

〔I〕 次の文中の空欄 (ア) ~ (ケ) にあてはまる式を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

図1のように、水平でなめらかな床の上に質量  $M$  [kg] の台が置かれている。台の上面はなめらかであり、その断面は点  $O$  を中心とする半径  $R$  [m] の半円  $ABC$  である。左端  $A$  と右端  $C$  を結ぶ線分は水平であり、点  $B$  は半円の最下点である。床につけた2つのストッパーで台を固定した。点  $B$  から半円に沿った弧の長さが  $s_0$  [m] の位置に質量  $m$  [kg] の小球を置き、静かに手をはなしたところ、小球は半円に沿って点  $B$  に向かって動き始めた。手をはなした直後の小球の加速度の大きさは  [m/s<sup>2</sup>] である。 $s_0$  が  $R$  に比べて十分に小さいとき、小球の運動は単振動であるとみなせる。この単振動の周期は  [s] である。

つぎに、図2のように、右側のストッパーを外し、静止した台上の点  $A$  に小球を置いて静かに手をはなした。ある時刻での小球と点  $O$  を結ぶ線分と、線分  $OA$  のなす角の大きさを  $\theta$  [rad] とする。 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$  rad のとき、台が左側のストッパーから受ける力の大きさは  [N] である。小球は速さ  [m/s] で最下点  $B$  を通過した後、 $BC$  間で最高点に達した。小球が最高点に達したとき、台の速さは  [m/s] である。点  $B$  を通る水平面を基準とすると、最高点の高さは  [m] である。

図3のように、左側のストッパーも外し、静止した台上の点  $A$  に小球を置いて静かに手をはなした。小球が最下点  $B$  に達したときの、床の上に静止した人から見た小球の速さは  [m/s] であり、小球が点  $A$  から点  $B$  に移動する間に台が水平方向に移動した距離は  [m] である。小球が点  $B$  に達した瞬間に水平方向右向きに台に撃力を加えたところ、小球は振動することなく台とともに等速直線運動を始めた。この撃力による力積の大きさは  [N·s] である。

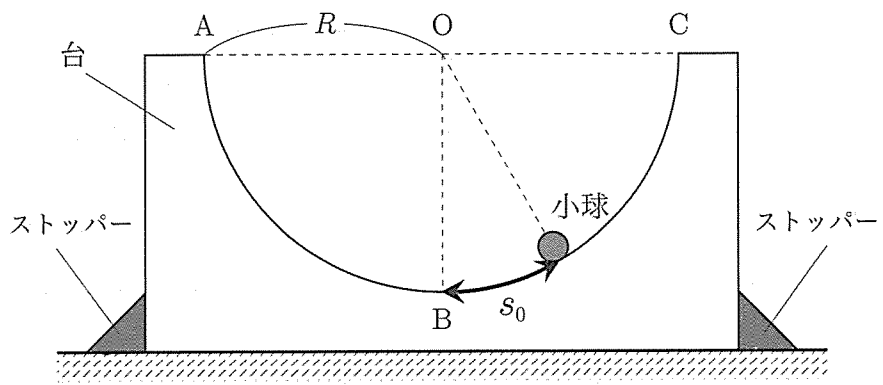


図 1

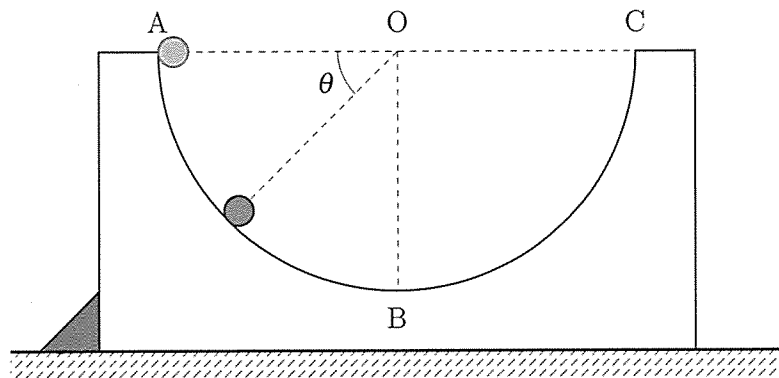


図 2

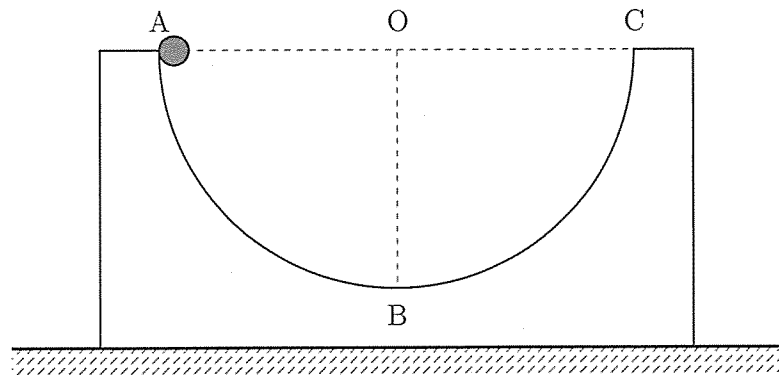


図 3

〔II〕 次の文中の空欄（ア）～（ク）にあてはまる式を解答用紙（一）の該当する欄に記入せよ。また、解答用紙（一）の解答図（II - A）に適切なグラフの概形を描き、縦軸の目盛の横の括弧内に適切な式を書き入れよ。

指針で電流値を示す電流計は、流れる電流に比例して指針の回転角が定まる計器である。抵抗を接続することにより、測定できる電流の範囲を広げたり、電圧や抵抗を測定する計器としても用いることができる。

図1の電流計Aは、内部抵抗 $r$ の抵抗値が $r$  [ $\Omega$ ] で、流れる直流電流の大きさが $i_0$  [A] のとき回転角が最大値 $\theta_0$  [rad] を示す指針をもつ。Aを用いて電流の大きさ $I_0$  [A] ( $I_0 > i_0$ ) までの直流電流を測定するためには、Aと並列に  [ $\Omega$ ] の抵抗を接続すればよい。指針の回転角が $\theta_I$  [rad] ( $\theta_I \leq \theta_0$ ) のとき、Aおよび並列に接続した抵抗を流れる電流の和は   $\times \theta_I$  [A] と表せる。一方、Aを用いて、電圧計として最大 $V_0$  [V] までの直流電圧を測定するためには、Aと直列に  [ $\Omega$ ] の抵抗を接続すればよい。

電流計Aを使って未知の抵抗 $R_x$ の抵抗値を測定するには、図2のように、内部抵抗が無視できる起電力 $E$  [V] の電池E、可変抵抗 $R_v$ とAを $R_x$ に接続すればよい。まず、スイッチSを閉じ、Aの指針の回転角が最大値である $\theta_0$ を指すように $R_v$ を調整した。このとき、 $R_v$ の抵抗値は  [ $\Omega$ ] である。つぎに、 $R_v$ の抵抗値を変えずにSを開いたところ、指針は動いた後、しばらくして回転角 $\theta_R$  [rad] ( $\theta_R \leq \theta_0$ ) の位置で静止した。 $R_x$ の抵抗値はこの $\theta_R$ を用いて  [ $\Omega$ ] と表せる。

図3のように、交流電源にダイオードD、抵抗値 $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗Rと電流計Aを直列に接続した。時刻 $t$  [s]における電源電圧は、交流電源の電圧の振幅を $V_1$  [V]、周期を $T$  [s]、図3の矢印の向きに電流が流れる場合を正として、 $V_1 \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$  [V] と与えられる。Dは図3の矢印の向きに電流が流れるように電圧を加えたときには抵抗値が0で電流が流れ、逆方向に電圧を加えたときには全く電流は流れないとする。解答図（II - A）に、Aを流れる電流の時間変化の概形を描け。ただし、縦軸の目盛の横の括弧内に適切な式を書き入れよ。Aの内部抵抗 $r$ での消費電力の時間平均は  [W] である。電流が時間変化する場合、同じ消費電力の時間平均を得るのに必要な直流電流の値を電流の実効値と呼ぶが、Aを流れる電流の実効値は  [A] である。 $T$ が十分に小さいと

き、指針は A を流れる電流の時間変化に追従して振れることができず、電流の大きさの時間平均に比例した、 $\theta_0$  より小さい回転角で静止した。このとき、電流の大きさの時間平均に対する回転角の比例定数は直流の場合と同じであるとする。 $t = 0$  から  $\frac{T}{2}$  の間の  $\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$  の時間平均は  $\frac{2}{\pi}$  であることを利用すると、指針の回転角は  $\boxed{\text{(ク)}}$   $\times \theta_0$  [rad] であることがわかる。

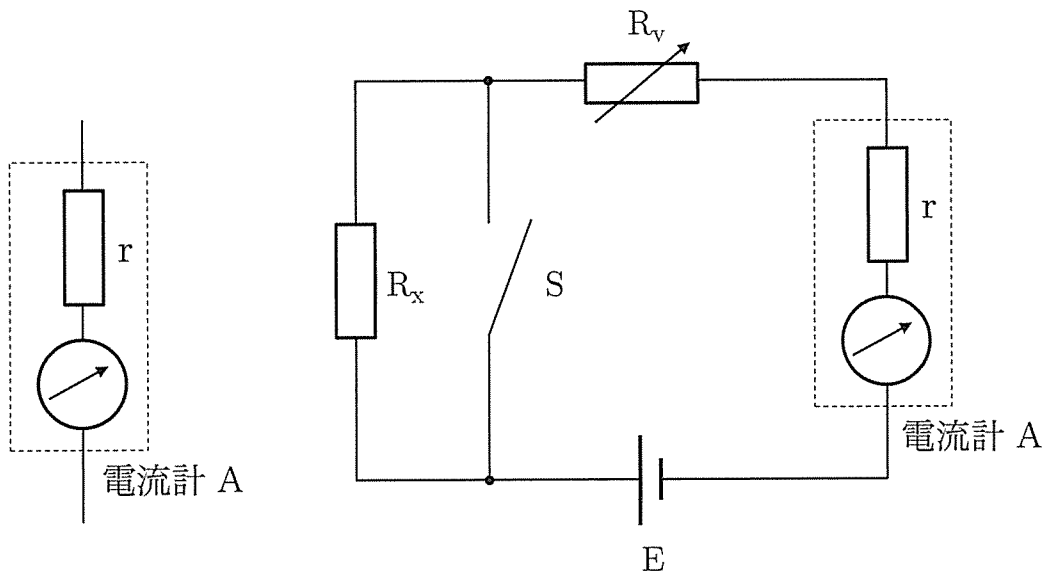


図 1

図 2

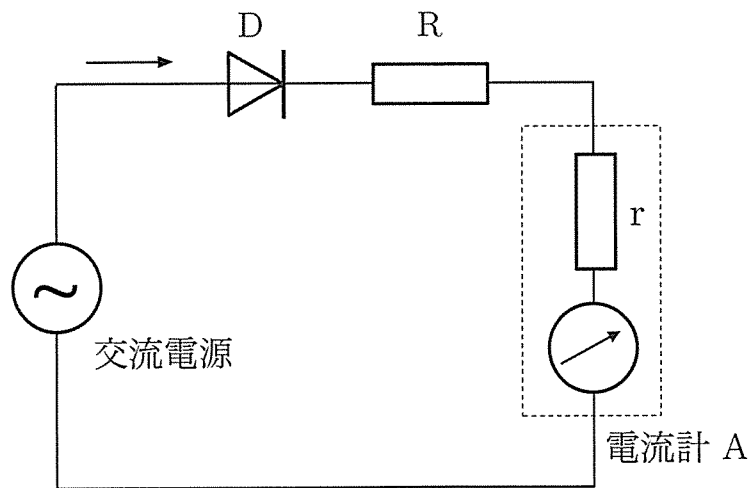


図 3

〔 III 〕 次の文中の空欄 (ア) ~ (ク) にあてはまる式を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。また、解答用紙 (二) の解答図 (III - A) に適切なグラフの概形を描け。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。また、単原子分子理想気体の断熱変化では圧力を  $p$ 、体積を  $V$  として、 $pV^{5/3} = \text{一定}$  であることを用いてよい。

図 1 のように、断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] の容器の中になめらかに動くピストンがある。容器とピストンはともに断熱材でできており、ピストンの質量と厚みは無視できるものとする。ピストンの上には密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] の液体がピストンから高さ  $h$  [m] まで貯められており、容器上部には通気口があり大気圧  $p_0$  [Pa] の外気と通じている。液体の質量は (ア) [kg] である。

はじめ、ピストンは容器の底面から高さ  $3h$  にある小さなストッパーにより支えられていた。ストッパーの位置を原点とし、鉛直上向きに  $z$  軸をとる。ピストンの下には圧力  $p_0$  の単原子分子理想気体 G が封じ込められ、小さいヒーターにより加熱できる。密度  $\frac{\rho}{2}$ 、高さ  $2h$ 、断面積  $\frac{S}{2}$  の物体を、底面が  $z = h$  に位置するように軽い糸で容器の上面からつり下げた。

ヒーターのスイッチを入れ、気体 G をゆっくりと加熱したところ、G の圧力が (イ) [Pa] より大きくなったときピストンが上昇し始めた。加熱を続けるとピストンはゆっくりと上昇し、図 2 のように、物体は下面から深さ  $d$  [m] だけ液体中に沈んだ。このとき、物体が糸から受ける力の大きさは (ウ) [N] であり、G の圧力は (エ) [Pa] である。さらに加熱を続け、ピストンが上昇して  $z =$  (オ) [m] に達したとき、はじめて糸がたるんだ。その後、ピストンが  $z = h$  に達するまで加熱を続け、ヒーターのスイッチを切った。ヒーターのスイッチを入れてから切るまでの間に G の内部エネルギーは (カ) [J] だけ増加した。ヒーターのスイッチを切ったときの G の圧力を  $p_1$  [Pa] とする。解答図 (III - A) にピストンが上昇し始めてからヒーターのスイッチを切るまでの間の、ピストンの  $z$  座標に対する G の圧力の変化の概形を図示せよ。

つぎに、図3のように、ピストンが  $z = h$  の位置にある状態で、物体から糸を取り外した後で、通気口から細い管を液体中に差し入れ、管を通してゆっくりと同じ液体を注ぎ始めた。液体を注入し続けるとピストンはゆっくりと下降し、ピストンがストッパーに達した瞬間に液体の注入を止めた。圧力  $p_1$  を用いると、注入した液体の質量は  $\boxed{\text{(キ)}}$   $\times p_1$  [kg], 液体を注ぐ間に気体 G が外部からされた仕事は  $\boxed{\text{(ク)}}$   $\times p_1$  [J] と表せる。

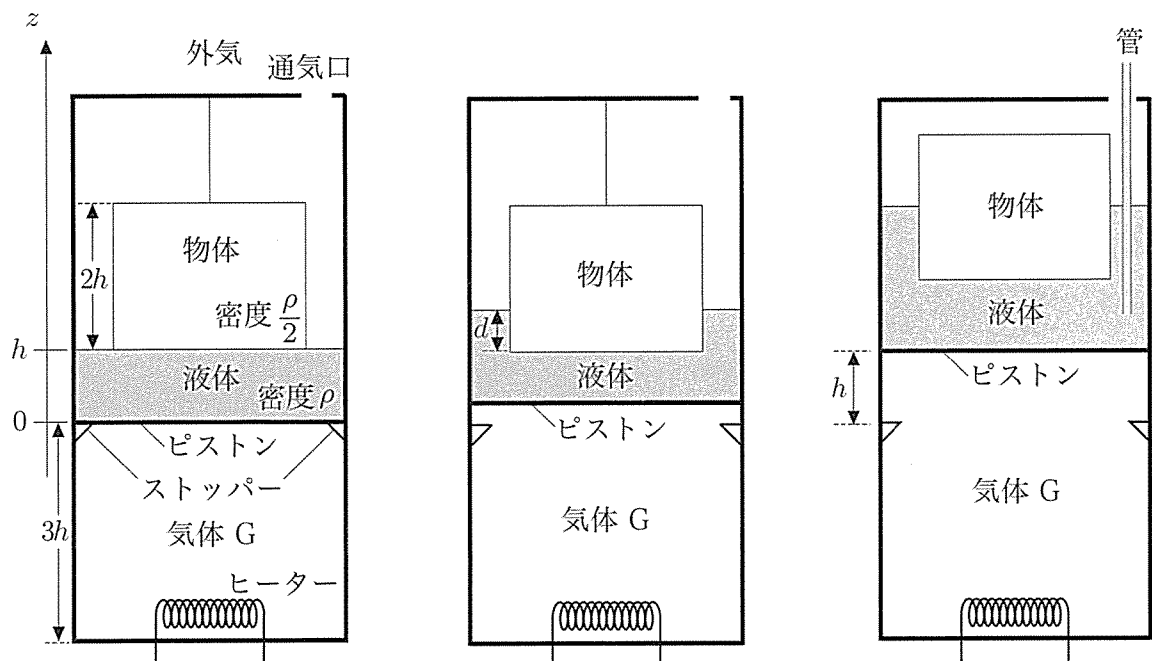


図 1

図 2

図 3

## 連絡票

受験者に対して、連絡事項があることを口頭で伝え、下の枠内の内容を黒板に書いてください。  
内容は絶対に読み上げないでください。

※監督者への連絡事項:

(この連絡票を受験生に見せる際は、ここで折って使用してください(山折り).)

記号

201

科目名

物理

[Ⅲ] 6ページ

下から5行目

(カ)の解答に「 $\rho_1$ 」を用いては  
ならない