのSの位置とOの位置の時間変化をそれぞれ直線(a)と直線(b)で表したものである。また、 $t = 0$ でSから発せられた音波の先端(波面)の位置の時間変化を直線(c)で表す。一方、時刻 t_0 にSから発せられた音波の末端(波面)がOに到達する時刻を t_4 とする。

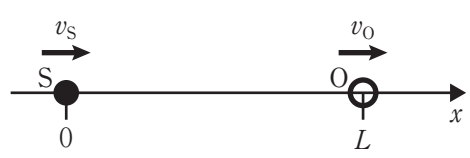


図2

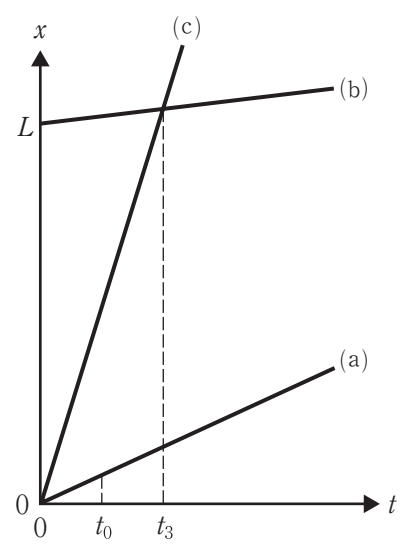


図3

問1 時刻 t_0 で音源 S から発せられた波面の位置の時間変化を表すグラフを解答欄の図に実線で描け。さらに、時刻 t_4 でのその波面の位置と時刻を表すグラフ上の点を黒丸 (●) で示せ。

観測者 O からみた音波の相対速度の大きさは $\boxed{\text{エ}}$, 時刻 t_0 での音源 S の位置は $x = v_s t_0$, O の位置は $x = L + v_0 t_0$ である。よって、 t_4 は L, V, v_s, v_0, t_0 を用いて、

$$t_4 = \frac{\boxed{\text{オ}}}{\boxed{\text{エ}}}$$

と求まる。ここで、O が音波を観測する時間は $t_4 - t_3$ である。この間、O が受け取る音波の数は (1) での議論と同様に $\boxed{\text{イ}}$ であるので、O が観測する振動数 f_2 は、

$$f_2 = \frac{\boxed{\text{イ}}}{t_4 - t_3}$$

となる。さらに、 V, v_s, v_0, f_0 を用いて、

$$f_2 = \boxed{\text{カ}} \times f_0 \quad \text{①}$$

が得られる。

問2 音源 S が 640 Hz の音波を発しながら、 x 軸の正の向きに 20 m/s の速さで移動したとき、 x 軸の正の向きに等速で移動している観測者 O は 670 Hz の音を観測した。O の速さを求めよ。ただし、 $V = 340$ m/s とする。

問3 x 軸の正の向きに速さ w の一様な風が吹いているときを考える。この場合、風の影響を考慮すると、式①の V を $V + w$ に置き換える必要がある。その理由を「媒質」という語句を使って説明せよ。