

J 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、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 (40 点)

(1) 図 1-1 のように, 半径 r [m] の半円形状のレールが水平台上に置かれている。

レールの下端を点 A, 上端を点 B, 中心を点 O として, 点 A, B, O は同一鉛直線上にある。点 O と同じ高さのレール上の点を点 C とする。質量 m [kg] の小球が水平台上を移動し, レールに侵入することを考える。小球は水平台上やレールの上をなめらかに移動し, かつ半円形状のレールを含む鉛直平面内のみを運動するものとする。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

(a) 点 A で小球の速度の大きさが v_a [m/s] のとき, 小球はレールに沿って上昇し, 点 B から飛び出し, 水平投射の放物運動をして水平台に落下した。このとき, 点 B での小球の速度の大きさは **(ア)** [m/s] であり, 点 A から小球の落下点までの距離は **(イ)** [m] である。また, 小球がこのような運動をするための条件は **(ウ)** である。

(b) 点 A で小球の速度の大きさが v_b [m/s] のとき, 小球は点 C に到達することなく, レールに沿って逆戻りした。小球がこのような運動をするための条件は **(エ)** である。

(c) 点 A で小球の速度の大きさが v_c [m/s] のとき, 小球は点 C を超えたあと, 点 B に到達することなく, 点 D でレールから離れ, 放物運動をした。点 D での小球の速度の大きさは **(オ)** [m/s] である。

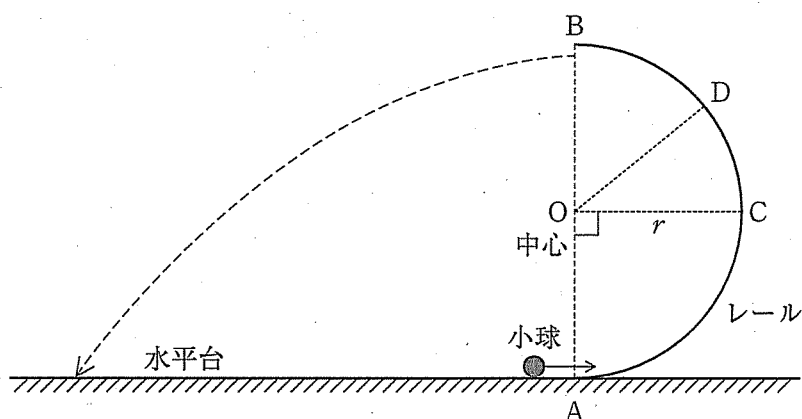


図 1-1

(ア)の解答群

(1) $\sqrt{v_a^2 - 4gr}$ (2) $\sqrt{v_a^2 - 2gr}$ (3) $\sqrt{v_a^2 + 2gr}$ (4) $\sqrt{v_a^2 + 4gr}$

(イ)の解答群

(1) $\sqrt{\frac{4rv_a^2}{g} - 16r^2}$ (2) $\sqrt{\frac{2rv_a^2}{g} - 8r^2}$
 (3) $\sqrt{\frac{rv_a^2}{g} - 4r^2}$ (4) $\sqrt{\frac{rv_a^2}{2g} - 2r^2}$

(ウ)の解答群

(1) $v_a^2 \geq gr$ (2) $v_a^2 \geq 3gr$ (3) $v_a^2 \geq 5gr$ (4) $v_a^2 \geq 7gr$

(エ)の解答群

(1) $v_b^2 < gr$ (2) $v_b^2 < 2gr$ (3) $v_b^2 < 3gr$ (4) $v_b^2 < 4gr$

(オ)の解答群

(1) $\sqrt{\frac{v_c^2 - 4gr}{3}}$ (2) $\sqrt{\frac{v_c^2 - 3gr}{3}}$
 (3) $\sqrt{\frac{v_c^2 - 2gr}{3}}$ (4) $\sqrt{\frac{v_c^2 - gr}{3}}$

(2) 図1-2のように、半径 r [m]の円環が鉛直軸まわりに角速度 ω [rad/s] ($\omega > 0$)で回転している。この円環に沿ってなめらかに動くことができる質量 m [kg]の小物体が円環に取り付けられている。重力加速度の大きさを g [m/s²]とする。図のように円環の中心を点Oとして鉛直下方の円環上の点をAとし、小物体の位置を点Bとする。OAとOBのなす角を θ [rad] ($\theta > 0$)とする。円環とともに回転する立場で考える。小物体にはたらく重力の円環に沿った接線方向の成分は、 θ が増える向きを正とすると (カ) [N]であり、円環の回転にともなう遠心力の円環に沿った接線方向の成分は (キ) [N]である。これらの接線方向の成分の和が0となるときの θ を θ_c とすると、 $\cos \theta_c =$ (ク) を満たす。これを満たす θ_c が存在するためには、円環の角速度 ω は (ケ) [rad/s]より大きい必要がある。

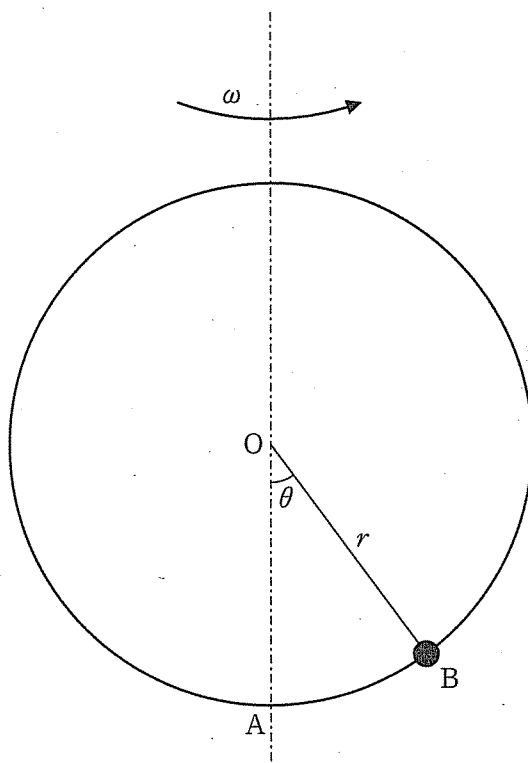


図1-2

(カ)の解答群

(1) $-mg \sin \theta$

(2) $-mg \cos \theta$

(3) $-mg \sin \theta \cos \theta$

(4) $-mg \sin^2 \theta$

(5) $-mg \cos^2 \theta$

(キ)の解答群

(1) $mr\omega^2 \sin \theta$

(2) $mr\omega^2 \cos \theta$

(3) $mr\omega^2 \sin \theta \cos \theta$

(4) $mr\omega^2 \sin^2 \theta$

(5) $mr\omega^2 \cos^2 \theta$

(ク)の解答群

(1) $\frac{g}{r\omega^2}$

(2) $\frac{r\omega^2}{g}$

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

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

(ケ)の解答群

(1) $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{r}}$

(2) $\sqrt{\frac{g}{2r}}$

(3) $\sqrt{\frac{g}{r}}$

(4) $\sqrt{\frac{2g}{r}}$

(3) なめらかで水平な面の上に、質量が M [kg] の小円盤 A と質量が未知の小円盤 B が置かれている。小円盤 A を速さ V [m/s] ですべらせて、静止している小円盤 B に衝突させた。衝突後、図 1-3 のように、小円盤 A は角度 θ_A [rad] (θ_A は 0 ではない) の方向に速さ V' [m/s] ですべりだし、小円盤 B もすべりだした。この衝突は弾性衝突であった。

以下では、小円盤 B の質量 m [kg]、衝突後の速さ v [m/s] とすべりだした角度 θ_B [rad] の 3 つの量を、小円盤 A についての衝突前後の既知の量 (M , V , V' , θ_A) で表してみよう。

衝突後の小円盤 B の運動エネルギーを K [J] とすれば $K = \boxed{\text{㉓}}$ [J] となる。また、運動量の保存より、衝突後の小円盤 B の運動量の大きさを p [kg·m/s] とすれば $p^2 = \boxed{\text{㉔}}$ [kg²·m²/s²] となる。さらに、運動エネルギー K と運動量の大きさ p の間には、 $\boxed{\text{㉕}}$ の関係がある。

以上より、小円盤 B の質量は $m = \boxed{\text{㉖}}$ [kg]、衝突後の小円盤 B の速さは $v = \boxed{\text{㉗}}$ [m/s] であり、すべりだした角度 θ_B は $\tan \theta_B = \boxed{\text{㉘}}$ を満たす。

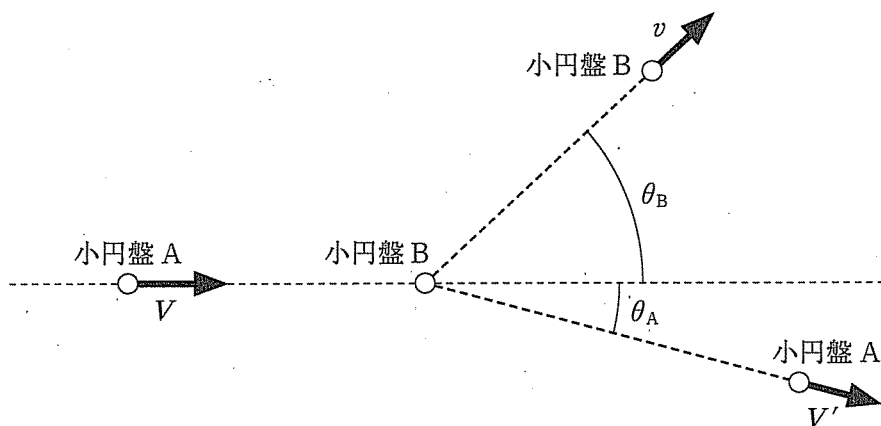


図 1-3

(下書き用紙)

(下書き用紙)

(コ)の解答群

- | | |
|---|---|
| (1) $\frac{1}{2}M(V^2 + V'^2)$ | (2) $\frac{1}{2}M(V + V')^2$ |
| (3) $\frac{1}{2}M(V^2 + V'^2) - MVV'\cos\theta_A$ | (4) $\frac{1}{2}M(V^2 - V'^2)$ |
| (5) $\frac{1}{2}M(V - V')^2$ | (6) $\frac{1}{2}M(V^2 - V'^2) + MVV'\cos\theta_A$ |

(サ)の解答群

- | | |
|--|--|
| (1) $M^2(V^2 + V'^2)$ | (2) $M^2(V + V')^2$ |
| (3) $M^2(V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A)$ | (4) $M^2(V^2 - V'^2)$ |
| (5) $M^2(V - V')^2$ | (6) $M^2(V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A)$ |

(シ)の解答群

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1) $K = \frac{1}{2m}p^2$ | (2) $K = \frac{1}{m}p^2$ | (3) $K = \frac{2}{m}p^2$ |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|

(ス)の解答群

- | | |
|---|---|
| (1) $M\cos^2\theta_A$ | (2) $M\frac{V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A}{V^2 + V'^2}$ |
| (3) $M\frac{V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A}{V^2 - V'^2}$ | (4) $M\sin^2\theta_A$ |
| (5) $M\frac{V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A}{V^2 + V'^2}$ | (6) $M\frac{V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A}{V^2 - V'^2}$ |

(セ)の解答群

- | | |
|---|---|
| (1) $\sqrt{V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A}$ | (2) $\frac{V^2 + V'^2}{\sqrt{V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A}}$ |
| (3) $\frac{V^2 - V'^2}{\sqrt{V^2 + V'^2 - 2VV'\cos\theta_A}}$ | (4) $\sqrt{V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A}$ |
| (5) $\frac{V^2 + V'^2}{\sqrt{V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A}}$ | (6) $\frac{V^2 - V'^2}{\sqrt{V^2 - V'^2 + 2VV'\cos\theta_A}}$ |

(ソ)の解答群

- | | |
|---|---|
| (1) $\frac{V'\sin\theta_A}{V - V'\sin\theta_A}$ | (2) $\frac{V'\sin\theta_A}{V - V'\cos\theta_A}$ |
| (3) $\frac{V'\cos\theta_A}{V - V'\sin\theta_A}$ | (4) $\frac{V'\cos\theta_A}{V - V'\cos\theta_A}$ |

2 (45 点)

(1) 図 2-1 に示すような回路を考える。抵抗 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 の抵抗値は順に, $5.0\ \Omega$, $6.0\ \Omega$, $12\ \Omega$, $9.0\ \Omega$, $1.0\ \Omega$ である。これらとは別に, 抵抗 R_6 , R_7 がある。電流計 A_1 , A_2 および電池 E の内部抵抗は無視できる。この回路で, 突然 1 つの抵抗が断線したため電流値が変化した。

(a) 断線後, 電流計 A_1 , A_2 はともに $2.0\ \text{A}$ を示した。断線したのは, 抵抗 である。電池 E の起電力は V である。このとき, 抵抗 R_1 から R_5 の中で, 消費電力が最大であるのは抵抗 で, その消費電力は W である。

(b) 抵抗 を抵抗 R_6 に取り替えた。このとき, 電流計 A_1 , A_2 に流れる電流の比は, $1 : 2$ であった。抵抗 R_6 は, Ω である。

(c) 抵抗 を抵抗 R_7 に取り替えた。このとき, 抵抗 R_7 の消費電力は $20\ \text{W}$ であった。抵抗 R_7 は, Ω である。

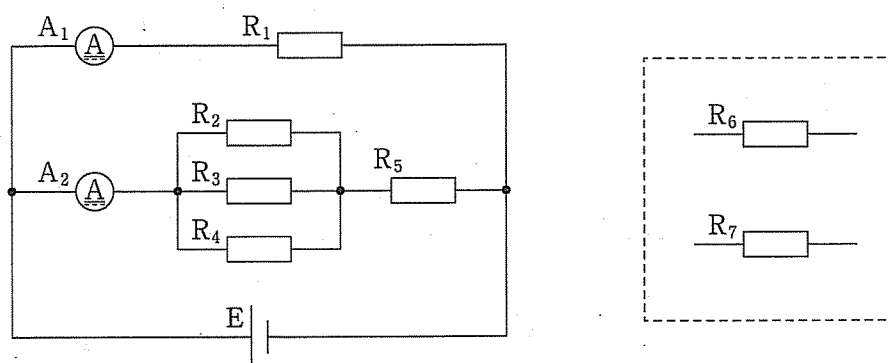


図 2-1

(ア), (ウ)の解答群

- (1) R_1 (2) R_2 (3) R_3 (4) R_4 (5) R_5

(イ)の解答群

- (1) 5.0 (2) 10 (3) 20 (4) 50 (5) 90

(エ)の解答群

- (1) 5.0 (2) 10 (3) 16 (4) 20 (5) 40

(オ)の解答群

- (1) 1.2 (2) 1.8 (3) 2.4 (4) 7.2 (5) 9.6

(カ)の解答群

- (1) 0.20 (2) 0.40 (3) 0.80 (4) 1.2 (5) 2.4

(2) 図2-2のように、面積 $S[\text{m}^2]$ の金属板 A, B, C, D, E, F が平行に並べられ、真空中に置かれている。金属板 B, C の厚さは $t[\text{m}]$ であり、A と B, B と C, C と D, E と F の間隔は順に $d, 2d, 2d, d[\text{m}]$ である。金属板には電圧 $V[\text{V}]$ の電池とスイッチ S_1, S_2, S_3 が接続されている。スイッチ S_1, S_2, S_3 は開いており、どの金属板にも電荷はたくわえられていない。最初に、スイッチ S_1 のみを閉じ、じゅうぶん時間が経過した。これを初期状態とする。なお、真空の誘電率を $\epsilon_0[\text{F/m}]$ とし、金属板の端における電場(電界)の乱れは無視できるものとする。

(a) 金属板 B と C の間の電場の強さは、(キ) $[\text{V/m}]$ であり、金属板 B と D の間の電位差は、(ク) $[\text{V}]$ である。また、金属板 A と D の間の電気容量は (ケ) $[\text{F}]$ である。

次に、スイッチ S_2 を閉じてからスイッチ S_1 を開いた。金属板 B と D の間の電位差は、(コ) $[\text{V}]$ である。

(b) 初期状態でスイッチ S_1 を開いてから、スイッチ S_2 を閉じた。金属板 B と D の間の電位差は、(サ) $[\text{V}]$ である。

次に、スイッチ S_3 を閉じた。金属板 E と F を電極とするコンデンサーの電気量は (シ) $[\text{C}]$ であり、このコンデンサーにたくわえられる静電エネルギーは (ス) $[\text{J}]$ である。

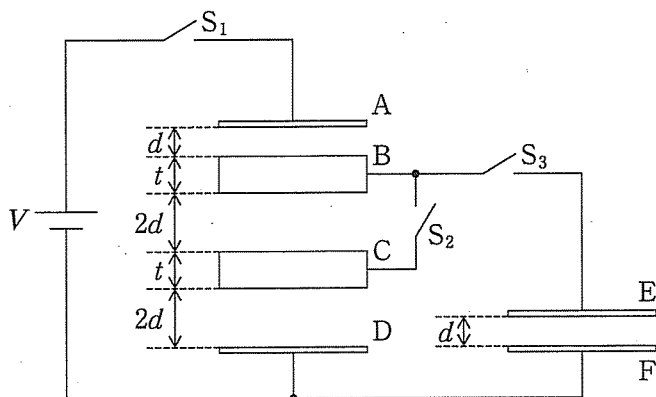


図2-2

(下書き用紙)

(下書き用紙)

(キ)の解答群

$$(1) \frac{V}{2d} \quad (2) \frac{V}{4d} \quad (3) \frac{V}{5d} \quad (4) \frac{V}{4t} \quad (5) \frac{V}{5d+2t}$$

(ク), (コ), (サ)の解答群

$$\begin{array}{lll} (1) \frac{V}{5} & (2) \frac{2V}{5} & (3) \frac{3V}{5} \\ (4) \frac{4V}{5} & (5) \frac{V}{3} & (6) \frac{2V}{3} \\ (7) \frac{4dV}{5d+2t} & (8) \frac{(4d+2t)V}{5d+2t} & (9) \frac{(4d+t)V}{5d+2t} \end{array}$$

(ケ)の解答群

$$(1) \frac{\varepsilon_0 S}{5d} \quad (2) \frac{\varepsilon_0 S}{2t} \quad (3) \frac{\varepsilon_0 S}{5d+2t} \quad (4) \frac{\varepsilon_0 t}{2S} \quad (5) \frac{5\varepsilon_0 d}{S}$$

(シ)の解答群

$$(1) \frac{\varepsilon_0 SV}{9d} \quad (2) \frac{2\varepsilon_0 SV}{9d} \quad (3) \frac{2\varepsilon_0 SV}{15d} \quad (4) \frac{4\varepsilon_0 SV}{15d} \quad (5) \frac{4\varepsilon_0 SV}{35d}$$

(ス)の解答群

$$(1) \frac{\varepsilon_0 SV^2}{75d} \quad (2) \frac{2\varepsilon_0 SV^2}{75d} \quad (3) \frac{2\varepsilon_0 SV^2}{125d} \quad (4) \frac{\varepsilon_0 SV^2}{225d} \quad (5) \frac{2\varepsilon_0 SV^2}{225d}$$

(3) 図2-3のように、紙面を水平面として、鉛直方向に太さが無視できる直線状の導線が置かれ、また、この導線を中心軸として、なめらかに回転できる非磁性体の円板が水平に置かれている。図のように紙面内の上下左右の向きを定義する。向かって左側がN極、右側がS極となるように、棒磁石を円板上に固定した。この棒磁石は、中心軸からの距離 $R[\text{m}]$ の位置に置かれた磁気量 $m[\text{Wb}]$ ($m > 0$) の磁極 A と、中心軸からの距離 $r[\text{m}]$ の位置に置かれた磁気量 $-m[\text{Wb}]$ の磁極 B の2個の磁極で表すことができる。磁極 A、磁極 B、中心軸は左右方向の一直線上にある。 $R > r$ であり、地磁気の影響は無視できる。導線には電流が流れておらず、円板はこの状態で回転しないように固定されている。これをこの装置の初期状態とする。

(a) この装置の導線に、紙面裏から表の向きに電流 $I[\text{A}]$ を流した。このとき、電流によってつくられる磁場(磁界)により磁極 A にはたらく力の大きさは、
 (セ) $[\text{N}]$ であり、その向きは (ソ) である。磁極 A にはたらく力による中心軸のまわりの力のモーメントの大きさは (タ) $[\text{N}\cdot\text{m}]$ である。次に、この状態で円板が回転できるようにした。このとき、この円板は (チ) 。

(b) 初期状態のこの装置に、図2-4のように、磁極 A と B を通る直線に垂直で一様な磁場(磁界)をかける。磁場(磁界)の大きさは $H[\text{N/Wb}]$ でその向きは紙面内の下向きである。このとき、磁極 A にはたらく力による中心軸のまわりの力のモーメントの大きさは (ツ) $[\text{N}\cdot\text{m}]$ である。次に、この状態で円板が回転できるようにした。このとき、この円板は (テ) 。

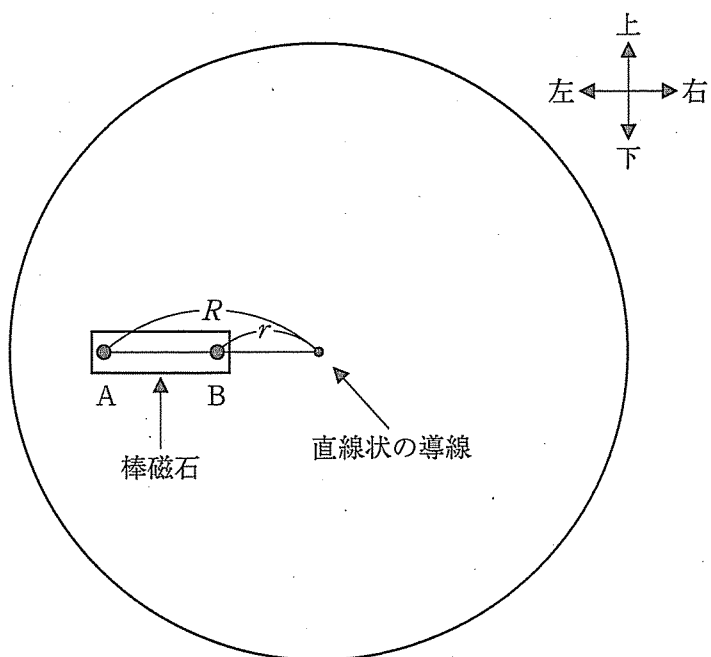


図 2-3

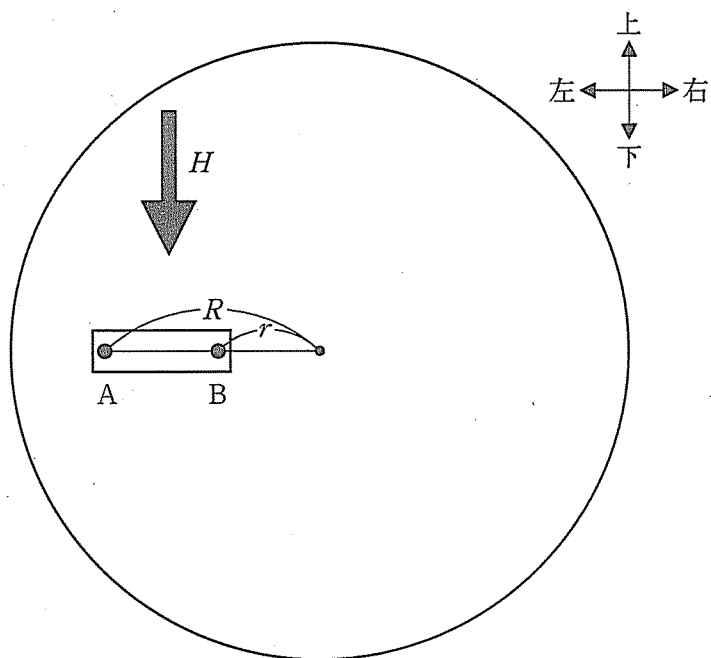


図 2-4

(下書き用紙)

(セ)の解答群

(1) $\frac{mI}{2\pi(R-r)}$ (2) $\frac{mI(R-r)}{2\pi Rr}$ (3) $\frac{mI}{4\pi R}$ (4) $\frac{mI}{2\pi R}$

(ソ)の解答群

- (1) 紙面内の上向き (2) 紙面内の下向き
(3) 紙面内の右向き (4) 紙面内の左向き
(5) 紙面裏から表の向き (6) 紙面表から裏の向き

(タ)の解答群

(1) $\frac{mI}{2\pi}$ (2) $\frac{mIr}{2\pi R}$ (3) $\frac{mIR}{2\pi r}$ (4) $\frac{mI(R-r)}{2\pi R}$

(チ), (テ)の解答群

- (0) 静止したままである
(1) 時計回りに回転しはじめる
(2) 反時計回りに回転しはじめる

(ツ)の解答群

(1) $\frac{mHR^2}{2\pi(R+r)}$ (2) $\frac{mHR^2}{2\pi(R-r)}$ (3) mHR (4) $mH(R+r)$

3

(15 点)

- (1) 1 mol の理想気体の状態変化について考える。状態 A, B, C, D の圧力と体積をそれぞれ, $(P_0[\text{Pa}], V_0[\text{m}^3])$, $(2P_0[\text{Pa}], V_0[\text{m}^3])$, $(2P_0[\text{Pa}], 2V_0[\text{m}^3])$, $(P_0[\text{Pa}], 2V_0[\text{m}^3])$ とする。気体の状態は, $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と変化し, $A \rightarrow B$, $C \rightarrow D$ は定積変化で, $B \rightarrow C$, $D \rightarrow A$ は定圧変化である。また, 気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$, 気体の定積モル比熱を $C_v[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$ とする。

状態 A での気体の温度を $T_0[\text{K}]$ とする。状態 A から状態 B での変化で気体が吸収した熱量 $Q_{AB}[\text{J}]$ は, $Q_{AB} = \boxed{\text{ア}}$ $[\text{J}]$ となり, 状態 B から状態 C での変化で気体が吸収した熱量 $Q_{BC}[\text{J}]$ は, $Q_{BC} = \boxed{\text{イ}}$ $[\text{J}]$ となる。また, 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ で気体が外部におこなう仕事と同じ仕事を 1 サイクルで外部におこなう状態変化を表した図は $\boxed{\text{ウ}}$ である。

(ア)の解答群

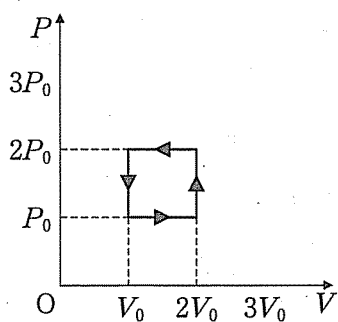
- (1) $-2C_vT_0$ (2) $-C_vT_0$ (3) C_vT_0 (4) $2C_vT_0$

(イ)の解答群

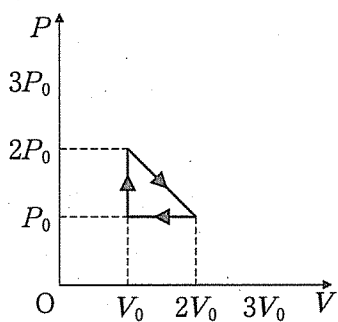
- (1) $(C_v - R)T_0$ (2) $(C_v + R)T_0$
(3) $(2C_v + R)T_0$ (4) $(2C_v + 2R)T_0$

(ウ)の解答群(図中の矢印は状態変化の向きを示している。)

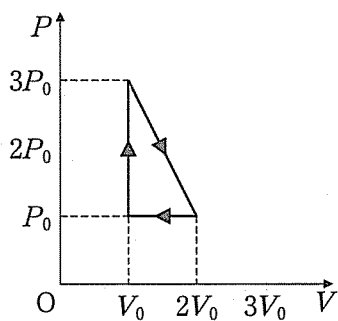
(1)



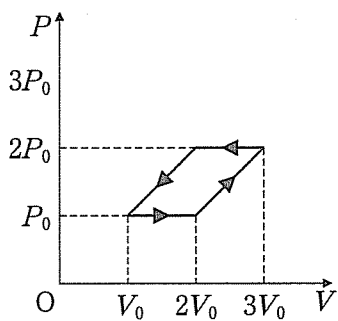
(2)



(3)



(4)



(2) 図3のように、水平面上に互いに直交する x 軸, y 軸をとり、原点 O から L [m] はなれた x 軸上の点 $S_1(L, 0)$ と点 $S_2(-L, 0)$ に波源を固定する。ただし、 $L > 0$ とする。点 S_1 , 点 S_2 から出る波は円形波で振幅と周波数が等しく、同位相とし、波長を λ [m] とする。

x - y 平面上の点 P において、点 P と点 S_1 との距離を l_1 [m], 点 P と点 S_2 との距離を l_2 [m] とするとき、波が強めあう点の条件は、 $|l_1 - l_2| =$ (工) [m] であり、波が弱めあう点の条件は、 $|l_1 - l_2| =$ (オ) [m] である。また、波が強め合う場所を表した図は (カ) である。

$L = 1.0$ m, $\lambda = 0.20$ m のとき、 x 軸上で点 S_1 と点 S_2 の間 ($-L < x < L$) にできる波が強めあう点の数は、(キ) 個である。

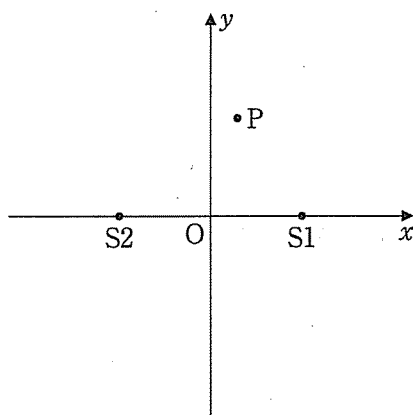


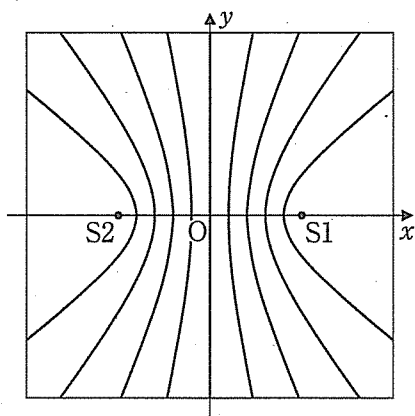
図3

(工), (オ)の解答群(この解答群において、 $n = 0, 1, 2, \dots$ である。)

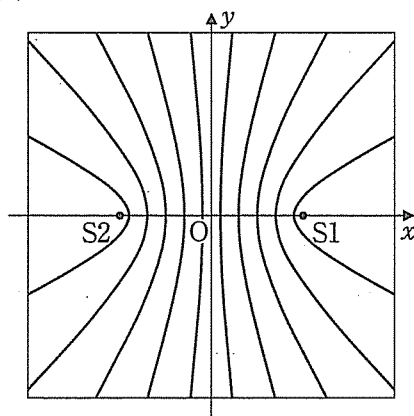
- (1) $n\lambda$ (2) $\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ (3) $n\frac{\lambda}{2}$ (4) $\left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$

(カ)の解答群

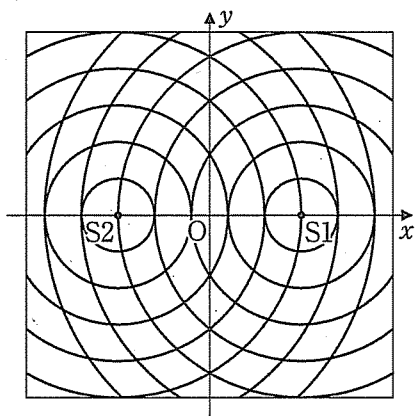
(1)



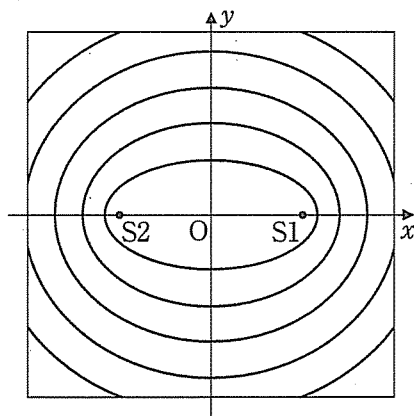
(2)



(3)



(4)



(キ)の解答群

(1) 9

(2) 13

(3) 17

(4) 19

