# 一般入試後期Ｄ日程

# 物　理

**Ⅰ**　空所を埋めよ。ただし，重力加速度の大きさを $g$ とする。（配点 60）

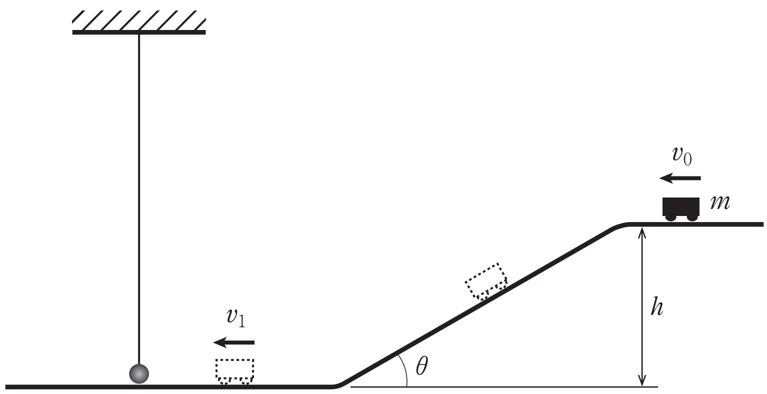


図１　台車と振り子の全体図

図１のように，水平面から傾き $\theta$ の斜面が，水平な地面と高さ $h$ の水平な丘をなめらかにつないでいる。地面，斜面，丘はいずれもなめらかな面である。丘の上にある質量 $m$ の台車が斜面に向かって速さ $v_0$ で等速直線運動をしている。台車の大きさは考えないものとする。

（１）　まず，台車が斜面を下るときの運動を考える。台車の加速度の大きさは，［　ア　］と表される。台車が斜面を下って地面に到達したときの速さ $v_1$ を求めたい。

1)　台車が丘の上にあるとき，台車の運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv_0^2$ と表される。また，台車の位置エネルギーは，地面の高さを基準面とすると，［　イ　］と表される。

2)　台車が斜面を下って地面に到着したとき，台車の運動エネルギーは $m$ と $v_1$ を使って，［　ウ　］と表される。

3)　力学的エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \boxed{\text{イ}} = \boxed{\text{ウ}}$$

が成り立つ。これを $v_1$ について解くと，

$$v_1 = \boxed{\text{エ}}$$

を得る。

（２）　次に，長さ $L$ の軽い糸に質量 $M$ の小球をつるした静止している振り子に，台車が左向きに速さ $v_1$ で衝突した（図２）。ただし，静止している状態の小球は地面の高さにあり，振り

子の糸にはたるみがないものとする。また，$M > m$ とする。衝突直後に台車が停止し，小球が左向きに速さ $V_2$ で動いた。

1)　このとき，運動量保存の法則より，

$$m v_1 = \boxed{\quad オ \quad}$$

が成り立つ。これより，$V_2$ は $m$，$M$，$v_1$ を使って，

$$V_2 = \boxed{\quad カ \quad}$$

と表すことができる。さらに，台車と小球の衝突におけるはねかえり係数（反発係数）$e$ は，$M$ と $m$ を使って，

$$e = \boxed{\quad キ \quad} \qquad ①$$

となる。

2)　図３に示すように，衝突によって振り子は静止している状態から角 $\phi$（$\phi < 90°$）まで振り上げられて戻って来た。$g$，$V_2$，$L$ を使って $\cos\phi$ を表すと，

$$\cos\phi = \boxed{\quad ク \quad}$$

となる。

3)　小球が戻って来て，再び静止している台車と衝突した（図３）。衝突直後，小球は右向きに速さ $V_3$，台車は右向きに速さ $v_4$ で運動した。このとき，運動量保存の法則より，

$$M V_2 = \boxed{\quad ケ \quad} \qquad ②$$

が成り立ち，はねかえり係数 $e$ は，

$$e = \frac{\boxed{\quad コ \quad}}{V_2} \qquad ③$$

となる。式③の分子は $V_3$，$v_4$ を使って表される。１回目と２回目の衝突では，はねかえり係数が同じになるので，式①，③から $e$ を消去して式②を用いると，$M$，$m$，$V_2$ を使って，

$$V_3 = \boxed{\quad サ \quad}, \quad v_4 = \boxed{\quad シ \quad}$$

を得る。

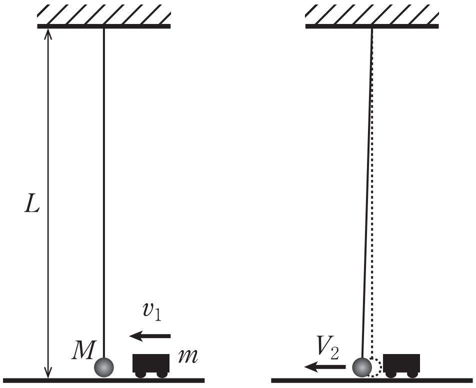


図２　台車と小球の１回目の衝突
（左：衝突前，右：衝突直後）

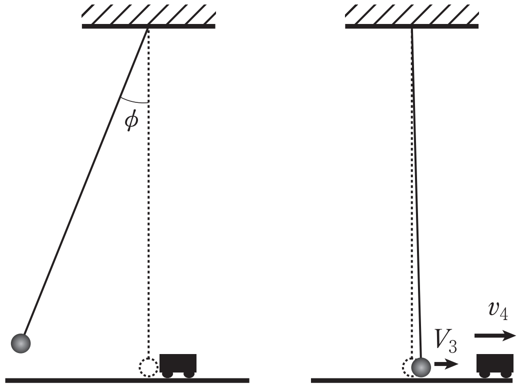


図３　台車と小球の２回目の衝突
（左：衝突前の振り上げ時，右：衝突直後）

$\boxed{\text{II}}$ 空所を埋め，問いに答えよ。$\boxed{\text{イ}}$ は語句で埋めよ。（配点 45）

（1） 導体の電気抵抗は，物質の種類や形状によって決まる。電流を流す方向の長さが $L$〔m〕，断面積が $S$〔$\mathrm{m}^2$〕の導体において，電気抵抗は，$\rho$〔$\Omega\cdot\mathrm{m}$〕を比例係数として $\dfrac{\rho L}{S}$〔$\Omega$〕と表される。$\rho$ を抵抗率と呼ぶ。

一辺の長さが $a$〔m〕の立方体の金属の塊がある。密度は一様で，抵抗率は $\rho$ である。これを変形させて，長さ $\ell$〔m〕の太さが一様な導線を作ることを考える。この導線の断面積を $s$〔$\mathrm{m}^2$〕とすると，導線の体積は $s\ell$ である。金属の体積が変化しないとすると，この導線の電気抵抗は $\rho$，$a$，$\ell$ を用いて $\boxed{\text{ア}}$ と表される。電気抵抗をもつ導体に電流が流れると，熱が発生する。この熱を $\boxed{\text{イ}}$ と呼ぶ。単位時間あたりの $\boxed{\text{イ}}$ は導体で消費される電力 $P$〔W〕に相当し，電気抵抗を $R$〔$\Omega$〕，電流を $I$〔A〕とすると，$P$ は $R$，$I$ を用いて $\boxed{\text{ウ}}$ となる。したがって，作製した導線に一定の大きさの電流を流す場合，体積一定のまま $\ell$ を3倍にすると，$P$ は $\boxed{\text{エ}}$ 倍になる。以上のように，一定量の材料から導線を作る場合には，導線の電気的な性質は $\ell$ によって大きく変化する。

（2） 図1に示すように，長さが $L$〔m〕で断面積が $S$〔$\mathrm{m}^2$〕の一様な導線を考える。導線中には，電気量が $-e$〔C〕の自由電子が数密度（単位体積あたりの個数）$n$〔個/$\mathrm{m}^3$〕で存在している。導線の両端に電圧 $V$〔V〕（$V>0$）をかけたとき，導線内部に生じる電場（電界）の強さは $\dfrac{V}{L}$ となる。自由電子がこの電場から受ける力の大きさは，$L$，$e$，$V$ を用いて $\boxed{\text{オ}}$ と表される。導線中の自由電子が一定の速さ $u$〔m/s〕で運動していると見なしたとき，時間 $t$〔s〕の間に1個の自由電子が電場からされる仕事は，$\boxed{\text{オ}}\times ut$ と表される。導線中の自由電子の総数は，$\boxed{\text{カ}}$ なので，$t$ の間に自由電子全体が電場からされる仕事は，$\boxed{\text{キ}}$〔J〕となる。$\boxed{\text{キ}}$ は $\boxed{\text{イ}}$ として消費される。

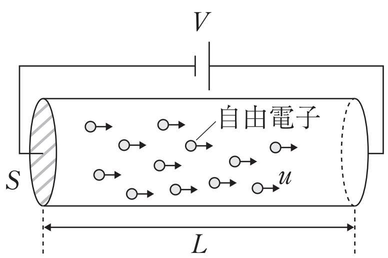


図1

（３） 豆電球のフィラメントに電流を流すと，フィラメントの温度が大きく上昇し，電気抵抗が変化する。図２は，ある豆電球の電流電圧特性をグラフに示したものである。この豆電球と抵抗を用いて，図３に示す電気回路を作った。抵抗の電気抵抗は 10 Ω とし，電流の大きさによって変化しないものとする。電池の起電力は 2.5 V である。電池の内部抵抗と回路を構成する導線の抵抗は無視する。回路に電圧をかけたとき，回路を流れる電流の大きさは速やかに安定した。

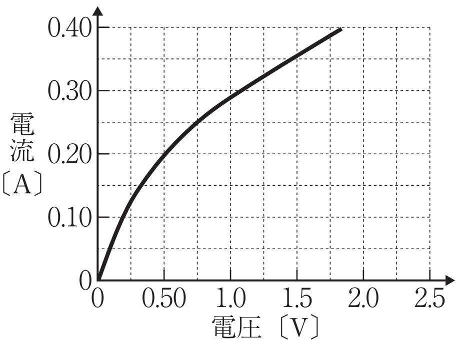

図２

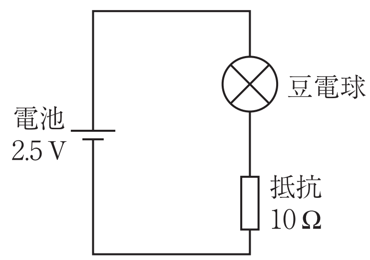

図３

問１ 豆電球に流れる電流を $I_b$〔A〕，豆電球の両端の電圧を $V_b$〔V〕として，電池の起電力を $I_b$ と $V_b$ を用いて表せ。

問２ 問１の結果から $I_b$ と $V_b$ の関係式が求まる。その式が表す直線を解答欄の図に描け。また，$I_b$ と $V_b$ を求めよ。

0 ℃における抵抗率を $\rho_0$〔Ω・m〕とすると，$t$〔℃〕における抵抗率 $\rho_t$〔Ω・m〕は，次式で表すことができる。

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \qquad ①$$

式①の $\alpha$〔/℃〕を抵抗率の温度係数と呼ぶ。

問３ 豆電球のフィラメントの電気抵抗は，０℃のとき 0.25 Ω であった。回路が動作しているときのフィラメントの温度を答えよ。ただし，抵抗率の温度係数は $5.0 \times 10^{-3}$〔/℃〕とし，フィラメントの長さや断面積は，温度によって変化しないものとする。

$\boxed{\text{III}}$　空所を埋め，問いに答えよ。$\boxed{\text{ア}}$ は選択肢{　　}の中から適切なものを選べ。（配点 45）

（1）　光は電磁波であり，進行方向に対して垂直に電場（電界）と磁場（磁界）が振動する $\boxed{\text{ア}}$ {横波，縦波}である。以降，光の振動方向とは電場の振動方向を指すものとする。

図1のように媒質中を $z$ 軸正の向きに進む光の，位置 $z$，時刻 $t$ における電場の振動方向の変位 $E(t, z)$ が，周期 $T$ と波長 $\lambda$ と振幅 $E_0$ を用いて式①のように表されるとき，この光が $z$ 軸方向に進む速さは $v = \boxed{\quad\text{イ}\quad}$ である。

$$E(t, z) = E_0 \sin\left[\,2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda}\right)\,\right] \qquad ①$$

問1　式①の電場に対し，$z = 0$ での振動 $E = E(t, 0)$ のグラフを，縦軸を $E$，横軸を $t$ として，$-\dfrac{T}{2} \leqq t \leqq \dfrac{3T}{2}$ の範囲で解答欄に描け。また描いたグラフに，$E(t,\ 0) = E_0$ および $E(t, 0) = -E_0$ となる時刻 $t$ の値をすべて書き入れよ。

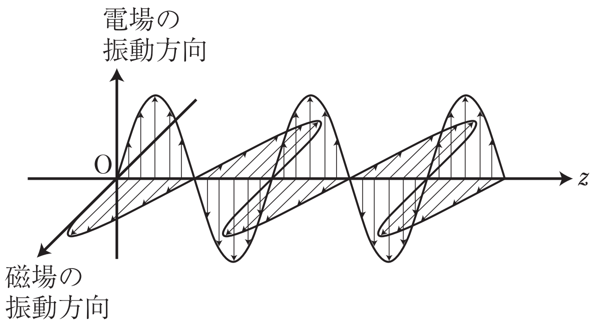


図1

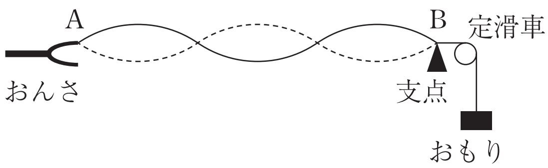


図2

（2）　図2のように，おんさに太さと密度が一定の弦をつけ，支点と定滑車を通して他端におもりをつるした。おんさを 50 Hz の振動数で振動させたところ，おんさ側の弦の端Aと支点との間に，3個の腹をもつ定常波が生じた。支点の位置を点Bとする。点Aと点Bを固定端とみなし，AB間の長さは 2.4 m である。

問2　弦を伝わる波の波長を求めよ。

問3　弦を伝わる波の速さを求めよ。

おもりを追加し，弦の張力を大きくすると，弦を伝わる波の速さが大きくなる。

問4　波の速さ $v$〔m/s〕は，弦の単位長さあたりの質量（線密度）$\rho$〔kg/m〕とおもりによる張力の大きさ $F$〔N〕によって決まる。$v$ は $\rho$ と $F$ を用いてどのように表されるか。単位に注意して，下の(a)から(d)の中から1つ選び，記号で答えよ。

(a)　$F\rho$　　(b)　$\dfrac{F}{\rho}$　　(c)　$\sqrt{F\rho}$　　(d)　$\sqrt{\dfrac{F}{\rho}}$

図2において，おんさの振動数を 50 Hz に保ったまま，おもりを追加したとき，2個の腹をもつ定常波が生じた。

問5　追加したおもりを変えずに，100 Hz で振動する別のおんさに変えた場合にも，定常波が生じた。このときの定常波の様子を解答欄に図示せよ。

（3）　図3のような，気密を保ってなめらかに動くピストンとヒーター付きのシリンダー内に，1 mol の単原子分子の理想気体が閉じ込められている。その気体の体積は $V$ である。このときの気体の状態を A とする。ピストンとシリンダーは熱を通さず，ヒーターが占める体積は無視できる。ピストンの質量を $m$，ピストンの断面積を $S$，大気圧を $p_0$，重力加速度の大きさを $g$，気体定数を $R$ とし，この理想気体の内部エネルギー $U$ は，絶対温度 $T$ のとき $U = \dfrac{3}{2}RT$ と表される。このとき，状態 A におけるシリンダー内の気体の圧力 $p_A$ は，$p_0 + \boxed{\quad ウ \quad}$ と表される。

問6　状態 A におけるシリンダー内の気体の絶対温度を $p_A$，$V$，$R$ を用いて表せ。

次に，ピストンがゆっくり上がるように，ヒーターを用いてシリンダー内の気体を加熱すると，図4に示すように，シリンダー内の気体の体積が $3V$ となった。このときのシリンダー内の気体の状態を B とする。

問7　状態 A から状態 B に変化したとき，シリンダー内の気体がした仕事を $p_A$ と $V$ を用いて表せ。

問8　状態 A から状態 B に変化したとき，ヒーターがシリンダー内の気体に与えた熱量を $p_A$ と $V$ を用いて表せ。

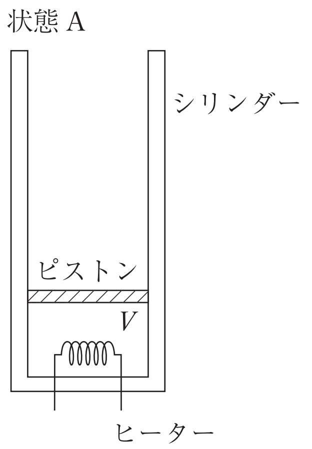


図3

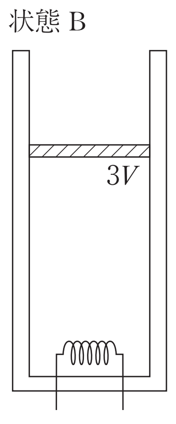


図4