物　理

（解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{28}$）

「工学部」用問題

第 1 問　次の文章中の $\boxed{1}$ ～ $\boxed{7}$ に当てはまる適切なものを，それぞれの選択肢①～④のうちから１つずつ選びなさい。**〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{7}$〕**

なめらかな水平面上に質量 m_A〔kg〕の物体Aがあり，物体Aの上面に質量 m_B〔kg〕（$m_A > m_B$）の物体Bが乗っている。物体Aの上面は水平で十分に長いものとし，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。また，水平方向右向きを正とする。物体Aに正の向きに大きさ F_0〔N〕の力を加えた。物体Aの上面と物体Bの間に摩擦がない場合を考える。このとき，水平面に対する物体AおよびBの加速度はそれぞれ，$\boxed{1}$〔m/s^2〕，$\boxed{2}$〔m/s^2〕となる。

次に，物体Aの上面と物体Bとの間の静止摩擦係数が μ，動摩擦係数が μ' である場合を考える。このとき，物体Aに正の向きに大きさ F_1〔N〕の力を加えると，物体AとBは一体となって正の向きに動き出した。このとき，水平面に対する物体AおよびBの加速度は $\boxed{3}$〔m/s^2〕となる。物体Aに加える力を増していくと，大きさが F_2〔N〕を超えたところで，物体Bは物体Aの上面をすべり始めた。このことから，$\mu = \boxed{4}$ と表せる。その後，物体Aに大きさが F_2〔N〕の力を加え続けると，物体AおよびBの水平面に対する加速度は，それぞれ $\boxed{5}$〔m/s^2〕，$\boxed{6}$〔m/s^2〕となる。また，物体Aに力を加えることをやめた直後の物体Bの水平面に対する加速度は $\boxed{7}$〔m/s^2〕である。

$\boxed{\textbf{1}}$ の選択肢

① 0　② $\dfrac{F_0}{m_A}$　③ $\dfrac{F_0}{m_A - m_B}$　④ $\dfrac{F_0}{m_A + m_B}$

$\boxed{\textbf{2}}$ の選択肢

① 0　② $\dfrac{F_0}{m_A}$　③ $\dfrac{F_0}{m_A - m_B}$　④ $\dfrac{F_0}{m_A + m_B}$

$\boxed{\textbf{3}}$ の選択肢

① 0　② $\dfrac{F_1}{m_B}$　③ $\dfrac{F_1}{m_A - m_B}$　④ $\dfrac{F_1}{m_A + m_B}$

$\boxed{\textbf{4}}$ の選択肢

① $\dfrac{F_2 g}{m_A}$　② $\dfrac{F_2}{(m_A + m_B)g}$　③ $\dfrac{F_2}{m_B g}$　④ $\dfrac{F_2 g}{m_A + m_B}$

$\boxed{\textbf{5}}$ の選択肢

① $\dfrac{F_2 - \mu' g}{m_A}$　② $\dfrac{F_2 + \mu' g}{m_A g}$　③ $\dfrac{F_2 + \mu' m_B g}{m_A g}$　④ $\dfrac{F_2 - \mu' m_B g}{m_A}$

$\boxed{\textbf{6}}$ の選択肢

① g　② $\mu' g$　③ $\dfrac{\mu' g}{m_B}$　④ $\dfrac{\mu'(m_A + m_B)g}{m_B}$

$\boxed{\textbf{7}}$ の選択肢

① g　② $\mu' g$　③ $-\dfrac{\mu' g}{m_B}$　④ $-\mu' g$

第２問　次の文章中の $\boxed{8}$ ～ $\boxed{14}$ に当てはまる適切なものを，それぞれの選択肢①～④のうちから１つずつ選びなさい。**〔解答番号 $\boxed{8}$ ～ $\boxed{14}$ 〕**

図２－１のように，なめらかな斜面 AB と，水平面となす角度が 30° で長さが h〔m〕のなめらかな斜面 BC が，なめらかにつながっている。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。斜面 AB 上の水平面からの高さが $2h$〔m〕の位置に，質量 m〔kg〕の小球 P を置いて静かに手を離すと，斜面に沿ってすべって点 C から 30° の角度で飛び出し，水平面上の点 D に落下した。このとき，小球 P が点 C から飛び出す速さは $\boxed{8}$〔m/s〕であった。飛び出した後に達した最高点の水平面からの高さは $\boxed{9}$〔m〕で，最高点での運動エネルギーは $\boxed{10}$〔J〕となる。また，小球 P の落下点 D と点 C との水平方向の距離は $\boxed{11}$〔m〕であり，点 D に衝突する直前の速さは $\boxed{12}$〔m/s〕であった。小球 P は衝突後，水平面と 30° をなす方向に跳ね返った。このことから，小球 P と水平面との反発係数は $\boxed{13}$ であり，水平面への衝突の前後で $\boxed{14}$〔J〕の力学的エネルギーが失われたことがわかる。

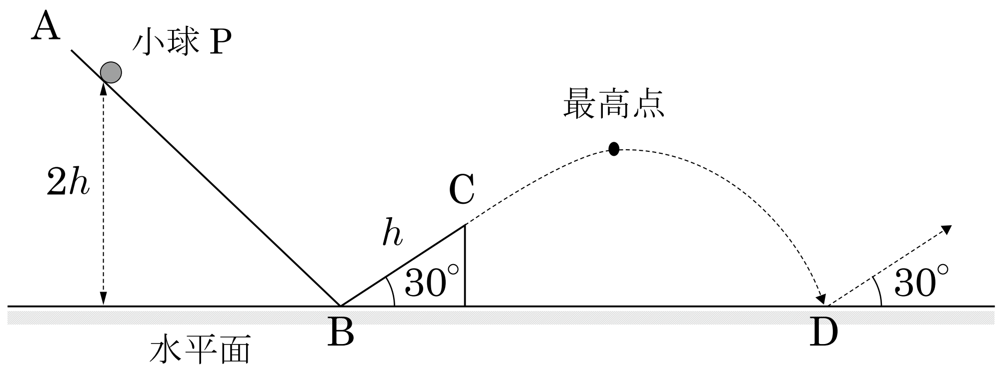

図２－１

$\boxed{\mathbf{8}}$ の選択肢

① $\sqrt{gh}$　② $\sqrt{3gh}$　③ $\dfrac{\sqrt{6gh}}{2}$　④ $2\sqrt{gh}$

$\boxed{\mathbf{9}}$ の選択肢

① $\dfrac{3}{8}h$　② $\dfrac{2}{3}h$　③ $\dfrac{3}{4}h$　④ $\dfrac{7}{8}h$

$\boxed{\mathbf{10}}$ の選択肢

① $\dfrac{2}{3}mgh$　② $\dfrac{9}{8}mgh$　③ $\dfrac{3}{2}mgh$　④ $2mgh$

$\boxed{\mathbf{11}}$ の選択肢

① $\dfrac{\sqrt{21}}{2}h$　② $3\sqrt{21}\,h$　③ $\dfrac{3(\sqrt{3}+\sqrt{7})}{4}h$　④ $\dfrac{\sqrt{3}+\sqrt{7}}{2}h$

$\boxed{\mathbf{12}}$ の選択肢

① $\dfrac{1}{2}\sqrt{7gh}$　② $\dfrac{3}{2}\sqrt{gh}$　③ $2\sqrt{gh}$　④ $4\sqrt{gh}$

$\boxed{\mathbf{13}}$ の選択肢

① $\dfrac{\sqrt{21}}{7}$　② $\dfrac{\sqrt{3}}{21}$　③ $\dfrac{\sqrt{3}}{7}$　④ $\dfrac{\sqrt{7}}{3}$

$\boxed{\mathbf{14}}$ の選択肢

① $\dfrac{1}{2}mgh$　② $\dfrac{2}{3}mgh$　③ $\dfrac{4}{7}mgh$　④ $\dfrac{3}{2}mgh$

第３問　次の文章中の $\boxed{15}$ ～ $\boxed{21}$ に当てはまる適切なものを，それぞれの選択肢①～④のうちから１つずつ選びなさい。**〔解答番号 $\boxed{15}$ ～ $\boxed{21}$〕**

（１）未知の抵抗値 R_x〔Ω〕を測定するホイートストンブリッジを考える。図３－１のように，それぞれの抵抗値が R_A〔Ω〕, R_B〔Ω〕, R_C〔Ω〕, R_x〔Ω〕の抵抗器 A，B，C，X，検流計 G，電池 E が接続されている。また抵抗器 C は可変抵抗器である。なお，抵抗器 A および抵抗器 B に流れる電流をそれぞれ I_A〔A〕, I_B〔A〕とする。

このホイートストンブリッジを使った R_x の決定方法について考える。スイッチ S_1，およびスイッチ S_2 が閉じた状態で検流計 G に流れる電流が 0 A となったとき，抵抗器 C および抵抗器 X に流れる電流をそれぞれ I_C〔A〕，I_x〔A〕とすると，$\boxed{15}$ である。また，経路 cadc および経路 dbcd について $\boxed{16}$ を適用すると，$\boxed{17}$ の関係が成り立つことが導ける。したがって，この関係を利用して，R_A, R_B, R_C の値から R_x の値を求めることができる。

（２）図３－２のように，長さ L〔m〕で太さと材質が一様な抵抗線 ab，抵抗値 r〔Ω〕の抵抗器 R および未知の抵抗値 R_y〔Ω〕の抵抗器 Y，スイッチ S，電池 E，検流計 G が接続されている。スイッチ S が閉じた状態で抵抗線 ab について，ab を 1：4 に内分する点 c で検流計 G が 0 A を示したとき，R_y の値は $\boxed{18}$〔Ω〕と決定できる。

（３）内部抵抗 r〔Ω〕をもつ起電力 E〔V〕の電池に可変抵抗器が接続された回路を考える。可変抵抗器の抵抗値が R〔Ω〕であるとき，回路に流れる電流の値は $\boxed{19}$〔A〕であり，可変抵抗器の消費電力 P〔W〕は $P=\left(\dfrac{E}{\boxed{20}}\right)^2$ と表せる。P が最大となるのは，$R=\boxed{21}$ のときである。

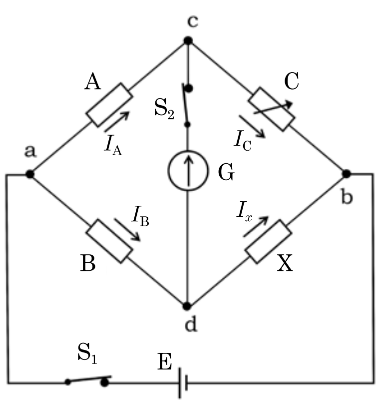

図３－１

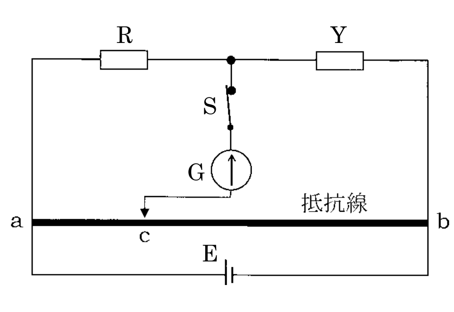

図３－２

$\boxed{\mathbf{15}}$ の選択肢

① $I_{\mathrm{C}} = I_{\mathrm{B}}$,　$I_x = I_{\mathrm{A}}$

② $I_{\mathrm{C}} = \dfrac{{I_{\mathrm{A}}}^2}{I_{\mathrm{B}}}$,　$I_x = \dfrac{{I_{\mathrm{B}}}^2}{I_{\mathrm{A}}}$

③ $I_{\mathrm{C}} = I_{\mathrm{A}}$,　$I_x = I_{\mathrm{B}}$

④ $I_{\mathrm{C}} = \dfrac{{I_{\mathrm{B}}}^2}{I_{\mathrm{A}}}$,　$I_x = \dfrac{{I_{\mathrm{A}}}^2}{I_{\mathrm{B}}}$

$\boxed{\mathbf{16}}$ の選択肢

① キルヒホッフの第 1 法則

② キルヒホッフの第 2 法則

③ レンツの法則

④ クーロンの法則

$\boxed{\mathbf{17}}$ の選択肢

① $R_{\mathrm{A}} = R_{\mathrm{B}}\, R_{\mathrm{C}}\, R_x$

② $R_{\mathrm{A}}\, R_{\mathrm{B}} = R_{\mathrm{C}}\, R_x$

③ $R_{\mathrm{A}}\, R_{\mathrm{C}} = R_{\mathrm{B}}\, R_x$

④ $R_{\mathrm{A}}\, R_x = R_{\mathrm{B}}\, R_{\mathrm{C}}$

$\boxed{\mathbf{18}}$ の選択肢

① $\dfrac{r}{4}$　② $\dfrac{r}{2}$　③ $2r$　④ $4r$

$\boxed{\mathbf{19}}$ の選択肢

① $\dfrac{E}{R+r}$　② $\dfrac{R+r}{E}$　③ $\dfrac{R}{E} + r$　④ $\dfrac{R}{E} + \dfrac{1}{r}$

$\boxed{\mathbf{20}}$ の選択肢

① $\sqrt{2R} + \sqrt{r}$　② $\sqrt{R} + \sqrt{r}$　③ $\sqrt{R} + \dfrac{r}{\sqrt{R}}$　④ $\sqrt{R} + \dfrac{R}{\sqrt{r}}$

$\boxed{\mathbf{21}}$ の選択肢

① $\dfrac{r}{2}$　② r　③ $2r$　④ $\dfrac{1}{r}$

第４問　次の文章中の $\boxed{\mathbf{22}}$ ～ $\boxed{\mathbf{28}}$ に当てはまる適切なものを，それぞれの選択肢①～⑥のうちから１つずつ選びなさい。**〔解答番号 $\boxed{\mathbf{22}}$ ～ $\boxed{\mathbf{28}}$〕**

ダイヤモンドは入射された光の多くを反射し，それが輝きとして観察される。これにはダイヤモンドの高い屈折率と全反射が強く関係している。本問では２次元のモデルを用いてこれを考察する。

図４－１のように直角二等辺三角形の形状をした空気に対する相対屈折率 n の透明な物体を考える。この物質から空気に向かって光が進むときの，全反射における臨界角 θ_0〔°〕が満たすべき式は $\boxed{\mathbf{22}}$ である。

図４－２のように，この物体に上方から光を辺 AB に対して垂直に入射したとき，光の一部が物体の中に進む。物体の中に進んだ光は物体の辺 AC に入射角 45° で進む。この光が全反射するために相対屈折率 n が満たすべき条件は $\boxed{\mathbf{23}}$ である。$\boxed{\mathbf{23}}$ の条件を満たしている光は全反射し，さらに辺 BC で全反射する。この光は２回の全反射によって上方に跳ね返っていく。

図４－３のように，空気から辺 AB への光の入射角が θ_1〔°〕（$\theta_1 > 0$）の場合，頂点 A よりにある点 D で物体内部に進んだ直後の屈折角 θ_2〔°〕が満たすべき式は $\boxed{\mathbf{24}}$ である。その後，光は辺 AC 間の点 E で入射角 θ_3〔°〕，辺 BC 間の点 F で入射角 θ_4〔°〕の全反射をする。つづいて点 G を経由してもとの入射光と正反対の方向に進んでいく。このとき，$\theta_3 = 45^\circ + \theta_2$，$\theta_4 = 90^\circ - \theta_3$ である。$0 \leqq \theta_2$ であるため，明らかに $\theta_4 \leqq \theta_3$ であることから，$\boxed{\mathbf{25}}$。$\theta_4 = \theta_0$ であるとき，$\theta_2 = \boxed{\mathbf{26}}$ である。

ここで，この物質がガラスでできているものとする。空気に対するガラスの相対屈折率を 1.5 として臨界角 θ_0 を計算すると約 42° と求められる。$\theta_0 = 42^\circ$ として，点 E および点 F の両方で全反射を起こすための θ_2 の条件を求めると $\boxed{\mathbf{27}}$ である。十分に小さな角度 α〔°〕，β〔°〕については $\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha} \fallingdotseq \dfrac{\beta}{\alpha}$ の近似が使える。この近似を用いると，θ_1 に許容される角度は $\boxed{\mathbf{28}}$ と求められる。

空気に対するダイヤモンドの相対屈折率は 2.42 であり，その臨界角は小数点以下第２位を四捨五入して 24.4° と求められる。このことから，θ_1 に許容される角度の最大値を求めると 58.3° になる。これと $\boxed{\mathbf{28}}$ を比較して分かるように，ダイヤモンドはガラスと比較して広い入射角度の領域で全反射が起こり，強い輝きが生じる。

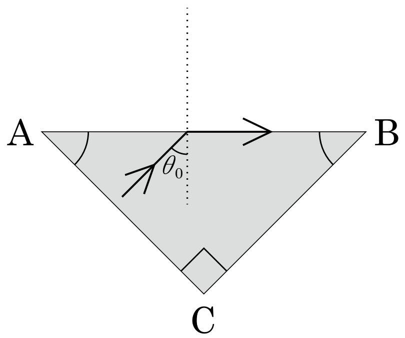

図４－１

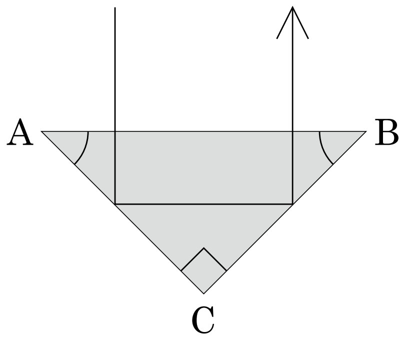

図４－２

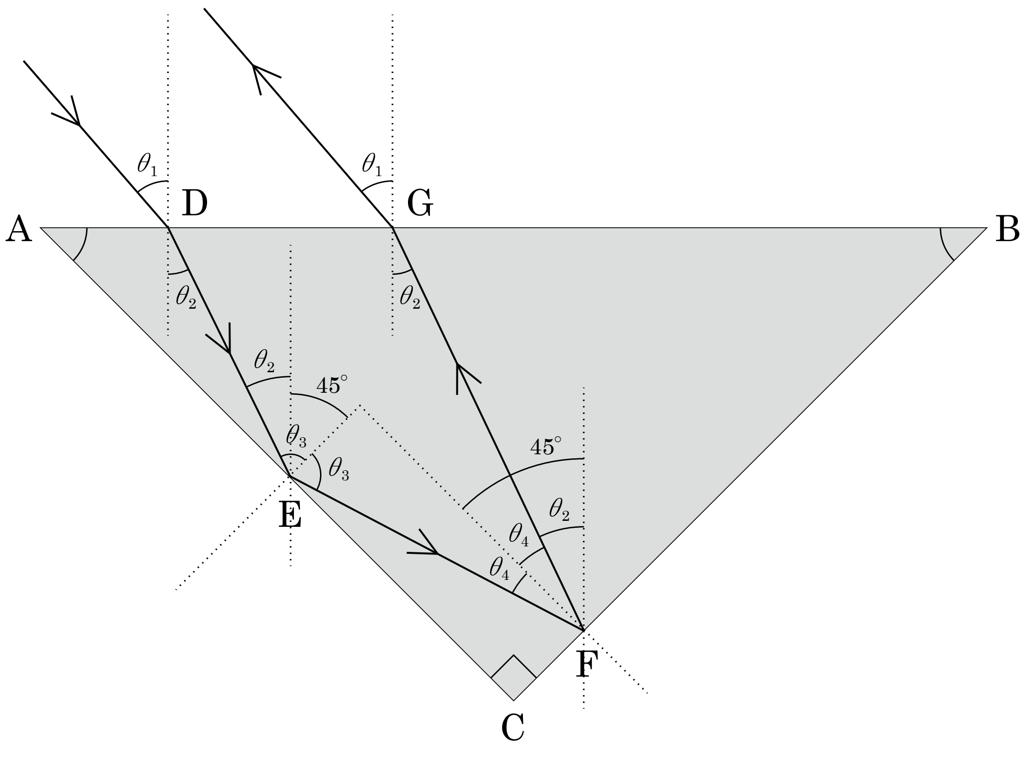

図４－３

次頁に続きます。

$\boxed{\textbf{22}}$ の選択肢

① $\sin\theta_0 = n$　② $\sin\theta_0 = n - 1$　③ $\sin\theta_0 = \dfrac{1}{n}$　④ $\cos\theta_0 = n$

⑤ $\cos\theta_0 = n - 1$　⑥ $\cos\theta_0 = \dfrac{1}{n}$

$\boxed{\textbf{23}}$ の選択肢

① $n < \dfrac{4}{3}$　② $n > \dfrac{4}{3}$　③ $n < \sqrt{2}$　④ $n > \sqrt{2}$

⑤ $n < \dfrac{3}{2}$　⑥ $n > \dfrac{3}{2}$

$\boxed{\textbf{24}}$ の選択肢

① $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n$　② $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n - 1$　③ $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \dfrac{1}{n}$　④ $\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} = n$

⑤ $\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} = n - 1$　⑥ $\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} = \dfrac{1}{n}$

$\boxed{\textbf{25}}$ の選択肢

① 点 E での全反射の条件を満たせば，点 F で必ず全反射が生じる

② 点 E での全反射の条件を満たせば，点 F および点 G で必ず全反射が生じる

③ 点 F での全反射の条件を満たせば，点 E で必ず全反射が生じる

④ 点 F での全反射の条件を満たせば，点 E および点 G で必ず全反射が生じる

⑤ 点 E と点 F の両方が同時に全反射の条件を満たすことはない

⑥ 光がもとの入射光と正反対の方向に放出されるには点 D，E，F，G のすべてで全反射の条件を満たす必要がある

$\boxed{\textbf{26}}$ の選択肢

① $45^\circ - \dfrac{\theta_0}{2}$　② $45^\circ + \dfrac{\theta_0}{2}$　③ $45^\circ - \theta_0$　④ $45^\circ + \theta_0$

⑤ $90^\circ - \dfrac{\theta_0}{2}$　⑥ $90^\circ - \theta_0$

$\boxed{\textbf{27}}$ の選択肢

① $0^\circ \leqq \theta_2 \leqq 1^\circ$　② $0^\circ \leqq \theta_2 \leqq 2^\circ$　③ $0^\circ \leqq \theta_2 \leqq 3^\circ$　④ $43^\circ \leqq \theta_2 \leqq 45^\circ$

⑤ $43^\circ \leqq \theta_2 \leqq 47^\circ$　⑥ $45^\circ \leqq \theta_2 \leqq 47^\circ$

$\boxed{\textbf{28}}$ の選択肢

① $0^\circ \leqq \theta_1 \leqq 1.5^\circ$　② $0^\circ \leqq \theta_1 \leqq 3^\circ$　③ $0^\circ \leqq \theta_1 \leqq 4.5^\circ$　④ $42^\circ \leqq \theta_1 \leqq 45^\circ$

⑤ $42^\circ \leqq \theta_1 \leqq 48^\circ$　⑥ $45^\circ \leqq \theta_1 \leqq 48^\circ$

以上で問題は終わりです。