

Y 3 物理 Y 4 化学 Y 5 生物

この冊子は、**物理**、**化学** 及び **生物** の問題を 1 冊にまとめてあります。

数学科は、物理または化学のどちらかを選択

物理学科は物理指定

情報科学科、応用生物科学科及び経営工学科は、物理、化学、生物のいずれかを選択

物理の問題は、1 ページより 18 ページまであります。
化学の問題は、19 ページより 29 ページまであります。
生物の問題は、30 ページより 59 ページまであります。

[注 意]

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- (2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら、解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し、さらに受験番号をマークしてください。
- (3) 解答は、所定の解答用マークシートにマークしたものが採点されます。
- (4) 解答用マークシートについて
 - ① 解答用マークシートは、絶対に折り曲げてはいけません。
 - ② マークには黒鉛筆(H B または B)を使用してください。
指定の黒鉛筆以外でマークした場合、採点できないことがあります。
 - ③ 誤ってマークした場合は、消しゴムで丁寧に消し、消しくずを完全に取り除いたうえで、新たにマークしてください。
 - ④ 解答欄のマークは、横 1 行について 1 箇所に限ります。
2 箇所以上マークすると採点されません。
あいまいなマークは無効となるので、はっきりマークしてください。
 - ⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を、必ず読んでから解答してください。
- (5) 試験開始の指示があったら、初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (6) 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

物 理

1

次の問題の の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。
(同じ番号を何回用いてもよい。)

(35 点)

電気量の大きさ q_1 [C] と q_2 [C] の点電荷の間にはたらくクーロン力の大きさ $f_C(r)$ [N] を表すクーロンの法則 (式 (1)) と、質量 m_1 [kg] の物体 (質点) と質量 m_2 [kg] の質点の間にはたらく万有引力の大きさ $f_g(r)$ [N] を表す万有引力の法則 (式 (2)) は、いずれも点電荷間、または質点間の距離 r [m] の二乗に反比例するという形をしている。

$$f_C(r) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

$$f_g(r) = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

ここで、 k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$] はクーロンの法則の比例定数、 G [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$] は万有引力定数である。また、複数の点電荷によるクーロン力、および複数の質点による万有引力は、いずれも力のベクトルの足し算によって合力を計算することができる。以下では、このクーロン力と万有引力の類似性に着目してみよう。式 (1) と式 (2) を比較すると、式 (1) の電荷 q_i ($i = 1, 2$) を質量 m_j ($j = 1, 2$) に、定数 k を定数 G に置き換えることで、 $f_C(r)$ を $f_g(r)$ に書き換えることができる。また、このような置き換えでは、電荷密度 ρ_e [C/m^3] は質量の密度 ρ [kg/m^3] と置き換えればよい。

- (1) 図 1-1(a) のように、O を中心とする半径 R [m] の球の内部に正の電荷が一樣な電荷密度 ρ_e ($\rho_e > 0$) で分布している。球内の任意の点 P における電場の大きさは、ガウスの法則を用いて求めることができる。大きさ E_0 [N/C] の電場の方向に垂直な面を貫く単位面積あたりの電気力線の本数を E_0 [本/ m^2] と定

義する。ガウスの法則によれば、任意の閉曲面の内部に存在する電荷の総量が Q [C] であるとき、この曲面を貫いて外に出る電気力線は $4\pi kQ$ [本] である。図 1-1(b) のように、球の内部に O を中心とする半径 r [m] の球面 S を考えると、 S で囲まれた半径 r の内部に存在する電荷の総量 Q_r [C] は $Q_r = \rho_e \times$ (ア) である。また、 S 上で電場の大きさ $E(r)$ [N/C] は一定であるから、 S を貫く電気力線の本数 N [本] は $E(r)$ を用いて $N = E(r) \times$ (イ) と表すことができる。したがって、ガウスの法則によって球面 S 上にある点 P における電場の大きさは $E(r) =$ (ウ) と求められる。点 P にあらたに電気量の大きさ q [C] の負の点電荷を置く。点電荷を置くことで、電荷密度 ρ_e は変わらないとする。このとき、点 P にある負の電荷が受ける力 $\vec{F}_C(r)$ は、向きは球の中心 O に向かう向きで、大きさ $F_C(r)$ [N] は、 $F_C(r) =$ (エ) と表すことができる。また、 $F_C(r)$ は Q_r を用いて、 $F_C(r) =$ (オ) と表される。このことから、 $F_C(r)$ は、球の中心 O に点電荷 Q_r が存在するときのものと等しいことがわかる。

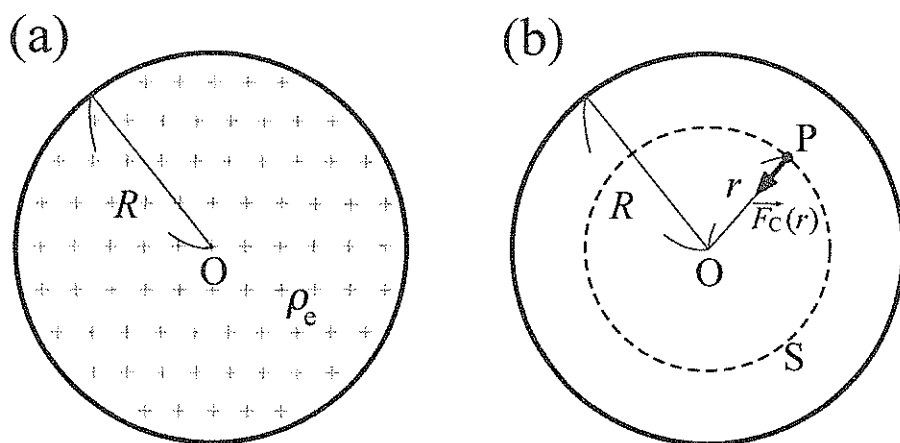


図 1-1

(ア), (イ) の解答群

- ① $\frac{4}{3}\pi r^3$ ② $\frac{3}{4}\pi r^3$ ③ $4\pi r^3$ ④ πr^3
- ⑤ $2\pi r^2$ ⑥ πr^2 ⑦ $4\pi r^2$ ⑧ $\frac{4}{3}\pi r$

(ウ) の解答群

- ① $\frac{3}{4}\pi k\rho_e r$ ② $\pi k\rho_e r$ ③ $\frac{1}{2}k\rho_e r$ ④ $\frac{4}{3}\pi k\rho_e r$
- ⑤ $\frac{4}{3k}\pi\rho_e r$ ⑥ $\frac{3}{4k}\pi\rho_e r$ ⑦ $\frac{4}{3}k\rho_e r^3$ ⑧ $\frac{4}{3}\pi k\rho_e r^2$

(エ) の解答群

- ① $4\pi k\rho_e q r$ ② $\frac{4}{3}\pi k\rho_e q r$ ③ $\frac{4}{3}\pi k\rho_e q r^2$ ④ $\frac{3}{4}\pi k\rho_e q r$
- ⑤ $\frac{4}{3k}\pi\rho_e q r$ ⑥ $\frac{3}{4k}\pi\rho_e q r$ ⑦ $2\pi k\rho_e q r^2$ ⑧ $\frac{2}{3}\pi k\rho_e q r$

(オ) の解答群

- ① $k\frac{qQ_r}{r}$ ② $k\frac{qQ_r}{r^3}$ ③ $2\pi k\frac{qQ_r}{r^2}$ ④ $4\pi k\frac{qQ_r}{r^2}$
- ⑤ $k\frac{qQ_r}{rR}$ ⑥ $4\pi k\frac{qQ_r}{r}$ ⑦ $k\frac{qQ_r}{r^2}$ ⑧ $k\frac{qQ_r}{2r^2}$

左のページは白紙です。

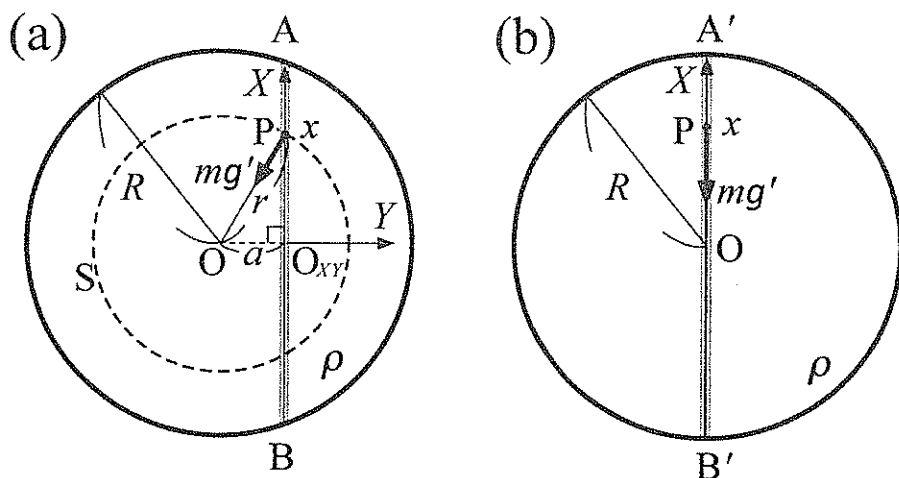


図 1-2

(2) 図 1-2 は、地球の中心 O を通る地球の断面図を表したものである。ここでは、地球を密度が一様な半径 R [m] の球と仮定する。その密度は ρ [kg/m³] とする。また、地球の公転、自転は考えない。まず、図 1-2(a) のように、地表の点 A と点 B を結ぶ直線の地下トンネルを考える。点 A から、質量 m [kg] の質点を初速 0 m/s でトンネルに落とした。質点のその後の運動について考えよう。ただし、以降の問題で扱う地下トンネルの直径は小さく、地球全体から見れば大きさが無視できるものとする。また、トンネル内の空気抵抗やトンネルの内壁の摩擦は無視する。

図 1-2(a) のように、質点が O から距離 r [m] の点 P にあるとき、質点にはたらく万有引力の大きさを $F_g(r)$ [N] とし、 $F_g(r) = mg'(r)$ と表す。ここで、 $g'(r)$ [m/s²] は点 P における加速度の大きさである。小問 (1) で求めた $F_C(r) = \boxed{\text{(工)}}$ に $q \rightarrow m$, $k \rightarrow G$, $\rho_e \rightarrow \rho$ の置き換えを施すことによって $F_g(r) = \boxed{\text{(力)}}$ と求めることができる。また、 O を中心とする半径 r の球面 S 内の質量を M_r [kg] とすると、 $F_g(r)$ は M_r を用いて $F_g(r) = \boxed{\text{(キ)}}$ と表すことができる。この結果から、質点が点 P にあるときに受ける万有引力は、地球の中心に質量 M_r の質点が存在するときのものに一致することがわかる。

以上より、 $g'(r)$ は、地表における重力加速度の大きさ g [m/s^2] を用いて $g'(r) = g \times \boxed{\text{(ク)}}$ と表される。図 1-2(a) のようにトンネルの midpoint を原点 O_{XY} として X 軸と Y 軸をとる。 O と O_{XY} の間の距離を a [m] とする。質点が受ける万有引力の Y 成分は質点がトンネルの壁面から受ける垂直抗力とつり合っている。一方、質点の X 座標を x [m] とすると、 X 方向の質点の運動方程式は、加速度の X 成分を a_x [m/s^2] として、 $ma_x = \boxed{\text{(ケ)}}$ $\times mg$ となる。したがって、質点が点 A から滑り落ちはじめたあと、トンネル内を運動し、はじめて点 B に到達するまでにかかる時間 T_{AB} [s] は $T_{AB} = \boxed{\text{(コ)}}$ となる。次に、図 1-2(b) のように地下トンネルが地球の中心 O を通って地表の点 A' と点 B' を結ぶ場合 ($a = 0$ m) を考える。先ほどと同様に、点 A' から質量 m の質点を初速 0 m/s でトンネルに落とした。 X 方向の質点の運動方程式は、質点の X 座標を x とすると、 $ma_x = \boxed{\text{(サ)}}$ $\times mg$ となる。したがって、質点が点 A' から落ちはじめたあと、トンネル内を運動し、はじめて点 B' に到達するまでにかかる時間 $T_{A'B'}$ [s] は $T_{A'B'} = \boxed{\text{(シ)}}$ となる。

- (3) 図 1-3 のように、質量 m の質点が、地球の中心 O を中心として、半径 R の地表すれすれの円軌道上を万有引力を向心力として等速円運動している。このとき、点 A' を通過した質点が地球を半周し、点 B' に到達するまでにかかる時間は $T'_{A'B'} = \boxed{\text{(ス)}}$ [s] となる。ただし、空気抵抗は無視できるものとする。小問 (2) の結果と比較すると、 $T'_{A'B'} = \boxed{\text{(セ)}}$ $\times T_{AB} = \boxed{\text{(ソ)}}$ $\times T_{A'B'}$ という関係が成り立つ。 $T_{A'B'}$ と $T'_{A'B'}$ の関係は、図 1-3 のように、 O を原点として、点 A' と点 B' を結ぶ直線に平行に X 軸をとると、 X 方向の質点の運動方程式は、質点の X 座標を x 、加速度の X 成分を a_x として $ma_x = \boxed{\text{(タ)}}$ $\times mg$ と表されることから理解することができる。

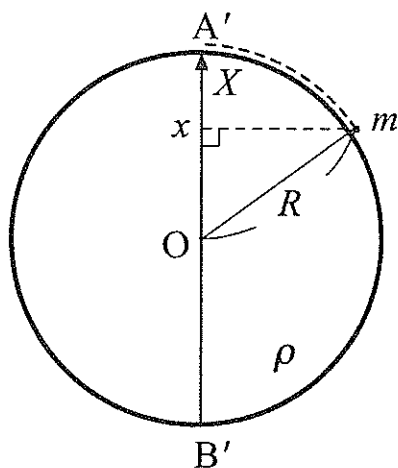


図 1-3

(カ) の解答群

- ① $\pi G m \rho r$ ② $2\pi G m \rho r$ ③ $4\pi G m \rho r$ ④ $\pi G m \rho r^2$
- ⑤ $\frac{4}{3}\pi G m \rho r^2$ ⑥ $\frac{3}{4}\pi G m \rho r$ ⑦ $\frac{3}{4}\pi G m \rho r^2$ ⑧ $\frac{4}{3}\pi G m \rho r$

(キ) の解答群

- ① $4G\pi \frac{mM_r}{r^2}$ ② $4G \frac{mM_r}{r^2}$ ③ $G \frac{mM_r}{r^2}$ ④ $G \frac{mM_r}{r}$
- ⑤ $G \frac{m}{M_r r}$ ⑥ $G \frac{mM_r}{rR}$ ⑦ $G \frac{m}{r^2}$ ⑧ $G \frac{M_r}{r^2}$

左のページは白紙です。

(ク) の解答群

- ① $\frac{r}{R}$ ② $\frac{2r}{R}$ ③ $\frac{\sqrt{2}r}{R}$ ④ $\sqrt{\frac{r}{R}}$
⑤ $\frac{r^2}{R^2}$ ⑥ $\frac{R^2}{r^2}$ ⑦ $\sqrt{\frac{R}{r}}$ ⑧ $\frac{R}{r}$

(ケ) の解答群

- ① $\frac{x}{\sqrt{r^2 - a^2}}$ ② $-\frac{x}{\sqrt{r^2 - a^2}}$ ③ $\frac{rx}{R}$ ④ $-\frac{rx}{R}$
⑤ $-\frac{x}{R}$ ⑥ $\frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{R}$ ⑦ $-\frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{R}$ ⑧ $\frac{r}{R}$

(コ), (シ), (ス) の解答群

- ① $\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ ② $\pi\sqrt{\frac{g}{R}}$ ③ $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ ④ $2\pi\sqrt{\frac{g}{R}}$
⑤ $\pi\sqrt{\frac{g}{3R}}$ ⑥ $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$ ⑦ $\pi\sqrt{\frac{R}{2g}}$ ⑧ $\pi\sqrt{\frac{g}{2R}}$

(サ), (タ) の解答群

- ① $\frac{x}{2R}$ ② $-\frac{x}{2R}$ ③ $\frac{\sqrt{2}x}{R}$ ④ $-\frac{\sqrt{2}x}{R}$
⑤ $-\frac{x}{R}$ ⑥ $\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$ ⑦ $\sqrt{1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2}$ ⑧ $\frac{x}{R}$

(セ), (ソ) の解答群

- ① $\frac{1}{2}$ ② 1 ③ $\frac{2}{3}$ ④ $\frac{3}{2}$
⑤ 2 ⑥ $\frac{1}{4}$ ⑦ $\frac{\sqrt{2}}{3}$ ⑧ $\frac{\sqrt{2}}{2}$

左のページは白紙です。

2

次の問題の の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。
(同じ番号を何回用いてもよい。)

(35 点)

図 2-1 のように、2 本のじゅうぶん長い金属レール AB と CD が絶縁体の台の上に平行に置かれている。台は水平な上部と、水平面と 30° の角度をなす斜面からなり、床に固定されている。レールは、点 E および点 F において台に沿って折り曲げられており、2 本のレールの間隔は L [m] である。区間 AE および区間 CF ではレールは斜面に沿っており、水平面に対して 30° の角度がつけられている。区間 BE および区間 DF ではレールは水平に置かれている。これらのレール上にじゅうぶん硬い導体棒を渡して置き、その運動を調べた。ただし、導体棒は常にレールと垂直であるとする。導体棒の太さ、各レールの太さは無視できるものとする。また、レールと導体棒の間の摩擦力とレールの電気抵抗も無視できるとする。

空間には、磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁場（磁界）が絶縁体の台を貫き、鉛直上向きに加えられている。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

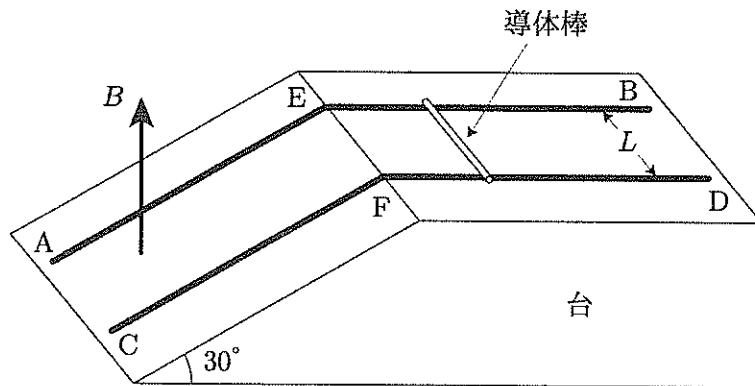


図 2-1

(1) 図 2-2 のように、区間 BE および区間 DF のレール上に導体棒 PQ を置く。

導体棒 PQ は区間 BE および区間 DF のレール上を動くとする。次に、区間 AE および区間 CF のレール上に導体棒 ST を置き、固定する。導体棒 PQ と導体棒 ST の長さ L あたりの電気抵抗はそれぞれ $R [\Omega]$ である。2 つの導体棒と 2 本のレールからなる回路の自己インダクタンスは無視できるとする（回路を流れる電流のつくる磁場は無視してよい）。

導体棒 PQ にひもをつけて引き、一定の速さ $v_0 [\text{m/s}]$ で点 E から点 B に向かう方向に動かすと、回路に (ア) の向きに電流が流れる。このとき、電流の大きさ $I_0 [\text{A}]$ は $I_0 =$ (イ) であり、導体棒 PQ を一定の速さで動かすために加えている外力の大きさ $F_0 [\text{N}]$ は $F_0 =$ (ウ)、外力がする仕事の仕事率 $P_0 [\text{W}]$ は $P_0 =$ (エ) である。次に、導体棒 PQ を一定の速さ v_0 で動かしたまま、導体棒 ST の固定を静かに解除したところ、導体棒 ST は上昇も下降もしないでレール上に静止した。このとき、導体棒 ST が磁場から受ける力の斜面に沿った方向の成分 $f_0 [\text{N}]$ は、斜面に沿って上方向を正とすると、 $f_0 =$ (オ) $\times F_0$ であり、これが重力の斜面に沿った方向の成分とつり合っている。これより、導体棒 ST の質量 $m [\text{kg}]$ は $m =$ (カ) $\times \frac{F_0}{g}$ と求められる。

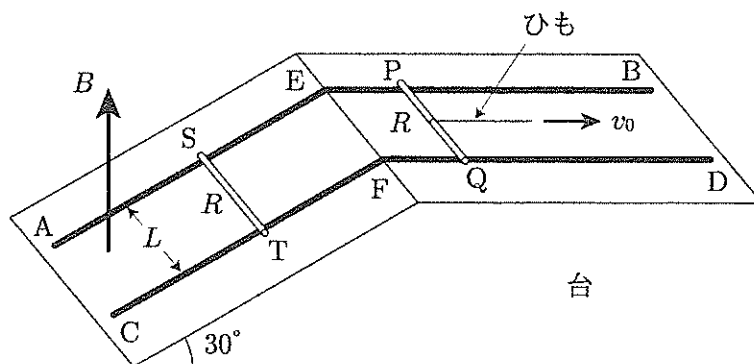


図 2-2

(ア) の解答群

① $P \rightarrow Q \rightarrow T \rightarrow S$

② $Q \rightarrow P \rightarrow S \rightarrow T$

(イ) の解答群

① $\frac{v_0}{2BR}$

② $\frac{v_0}{2LR}$

③ $\frac{v_0}{2BLR}$

④ $\frac{v_0 L}{2BR}$

⑤ $\frac{v_0 B}{2R}$

⑥ $\frac{v_0 L}{2R}$

⑦ $\frac{v_0 BL}{2R}$

⑧ $\frac{v_0 B}{2LR}$

(ウ), (エ) の解答群

① $\frac{v_0^2 B}{2R}$

② $\frac{v_0 B^2}{2R}$

③ $\frac{v_0^2 B^2}{2R}$

④ $\frac{v_0^2 BL}{2R}$

⑤ $\frac{v_0 B^2 L}{2R}$

⑥ $\frac{v_0 BL^2}{2R}$

⑦ $\frac{v_0^2 B^2 L}{2R}$

⑧ $\frac{v_0^2 BL^2}{2R}$

⑨ $\frac{v_0 B^2 L^2}{2R}$

⑩ $\frac{v_0^2 B^2 L^2}{2R}$

(オ), (カ) の解答群

① 1

② 2

③ $\frac{1}{2}$

④ $\sqrt{2}$

⑤ $\sqrt{3}$

⑥ $2\sqrt{3}$

⑦ $\frac{\sqrt{3}}{2}$

⑧ $\frac{\sqrt{3}}{3}$

⑨ $\frac{2\sqrt{3}}{3}$

⑩ $\frac{4\sqrt{3}}{3}$

左のページは白紙です。

- (2) 導体棒 ST が静止した状態において、導体棒 PQ の速さを大きくし、一定の速さ v_1 [m/s] ($v_1 > v_0$) で点 E から点 B に向かう方向に動かしたところ、導体棒 ST が斜面に沿って上向きに動き出した。ただし、導体棒 ST は区間 AE および区間 CF のレール上を動くとする。

図 2-3 のように、ある時刻において、導体棒 ST は斜面に沿って上向きに、速さ v [m/s] で動いていた。このとき、回路に流れる電流 I [A] は、 $P \rightarrow Q \rightarrow T \rightarrow S$ の向きを正とすると、 $I = \boxed{\text{(キ)}} \times I_0$ である。これより、導体棒 ST が磁場から受ける力の斜面に沿った方向の成分 f [N] は、斜面に沿って上方向を正とすると、 $f = \boxed{\text{(ク)}} \times F_0$ である。したがって、導体棒 ST の運動方程式より、導体棒 ST の加速度の斜面に沿った方向の成分 a [m/s²] は、斜面に沿って上方向を正とすると、 $a = \boxed{\text{(ケ)}} \times g$ と求められる。

じゅうぶん時間がたったとき、導体棒 ST の速度は一定となった。このとき、導体棒 ST の速さ v_t [m/s] は $v_t = \boxed{\text{(コ)}} \times v_0$ であり、回路に流れる電流の大きさ I_1 [A] は $I_1 = \boxed{\text{(サ)}} \times I_0$ 、回路全体で単位時間あたりに発生するジュール熱 P_1 [W] は $P_1 = \boxed{\text{(シ)}} \times P_0$ である。また、このとき、導体棒 PQ を一定の速さ v_1 で動かすために加えている外力がする仕事の仕事率 P_2 [W] は $P_2 = \boxed{\text{(ス)}} \times P_0$ であり、導体棒 ST の単位時間あたりの位置エネルギーの変化 P_3 [W] は $P_3 = \boxed{\text{(セ)}} \times P_0$ である。したがって、 P_1 , P_2 , P_3 は、関係 $\boxed{\text{(ソ)}}$ を満たしていることがわかる。

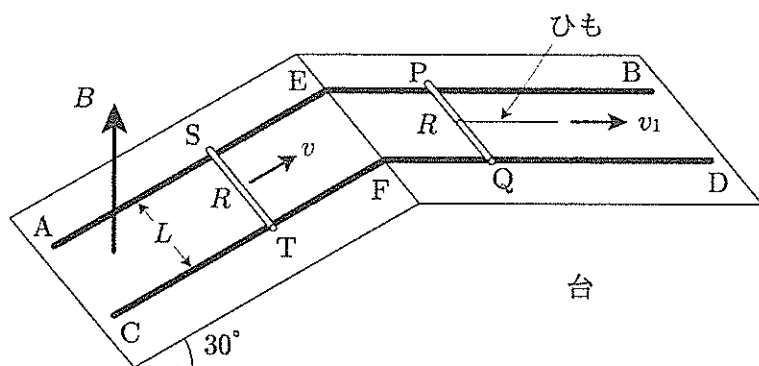


図 2-3

(キ), (ク) の解答群

⑩ $\frac{v_1 - v}{v_0}$

① $\frac{v - v_1}{v_0}$

② $\frac{\sqrt{3}(v_1 - v)}{2v_0}$

③ $\frac{\sqrt{3}(v - v_1)}{2v_0}$

④ $\frac{2v_1 - \sqrt{3}v}{2v_0}$

⑤ $\frac{\sqrt{3}v - 2v_1}{2v_0}$

⑥ $\frac{\sqrt{3}v_1 - 2v}{2v_0}$

⑦ $\frac{2v - \sqrt{3}v_1}{2v_0}$

⑧ $\frac{\sqrt{3}(2v_1 - \sqrt{3}v)}{4v_0}$

⑨ $\frac{\sqrt{3}(\sqrt{3}v - 2v_1)}{4v_0}$

(ケ) の解答群

⑩ $\frac{v_1 - v_0 - v}{2v_0}$

① $\frac{2v_1 - v_0 - v}{2v_0}$

② $\frac{2v_1 - 2v_0 - v}{4v_0}$

③ $\frac{v_1 - v_0 - \sqrt{3}v}{2v_0}$

④ $\frac{2v_1 - v_0 - \sqrt{3}v}{2v_0}$

⑤ $\frac{2v_1 - 2v_0 - \sqrt{3}v}{4v_0}$

⑥ $\frac{\sqrt{3}v_1 - v_0 - v}{2v_0}$

⑦ $\frac{2\sqrt{3}v_1 - 2v_0 - v}{2v_0}$

⑧ $\frac{2\sqrt{3}v_1 - 2v_0 - v}{4v_0}$

(コ) の解答群

⑩ $v_1 - v_0$

① $2v_1 - v_0$

② $\frac{v_1 - v_0}{2}$

③ $v_1 - \frac{v_0}{2}$

④ $\frac{\sqrt{3}(v_1 - v_0)}{3}$

⑤ $\frac{\sqrt{3}(2v_1 - v_0)}{3}$

⑥ $\frac{2\sqrt{3}(v_1 - v_0)}{3}$

⑦ $\frac{2\sqrt{3}(2v_1 - v_0)}{3}$

左のページは白紙です。

(サ), (シ), (ス), (セ) の解答群

④ 1

① $\frac{v_1}{v_0}$

② $\frac{2v_1}{v_0}$

③ $\frac{v_1}{2v_0}$

④ $\frac{v_1^2}{v_0^2}$

⑤ $\frac{v_1 - v_0}{v_0}$

⑥ $\frac{2v_1 - v_0}{v_0}$

⑦ $\frac{v_1 - v_0}{2v_0}$

⑧ $\frac{(v_1 - v_0)^2}{v_0^2}$

⑨ $\frac{v_1^2 - v_0^2}{v_0^2}$

(ソ) の解答群

④ $P_1 + P_2 + P_3 = 0$

① $P_1 - P_2 + P_3 = 0$

② $P_1 + P_2 - P_3 = 0$

③ $P_1 - P_2 - P_3 = 0$

左のページは白紙です。

3

次の問題の の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。
(同じ番号を何回用いてもよい。) (30 点)

図 3-1 (断面図) に示すように、シリンダーとなめらかに動くピストンからなる容器が水平な台の上に置かれており、容器内の A 室には物質量 n [mol] の単原子分子理想気体が入っている。ピストンの質量を M [kg]、底面積を S [m²] とする。また、大気圧を p_0 [Pa]、大気の温度を T_0 [K] とする。A 室の気体の温度も T_0 [K] である。このときの A 室の長さを L_0 [m] とする。さらに、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

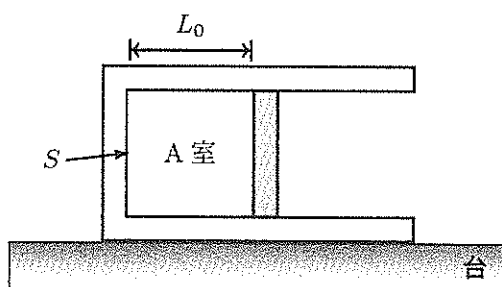


図 3-1

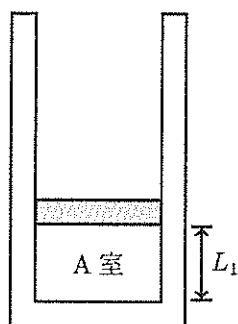


図 3-2

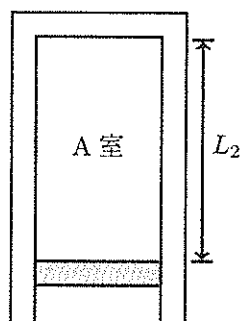


図 3-3

- (1) ピストンは熱を良く通す材料でできており、A 室の温度は常に T_0 [K] に保たれるとする。このとき、図 3-2 に示したように、容器を鉛直に立てたところ、A 室の長さ L_1 [m] は $L_1 = \frac{2}{3}L_0$ となった。このことから、 M は g , p_0 , S を用いて $M = \boxed{\text{(ア)}} \times \frac{p_0 S}{g}$ と表されることがわかる。また、このとき A 室の気体の圧力 p_1 [Pa] は $p_1 = \boxed{\text{(イ)}} \times p_0$ である。

この容器を、図 3-3 のように鉛直方向で逆さに支えたと、A 室の長さ L_2 [m] は $L_2 = \boxed{\text{(ウ)}} \times L_0$ となり、A 室の気体の圧力 p_2 [Pa] は $p_2 = \boxed{\text{(エ)}} \times p_0$ となる。

(ア), (イ), (ウ), (エ) の解答群

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ① $\frac{1}{3}$ | ② $\frac{1}{2}$ | ③ $\frac{2}{3}$ | ④ $\frac{3}{4}$ |
| ⑤ 1 | ⑥ $\frac{3}{2}$ | ⑦ 2 | ⑧ 3 |

(2) 今度は、ピストンもシリンダーも断熱材でできている場合を考える。この場合も、ピストンの質量を M [kg]、底面積を S [m²] とする。

(1) と同様に、図 3-1 のときの A 室の温度は T_0 [K]、長さは L_0 [m] である。まず、図 3-2 と同様に容器を鉛直に立てる。このときの A 室の長さを L'_1 [m]、A 室の気体の温度を T_1 [K] とする。この場合、気体は断熱変化をする。断熱変化では、気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m³] の間に $pV^\gamma = (\text{一定})$ の関係が成り立ち、単原子分子理想気体に対しては $\gamma = \frac{5}{3}$ であることが知られている。この関係式と理想気体の状態方程式を用いて、A 室の長さは $L'_1 = \boxed{\text{(オ)}} \times L_0$ 、A 室の気体の温度は $T_1 = \boxed{\text{(カ)}} \times T_0$ と求められる。

さらに、図 3-3 と同様に容器を鉛直方向で逆さに支える。このときの A 室の長さを L'_2 [m]、A 室の気体の温度を T_2 [K] とする。これらは、上記と同様にして $L'_2 = \boxed{\text{(キ)}} \times L_0$ 、 $T_2 = \boxed{\text{(ク)}} \times T_0$ と求められる。

これらの計算により、 L_1 と L'_1 の大小関係は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 、 L_2 と L'_2 の大小関係は $\boxed{\text{(コ)}}$ 、 T_0 と T_1 および T_2 の大小関係は $\boxed{\text{(サ)}}$ であることがわかる。

(オ), (カ), (キ), (ク) の解答群

④ $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{5}}$ ① $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{5}}$ ② $\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{5}}$ ③ $\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{5}}$

④ $\left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{5}}$ ⑤ $\left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{3}{5}}$ ⑥ $2^{\frac{2}{5}}$ ⑦ $2^{\frac{3}{5}}$

⑧ 1 ⑨ 2

(ケ) の解答群

④ $L_1 < L'_1$ ① $L_1 = L'_1$ ② $L_1 > L'_1$

(コ) の解答群

④ $L_2 < L'_2$ ① $L_2 = L'_2$ ② $L_2 > L'_2$

(サ) の解答群

④ $T_0 < T_1 < T_2$ ① $T_1 < T_0 < T_2$ ② $T_1 < T_2 < T_0$

③ $T_0 < T_2 < T_1$ ④ $T_2 < T_0 < T_1$ ⑤ $T_2 < T_1 < T_0$