

F 3 物 理

この冊子は、物理の問題で 1 ページより 25 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(HB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。

(下書き用紙)

(下書き用紙)

以下の問題 1 , 2 , 3 において、文章中の (ア) などにあてはまる最も適当なものを指定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欄にマークしなさい。ただし、(ア) などは既出の (ア) などを表す。

1 (35 点)

- (1) 図 1-1 のように、なめらかな水平面上に質量 $M[\text{kg}]$ の物体 A とその上に質量 $m[\text{kg}]$ の物体 B が置いてある。水平面と物体 A の下面の間には摩擦はなく、物体 A の上面と物体 B の下面の間の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とする。重力加速度の大きさを $g[\text{m/s}^2]$ とする。物体 A の大きさは運動中に物体 B が落ちない程度に大きいとする。また、力、加速度、速度は水平方向右向きを正の向きにとる。

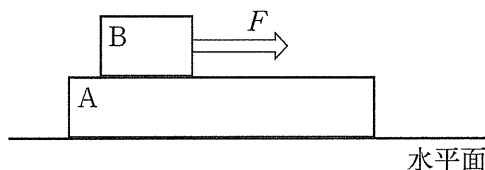


図 1-1

- (a) 図 1-1 のように、物体 B に水平方向右向きに力 $F[\text{N}]$ をくわえたとき、物体 B が物体 A の上をすべらずに、一体となって運動した。このとき、物体 A、物体 B の加速度 $a[\text{m/s}^2]$ は、 $a =$ (ア) $[\text{m/s}^2]$ になる。

力 $F[\text{N}]$ の大きさが、 $F_{\text{max}}[\text{N}]$ 以上になったとき、物体 B が物体 A の上をすべり出した。このとき、 $F_{\text{max}} =$ (イ) $[\text{N}]$ である。また、力 $F[\text{N}]$ の大きさが、 $F_{\text{max}}[\text{N}]$ 以上のとき、物体 A の加速度 $a_A[\text{m/s}^2]$ は、 $a_A =$ (ウ) $[\text{m/s}^2]$ 、物体 B の加速度 $a_B[\text{m/s}^2]$ は、 $a_B =$ (エ) $[\text{m/s}^2]$ になる。

(ア)の解答群

$$(1) \quad \frac{-F}{m+M} \quad (2) \quad \frac{F}{m+M} \quad (3) \quad \frac{F}{m} \quad (4) \quad \frac{F}{M}$$

(イ)の解答群

$$(1) \quad \mu \frac{m}{M} (m+M)g \quad (2) \quad \mu \frac{m^2}{M}g \\ (3) \quad \mu mg \quad (4) \quad \mu \frac{m}{m+M}Mg$$

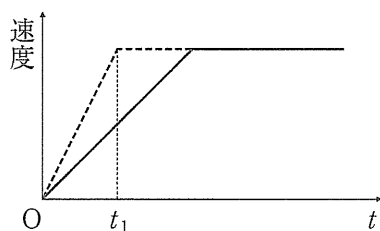
(ウ), (エ)の解答群

$$(1) \quad \frac{m}{M}\mu'g \quad (2) \quad \frac{m}{m+M}\mu'g \quad (3) \quad \frac{m+M}{m}\mu'g \quad (4) \quad \mu'g \\ (5) \quad -\frac{F+\mu'mg}{m} \quad (6) \quad -\frac{F-\mu'mg}{m} \quad (7) \quad \frac{F-\mu'mg}{m} \quad (8) \quad \frac{F+\mu'mg}{m}$$

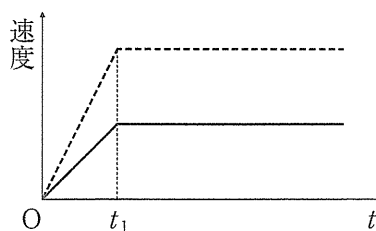
- (b) 時刻 $t = 0$ で、物体 B に水平方向右向きに $F_{\max}$ [N] に比べてじゅうぶん大きい力 F [N] をくわえると、物体 A、物体 B が同時に運動を始めた。その後、時刻 $t = t_1$ [s] で、力 F [N] を 0 にした。この運動における時間と速度の関係を表すグラフは (オ) のようになる。また、時刻 $t = 0$ から時刻 $t = t_1$ [s] までに、摩擦力が物体 A にした仕事 W_A [J] は、 $W_A =$ (カ) [J] で、摩擦力が物体 B にした仕事 W_B [J] は、 $W_B =$ (キ) [J] である。

(オ)の解答群(この解答群で、実線は物体 A、破線は物体 B の時間と速度の関係を表すグラフである。)

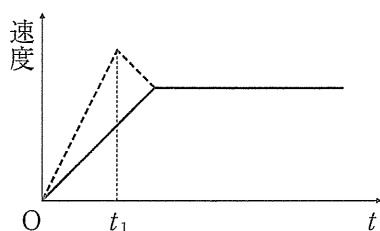
(1)



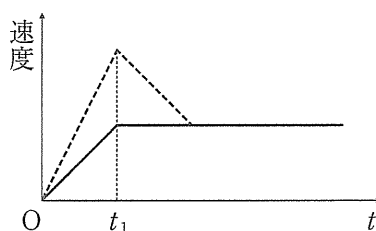
(2)



(3)



(4)



(カ), (キ)の解答群

(1) $-\frac{1}{2}M\left(\frac{\mu' mg}{M}t_1\right)^2$

(2) $-M\left(\frac{\mu' mg}{M}t_1\right)^2$

(3) $\frac{1}{2}M\left(\frac{\mu' mg}{M}t_1\right)^2$

(4) $M\left(\frac{\mu' mg}{M}t_1\right)^2$

(5) $t_1^2(F - \mu' mg)\mu' g$

(6) $\frac{t_1^2}{2}(F - \mu' mg)\mu' g$

(7) $-\frac{t_1^2}{2}(F - \mu' mg)\mu' g$

(8) $-t_1^2(F - \mu' mg)\mu' g$

(2) 図 1-2 のように、断面積 $S[\text{m}^2]$ 、高さ $H[\text{m}]$ の円柱を静かに水面に浮かべた。水の密度を $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、円柱の密度を $\alpha\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ $\left(\frac{1}{2} < \alpha < 1\right)$ 、重力加速度の大きさを $g[\text{m}/\text{s}^2]$ とする。また、水面の高さや水の密度は変化せず、円柱はなめらかに鉛直方向のみに運動し、回転運動はしないものとする。

(a) 円柱は $h[\text{m}]$ 沈んだところで静止した。このとき、 $h = \boxed{\text{ケ}}$ $[\text{m}]$ である。

(b) 図 1-2 のように、 x 軸を水面から $h[\text{m}]$ の位置を原点として、鉛直下向きを正にとる。円柱の上面を指で静かに押して、底面の位置を $x = x_1[\text{m}]$ まで沈めた(図 1-3)。ただし、 $x_1 < H - \boxed{\text{ケ}}$ である。このあと、指をはずすと、円柱は原点を中心に単振動をおこなった。この単振動の周期 $T[\text{s}]$ は、 $T = \boxed{\text{ケ}}$ $[\text{s}]$ となる。

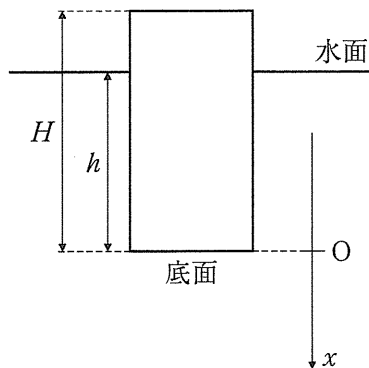


図 1-2

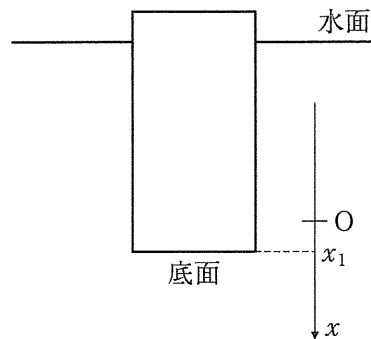


図 1-3

(ク)の解答群

(1) αH

(2) $\frac{1}{\alpha}H$

(3) $(1 - \alpha)H$

(4) $\alpha^2 H$

(ケ)の解答群

(1) $2\pi\sqrt{\frac{H}{\alpha g}}$

(2) $2\pi\sqrt{\frac{(1 - \alpha)H}{g}}$

(3) $2\pi\sqrt{\frac{\alpha H}{g}}$

(4) $2\pi\sqrt{\frac{H}{g}}$

- (c) 図1-4のように、円柱の側面を指でつかみ、底面の位置を $x = H$ [m] まで静かに沈めた。この状態から、指をはずし、はじめて円柱の底面の位置が $x = H - \boxed{\text{ク}}$ [m] になったときの円柱の速度 v [m/s] は、 $v = \boxed{\text{コ}}$ [m/s] となる。

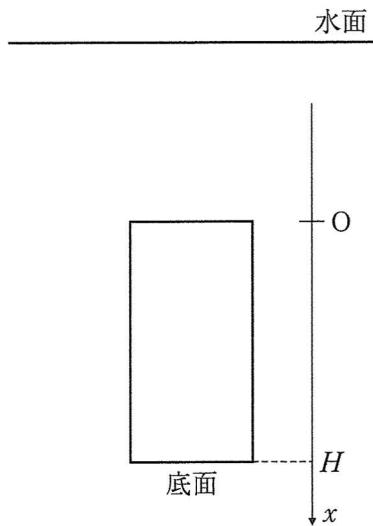


図1-4

(コ)の解答群

(1) $-\alpha\sqrt{2\alpha Hg}$

(2) $-\sqrt{2(1-\alpha)Hg}$

(3) $\sqrt{2(1-\alpha)Hg}$

(4) $\alpha\sqrt{2\alpha Hg}$

(3) 太陽のようにみずから光を放つ星を恒星^{こうせい}といい、恒星が万有引力により何億何兆と集まって回転しているのが銀河である。簡単のため、銀河では、図 1-5 のように、恒星が半径 a [m] のうすい円盤に一樣に分布しているとしよう。銀河の全体の質量を M [kg] とすれば、単位面積あたりの質量(面密度)は $\sigma = \frac{M}{\pi a^2}$ [kg/m²] である。個々の恒星は円盤の軸のまわりをそれぞれの半径で円運動しているものとし、この運動を調べてみよう。万有引力定数を G [N・m²/kg²] とし、恒星の大きさは無視できるものとする。

銀河中心から半径 r [m] にある質量 m [kg] の恒星は、これよりも内側に存在する恒星の質量が中心に集まったとみなせるような万有引力を受ける。半径 r で円運動している恒星にはたらく万有引力の大きさは (サ) [N] である。円運動ではこれが遠心力とつり合うので、円運動の角速度は (シ) [rad/s] となる。つまり、半径 r が大きくなると角速度は (ス) ことが予想される。一方、観測では恒星の円運動の半径 r と角速度の関係は図 1-6 のようになっているので、半径 r が a に近い円運動をおこなっている恒星の角速度を説明できない。

そこで、図 1-5 のように、銀河の円盤をとりまくように未知の天体 X が半径 a の球の内部に一樣に分布している場合を考えてみよう。天体 X の全体の質量を M' [kg] とすれば、密度は $\rho = \frac{M'}{\frac{4}{3}\pi a^3}$ [kg/m³] である。個々の恒星は、天体 X の万有引力だけで円盤の軸のまわりをそれぞれの半径で円運動しているものとする。半径 r の球の内部にある天体 X の質量が中心に集まったとみなせるような万有引力を受けるので、半径 r で円運動している質量 m の恒星にはたらく万有引力の大きさは (セ) [N] となる。この場合には、恒星の角速度は (ソ) [rad/s] となり、図 1-6 の半径 r が a に近い場所での角速度を説明できる。

実際の銀河は、恒星がうすい円盤の中心に質量が集中するように分布し、それに加えて万有引力のみを生じさせる未知の天体 X が球状に存在するような複合モデルで説明される。ダークマターは、天体 X を構成すると考えられている物質である。

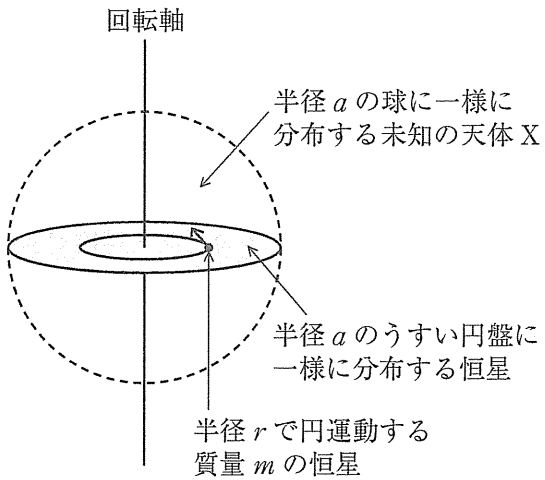


図 1-5

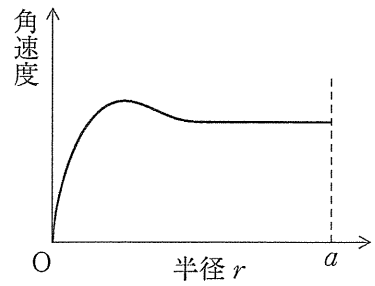


図 1-6

(サ)の解答群

(1) $\frac{GMm}{r^2}$ (2) $\frac{GMm}{ar}$ (3) $\frac{GMm}{a^2}$ (4) $\frac{GMmr}{a^3}$

(シ)の解答群

(1) $\sqrt{\frac{GMr}{a^4}}$ (2) $\sqrt{\frac{GM}{a^3}}$ (3) $\sqrt{\frac{GM}{a^2r}}$ (4) $\sqrt{\frac{GM}{ar^2}}$

(ス)の解答群

(1) 大きくなる (2) 小さくなる

(セ)の解答群

(1) $\frac{GM'm}{r^2}$ (2) $\frac{GM'm}{ar}$ (3) $\frac{GM'm}{a^2}$ (4) $\frac{GM'mr}{a^3}$

(ソ)の解答群

(1) $\sqrt{\frac{GM'r}{a^4}}$ (2) $\sqrt{\frac{GM'}{a^3}}$ (3) $\sqrt{\frac{GM'}{a^2r}}$ (4) $\sqrt{\frac{GM'}{ar^2}}$

2 (40 点)

(1) 図 2-1 のように、電池 E_1 , E_2 , コンデンサー C_1 , C_2 , およびスイッチ S_1 , S_2 で構成された回路がある。電池の電圧は共に $V[V]$, コンデンサーの電気容量は共に $C[F]$ で、最初の状態では、すべてのスイッチは開いており、すべてのコンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。点 G の電位を基準とした点 P の電位を $V_P[V]$ とする。

(a) S_1 , S_2 を同時に①側に接続し、じゅうぶん時間が経過したとすると、 C_1 に蓄えられた電荷は ア $[C]$, 静電エネルギーは イ $[J]$ である。

(b) 次に、 S_1 , S_2 を同時に②側に接続し、じゅうぶん時間が経過したとすると、 V_P は ウ $[V]$, C_1 に蓄えられた電荷は エ $[C]$, C_2 に蓄えられた電荷は オ $[C]$ である。

(c) その後、再度(a), (b)の操作を順におこなった。このとき、 V_P は カ $[V]$, C_1 に蓄えられた電荷は キ $[C]$, C_2 に蓄えられた電荷は ク $[C]$ である。

(d) さらに、(a), (b)の操作を何度も繰り返したところ、電荷が移動しなくなった。このとき、 V_P は ケ $[V]$ である。

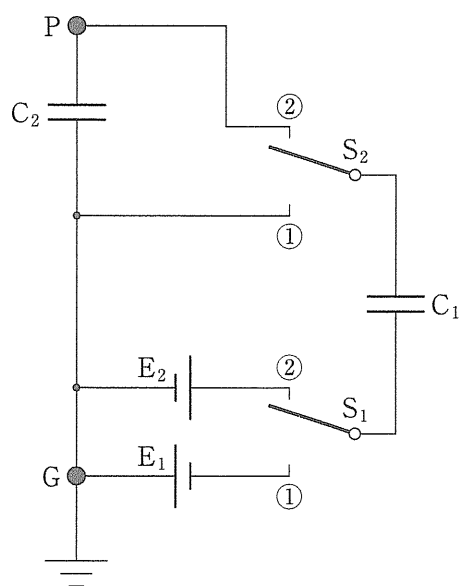


図 2-1

(ア), (エ), (オ), (キ), (ク)の解答群

- | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (0) 0 | (1) $\frac{1}{3}CV$ | (2) $\frac{1}{2}CV$ | (3) $\frac{2}{3}CV$ |
| (4) CV | (5) $\frac{3}{2}CV$ | (6) $2CV$ | (7) $3CV$ |

(イ)の解答群

- | | | | |
|-------|-----------------------|-----------------------|------------|
| (0) 0 | (1) $\frac{1}{2}CV^2$ | (2) $\frac{3}{2}CV^2$ | (3) CV^2 |
|-------|-----------------------|-----------------------|------------|

(ウ), (カ), (ケ)の解答群

- | | | | |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (0) 0 | (1) $\frac{1}{3}V$ | (2) $\frac{1}{2}V$ | (3) $\frac{2}{3}V$ |
| (4) V | (5) $\frac{3}{2}V$ | (6) $2V$ | (7) $3V$ |

- (2) 図 2-2 は、あるダイオードに順方向電圧をくわえたときの電流電圧特性である。図 2-3 に示すように、このダイオードを 2 つ用いて、内部抵抗が無視できる起電力 5 V の電池と、 $100\ \Omega$ の抵抗をつないだ。このとき回路を流れる電流は (コ) mA である。次に、図 2-4 に示すように、同じダイオードを 2 つ用いて、内部抵抗が無視できる起電力 6 V の電池と、2 つの $150\ \Omega$ の抵抗をつないだ。2 つのダイオードで消費される電力の合計は (サ) W である。

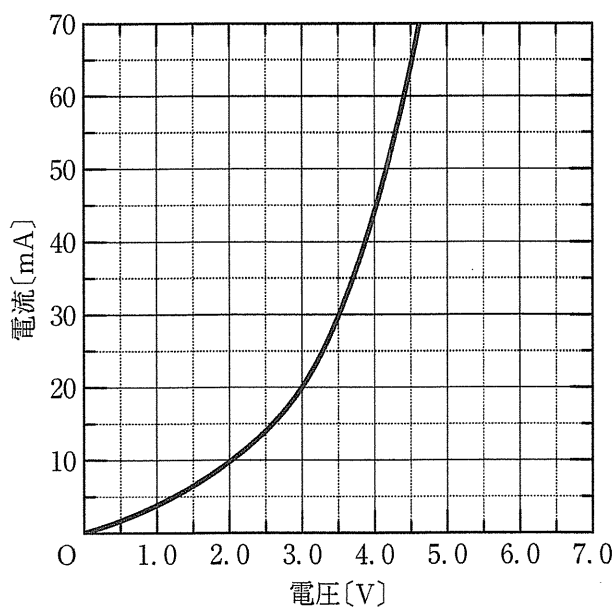


図 2-2

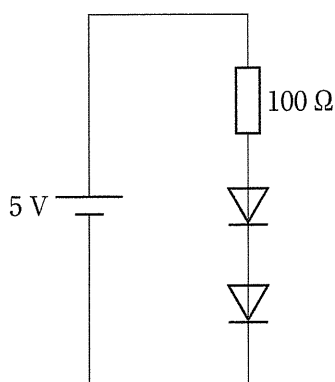


図 2-3

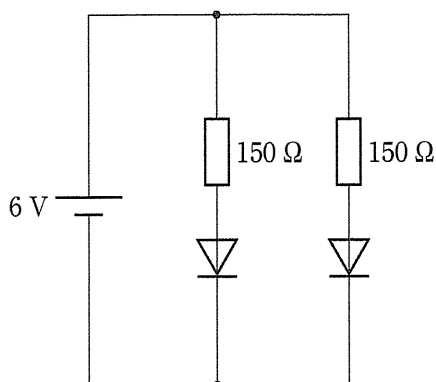


図 2-4

(コ)の解答群

(1) 10

(2) 20

(3) 30

(4) 45

(5) 65

(サ)の解答群

(1) 0.010

(2) 0.020

(3) 0.060

(4) 0.12

(5) 0.18

(6) 0.21

(7) 0.42

- (3) 図2-5のように、 $x \geq 0$ の領域に、 z 軸の負の向きの磁束密度の大きさ $B[\text{T}]$ の磁場(磁界)をかけた。また、1辺の長さ $L[\text{m}]$ 、 $\angle ABC = 60^\circ$ の変形しないひし形のコイル ABCD がある。辺 BC は常に x 軸上にある。コイルの1辺あたりの抵抗値は $r[\Omega]$ である。コイルに流れる電流を $I[\text{A}]$ とし、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ の反時計回りを正の向きとする。コイルに流れる電流により生ずる磁場の影響は無視できるものとする。

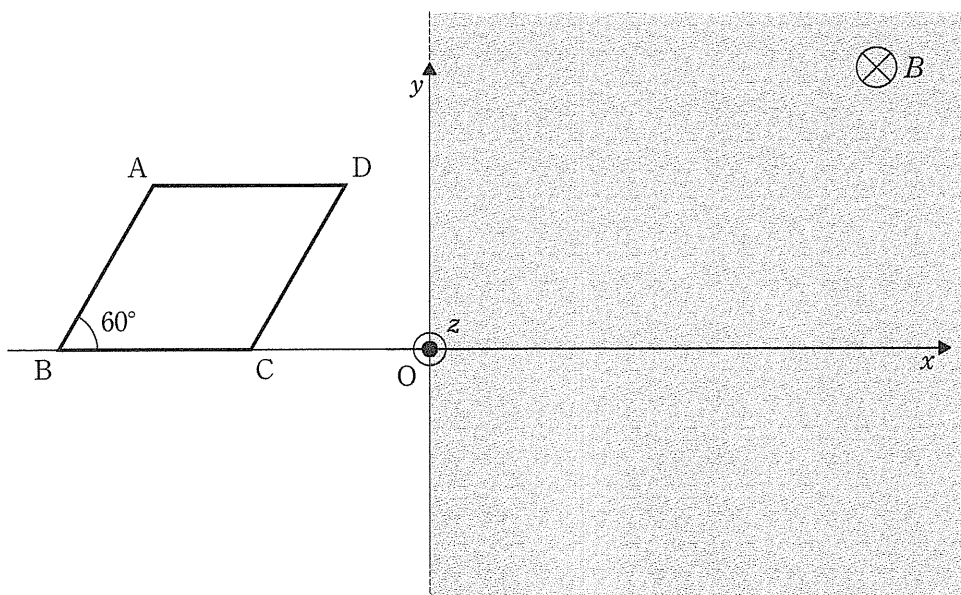
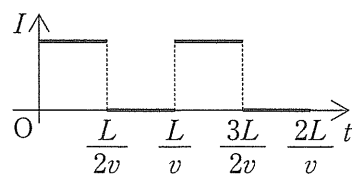


図2-5

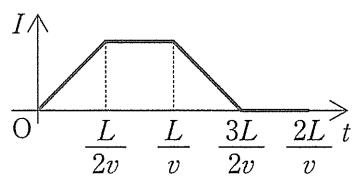
- (a) コイル ABCD が磁場の外から中に向かって移動する場合を考える。はじめにコイル全体が $x < 0$ の領域にあり、 x 軸の正の向きに速さ $v[\text{m/s}]$ で移動する。コイルは常に x - y 平面上にある。頂点 D の x 座標が 0 となった時刻を $t = 0$ とする。 $0 \leq t \leq \frac{2L}{v}[\text{s}]$ における電流 I を表すグラフは シ であり、その最大値は ズ $[\text{A}]$ である。ただし、 $t < 0$ のとき $I = 0$ とする。

(シ)の解答群

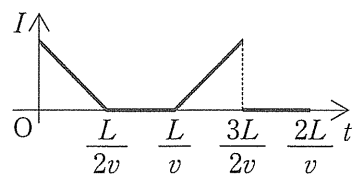
(1)



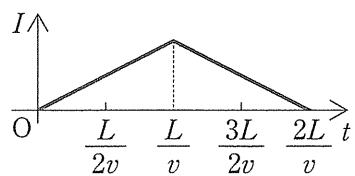
(2)



(3)



(4)



(ス)の解答群

(1) $\frac{\sqrt{3} BLv}{r}$

(2) $\frac{\sqrt{3} BLv}{2r}$

(3) $\frac{\sqrt{3} BLv}{4r}$

(4) $\frac{\sqrt{3} BLv}{8r}$

- (b) 図2-6のように、コイル ABCD が、辺 BC を中心軸として、一定の角速度 ω [rad/s] で回転している場合を考える。回転の向きは頂点 B から頂点 C の向きにコイルを見たときに時計回りである。頂点 B と頂点 C の座標は固定されていて、コイル全体は常に磁場の中にある。ある周回で、頂点 A の y 座標が極大となった時刻を $t = 0$ とする。 $0 \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega}$ [s] における電流 I を表すグラフは であり、その最大値は [A] である。また、コイルに生じる起電力の実効値は [V]、コイルで消費される平均の電力は [W] である。

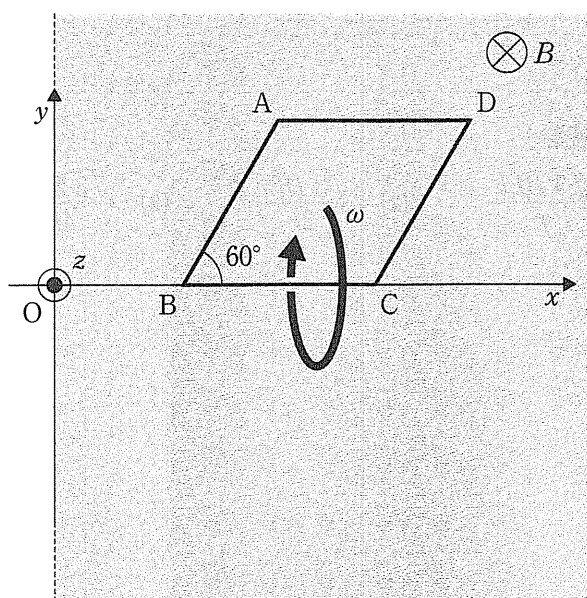
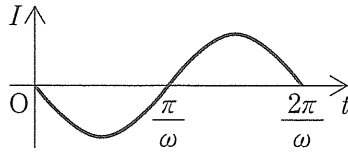


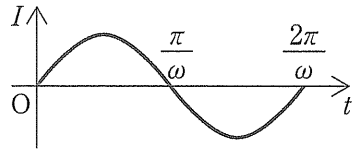
図2-6

(セ)の解答群

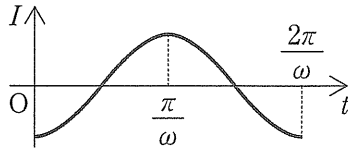
(1)



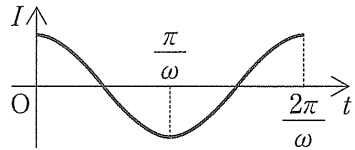
(2)



(3)



(4)



(ソ)の解答群

(1) $\frac{\sqrt{3} BL^2 \omega}{r}$

(2) $\frac{\sqrt{3} BL^2 \omega}{2r}$

(3) $\frac{\sqrt{3} BL^2 \omega}{4r}$

(4) $\frac{\sqrt{3} BL^2 \omega}{8r}$

(タ)の解答群

(1) $\sqrt{6} BL^2 \omega$

(2) $\frac{\sqrt{6} BL^2 \omega}{2}$

(3) $\frac{\sqrt{6} BL^2 \omega}{4}$

(4) $\frac{\sqrt{6} BL^2 \omega}{8}$

(チ)の解答群

(1) $\frac{3B^2 L^4 \omega^2}{4r}$

(2) $\frac{3B^2 L^4 \omega^2}{8r}$

(3) $\frac{3B^2 L^4 \omega^2}{16r}$

(4) $\frac{3B^2 L^4 \omega^2}{32r}$

3 (25 点)

(1) 図 3-1 に示すような半径 r [m] の球形の容器がある。この容器の中には、質量 m [kg] の理想気体の単原子分子が N 個閉じ込められている。また気体の温度は T [K] である。なお、気体定数を R [J/(K·mol)]、アボガドロ数を N_A とする。そして、分子どうしの衝突は無視することができ、重力の影響は受けないものとする。

1 個の分子が、速度 v [m/s]、入射角 θ で内壁と弾性衝突した際に、1 回の衝突で受ける力積の大きさは ア [N·s] である。また、この分子が時間 t [s] の間に進む距離は イ [m] であり、内壁と衝突する回数は ウ となる。このことから時間 t の間に内壁が 1 個の分子から受ける力積の大きさの総和は エ [N·s] である。

次に内壁が N 個の分子から受ける力の大きさを考える。個々の分子の速度は異なるので、 N 個の分子の速度の 2 乗の平均 $\overline{v^2}$ [m²/s²] を用いると、内壁が N 個の分子から受ける力の大きさは オ [N] となり、内壁が受ける圧力は カ [N/m²] となる。また理想気体の状態方程式を用いて、分子の平均の運動エネルギーを求めると キ [J] となる。これより $\sqrt{\overline{v^2}}$ は ク [m/s] となる。

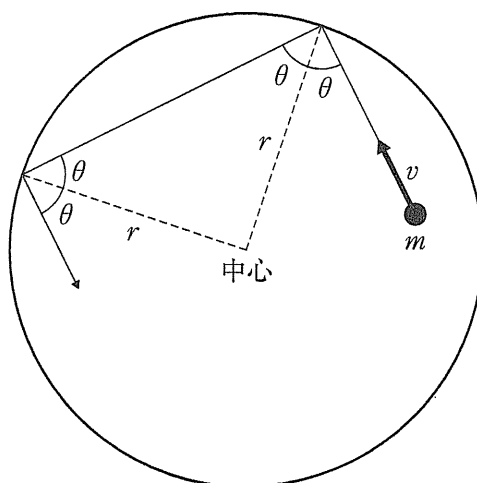


図 3-1

(ア)の解答群

- (1) $mv \cos \theta$ (2) $2mv \cos \theta$ (3) $mv \sin \theta$ (4) $2mv \sin \theta$

(イ)の解答群

- (1) r (2) $2vt$ (3) vt (4) $2r$

(ウ)の解答群

- (1) $\frac{vt}{2r \sin \theta}$ (2) $\frac{vt}{2r \cos \theta}$ (3) $\frac{vt}{r \cos \theta}$ (4) $\frac{vt}{2r \tan \theta}$

(エ)の解答群

- (1) $\frac{mv^2 t}{r}$ (2) $\frac{mv^2 t}{2r}$ (3) $\frac{mv^2 t \tan \theta}{r}$ (4) $\frac{mv^2 t}{r \tan \theta}$

(オ)の解答群

- (1) $\frac{Nm \overline{v^2}}{r}$ (2) $\frac{Nm \overline{v^2} t}{2r}$ (3) $\frac{Nm \overline{v^2} \tan \theta}{r}$ (4) $\frac{Nm \overline{v^2}}{r \tan \theta}$

(カ)の解答群

- (1) $\frac{Nm \overline{v^2}}{\pi^2 r^3}$ (2) $\frac{2Nm \overline{v^2}}{3\pi r^3}$ (3) $\frac{3Nm \overline{v^2}}{4\pi r^3}$ (4) $\frac{Nm \overline{v^2}}{4\pi r^3}$

(キ)の解答群

- (1) $\frac{rRT}{2N_A}$ (2) $\frac{2rRT}{N_A}$ (3) $\frac{3RT}{2N_A}$ (4) $\frac{4RT}{3N_A}$
(5) $\frac{5RT}{2N_A}$ (6) $\frac{7RT}{2N_A}$

(ク)の解答群

- (1) $\sqrt{\frac{rRT}{mN_A}}$ (2) $\sqrt{\frac{4rRT}{mN_A}}$ (3) $\sqrt{\frac{3RT}{mN_A}}$ (4) $\sqrt{\frac{8RT}{3mN_A}}$
(5) $\sqrt{\frac{5RT}{mN_A}}$ (6) $\sqrt{\frac{7RT}{mN_A}}$

(2) 図3-2に示すように、電圧 V [V] で加速された電子線を角度 θ で結晶に入射した。結晶の原子層の間隔は d [m] である。加速された電子は物質波としてふるまい、結晶内部で屈折しないものとする。

電子の質量を m [kg]、電荷を $-e$ [C]、プランク定数を h [J·s] としたとき、この電子線の波長 λ は ケ [m] となる。

角度 θ を0から少しずつ増加させたところ、 $\theta = \alpha$ において1回目のブラッグの条件を満たす強い反射を観測した。このとき、原子層の間隔 d は コ [m] である。その次に $\theta = \beta$ で2回目のブラッグの条件を満たす強い反射を観測した。 $\sin \beta$ を α を用いて表すと サ となる。さらに電子線の加速電圧を2倍に増加させて同様の測定をおこなったところ、 $\theta = \beta'$ で2回目のブラッグの条件を満たす強い反射を観測した。 $\sin \beta'$ を α を用いて表すと シ となる。

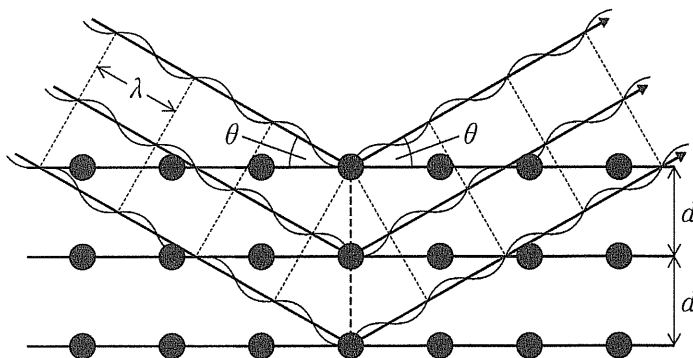


図3-2

(ケ)の解答群

(1) $\frac{\sqrt{2meV}}{h}$

(2) $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$

(3) $\frac{\sqrt{2eV}}{\sqrt{m}h}$

(4) $\frac{\sqrt{m}h}{\sqrt{2eV}}$

(コ)の解答群

(1) $\frac{h}{2\sqrt{2meV}\sin\alpha}$

(2) $\frac{h}{2\sqrt{2meV}\cos\alpha}$

(3) $\frac{\sqrt{meV}}{\sqrt{2}h\sin\alpha}$

(4) $\frac{\sqrt{meV}}{\sqrt{2}h\cos\alpha}$

(カ)の解答群

(1) $\sin 2\alpha$

(2) $\cos 2\alpha$

(3) $2\sin\alpha$

(4) $2\cos\alpha$

(シ)の解答群

(1) $\frac{\sin\alpha}{\sqrt{2}}$

(2) $\frac{\cos\alpha}{\sqrt{2}}$

(3) $\sqrt{2}\sin\alpha$

(4) $\sqrt{2}\cos\alpha$

