

A b 物 理 問 題

注 意

1. 試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙はすべてHBの黒鉛筆またはHBの黒のシャープペンシルで記入することになっています。HBの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
3. この問題冊子は16ページまでとなっています。試験開始後、ただちにページ数を確認してください。なお、問題番号はI～Vとなっています。
4. 解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので、出席票の受験番号が、あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し、出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお、出席票は切り離さないでください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し、その他の部分には何も書いてはいけません。
6. 解答用紙を折り曲げたり、破ったり、傷つけたりしないように注意してください。
7. 計算には、この問題冊子の余白部分を使ってください。
8. この問題冊子は持ち帰ってください。

マーク・センス法についての注意

マーク・センス法とは、鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。

1. マークは、下記の記入例のようにHBの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2. 1つのマーク欄には1つしかマークしてはいけません。
3. 訂正する場合は消しゴムでよく消し、消しきずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例：

A	1	2	3	4	5
	○	○	●	○	○

 (3と解答する場合)

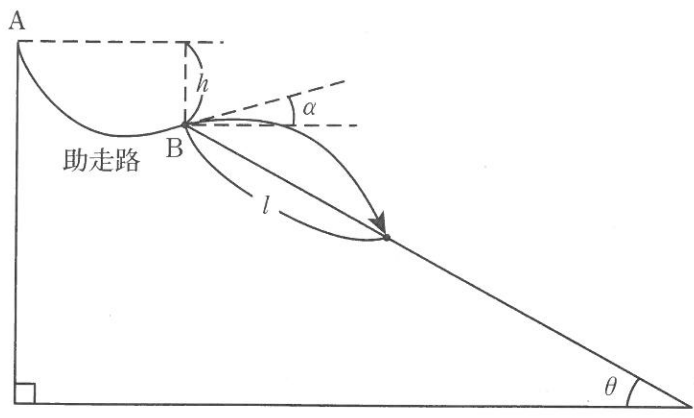
I. 次の文の空所 ～ それぞれにあてはまる数式を、解答用紙の所定欄にする。ただし、重力加速度を g とする。

図のような滑らかなスキーのジャンプ台がある。スタート地点Aから初速度0で滑り始めた選手が助走路を滑り、点Bで飛び出し、充分長い着地斜面上に着地する。点Aと点Bの鉛直高低差を h 、着地斜面の傾斜角を θ 、助走路面の、点Bでの水平方向からの上向きの角度を α とする。ここで、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ 、 $-\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2}$ および $-\alpha < \theta$ である。また、空気抵抗は無視し、選手は質量 m の質点として扱ってよいものとする。

まず、 $\alpha = 0$ の場合を考える。選手は点Bから水平方向に飛び出す。このとき、選手が点Bを飛び出して着地斜面上に着地するまでの飛行時間を、 h 、 g 、 $\tan \theta$ を用いて表すと、 である。また着地斜面に沿った飛行距離 l を、 h 、 $\sin \theta$ を用いて表すと、 である。

次に、 $\alpha = 0$ とは限らない場合を考える。選手は点Bから助走路面に沿って水平方向から上向きに角度 α で飛び出す。飛行距離 l を、 $\cos \alpha$ 、 $\sin(\alpha + \theta)$ 、 $\cos \theta$ 、 h を用いて表すと、 である。さらに、 θ を一定としたまま α を変化させると、 α がある値をとるときに飛行距離 l が最大になる。この飛行距離 l の最大値を、 h 、 $\sin \theta$ を用いて表すと、 である。

今度は $\alpha = 0$ であり、選手が点Bの直前で助走路面に対して垂直に大きさ I の力積を瞬間的に受け取る場合を考える。この場合の飛行距離 l' は、 $\alpha = 0$ で力積を受け取らなかった場合の飛行距離 l に比べて長くなる。その飛行距離の増分 $l' - l$ を、 h 、 g 、 I 、 m 、 $\cos \theta$ を用いて表すと、 である。



図

Ⅱ. 次の文の空所 ~ にあてはまる数式または数値としてもっとも適当なものを、それぞれ対応する a ~ f から 1 つずつ選び、その記号を解答用紙の所定欄にマークせよ。

図1のように磁場中を陽子（質量 m ，電荷 e ）が半径 R の円運動をしている。磁場は円運動の平面に対して垂直上向きにかかっている。点 O を中心とした半径 $\frac{R}{2}$ の円内では磁束密度は一様に αB であり、その外側は一様に B であるとする。ここで $\alpha > 0$ である。このとき、円運動の軌跡で囲まれる領域を上向きに貫く磁束の大きさは である。

はじめ B が $B = B_1$ の一定値をとり、陽子は平面内を点 O を中心とした半径 R の等速円運動を行っていた。このとき、陽子の速さは $v_1 =$ である。

次に、時刻 $t = t_1$ から B を時間とともに増加させたところ、 $t = t_2$ で $B = B_2$ に達した。この間、 B の増加率は一定であったとする。 α がある特定の値に設定されていると、陽子は磁場の変化による誘導電場により加速されながら、一定の半径 R の円運動を行った。このとき、ファラデーの電磁誘導の法則により、陽子の円軌道内の磁束の増加中、陽子の位置に大きさ $E =$ の誘導電場が陽子の速度ベクトルと平行に生じている。

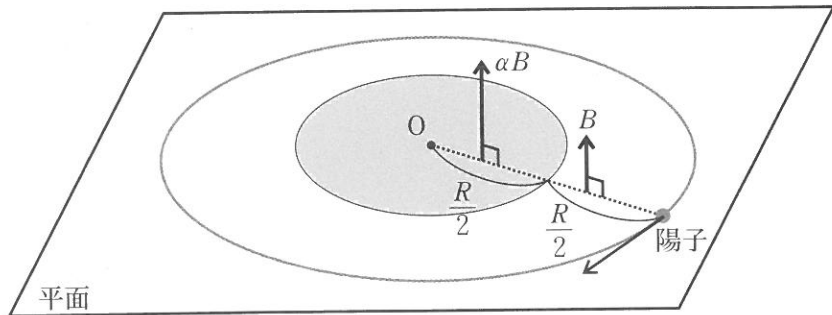


図1

ここで、円運動中の陽子の加速度を考える。図2のように陽子が微小な時間 Δt の間に点Pから点Qまで進んだとする。OPとOQのなす微小角を $\Delta\theta$ とする。点Pでの速さを v 、点Qでの速さを $v + \Delta v$ とする。点P、点Qにおける速度ベクトルの単位ベクトルを \vec{e}_P 、 \vec{e}_Q とする。 $\Delta\theta$ は十分に小さいので $\vec{e}_Q - \vec{e}_P$ は中心方向を向いているとしてよい。図2のように速度ベクトルの変化を接線方向と円の中心方向に分けることができる。 Δt を0に近づけると、接線方向の加速度は $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ であり、円の中心方向の加速度は $v \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \boxed{\text{ニ}}$ である。

磁束の増加中、陽子には接線方向に一定の大きさ eE の力が作用し、陽子は速さを増していく。接線方向の運動方程式を考えると、時刻 $t = t_2$ での速さ v_2 は、 m 、 v_1 、 eE 、 t_1 、 t_2 を用いて、 $v_2 = \boxed{\text{ホ}}$ と表すことができる。一方、 v_2 は円の中心方向の運動方程式を満たす必要もある。このことから、 $\alpha = \boxed{\text{ヘ}}$ であることがわかる。

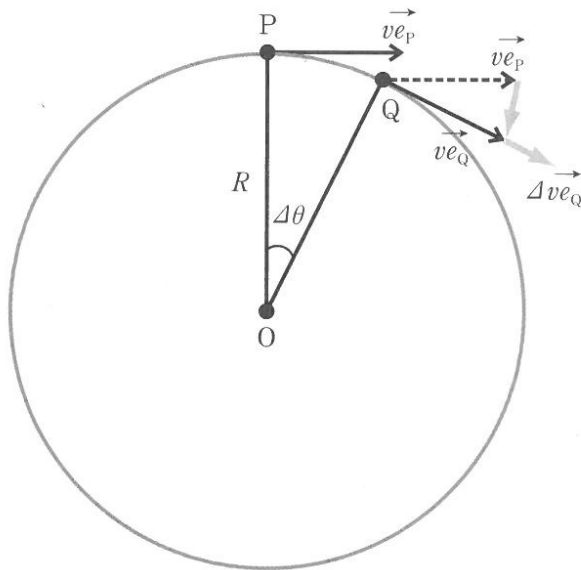


図2

イ	a. $\frac{\alpha + 1}{4} \pi R B$	b. $\frac{\alpha + 2}{4} \pi R B$	c. $\frac{\alpha + 3}{4} \pi R B$
	d. $\frac{\alpha + 1}{4} \pi R^2 B$	e. $\frac{\alpha + 2}{4} \pi R^2 B$	f. $\frac{\alpha + 3}{4} \pi R^2 B$

ロ	a. $\frac{e\alpha B_1 R}{m}$	b. $\frac{eB_1 R}{m}$	c. $\frac{e(\alpha + 1) B_1 R}{m}$
	d. $\frac{e\alpha B_1 R}{2m}$	e. $\frac{eB_1 R}{2m}$	f. $\frac{e(\alpha + 1) B_1 R}{2m}$

ハ	a. $\frac{\alpha + 3}{2} \left(\frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1} \right) R$	b. $\frac{\alpha + 3}{8} \left(\frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1} \right) R$	c. $\frac{\alpha + 3}{2} \left(\frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1} \right) R^2$
	d. $\frac{\alpha + 3}{8} \left(\frac{B_1 + B_2}{t_2 - t_1} \right) R$	e. $\frac{\alpha + 3}{2} \left(\frac{B_1 + B_2}{t_2 - t_1} \right) R^2$	f. $\frac{\alpha + 3}{8} \left(\frac{B_1 + B_2}{t_2 - t_1} \right) R^2$

ニ	a. $\frac{R}{v^2}$	b. $\frac{R}{v^3}$	c. $\frac{R^2}{v}$
	d. $\frac{v^2}{R}$	e. $\frac{v^3}{R}$	f. $\frac{v}{R^2}$

ホ	a. $v_1 + \frac{m(t_2 - t_1)}{eE}$	b. $v_1 - \frac{m(t_2 - t_1)}{eE}$	c. $\frac{m(t_2 - t_1)}{eE} - v_1$
	d. $v_1 + \frac{eE(t_2 - t_1)}{m}$	e. $v_1 - \frac{eE(t_2 - t_1)}{m}$	f. $\frac{eE(t_2 - t_1)}{m} - v_1$

ヘ	a. 1	b. 2	c. 3
	d. 4	e. 5	f. 6

Ⅲ. 次の文A・Bを読み, 下記の設問1・2に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。
必要であれば, $\sqrt{2} \doteq 1.41$, $\sqrt{9.81} \doteq 3.13$ を用いよ。

A. 図1のように, 点Aで一端を固定した弦をなめらかに回る軽い滑車に通し, 弦が滑車に最初に接する点を点Bとする。弦の他端には質量 14.0 kg のおもりを付けて容器の底にふれないように静かに水の中に沈めた。このとき, 弦の張力は Nとなる。
なお, 弦の質量と体積はおもりの質量と体積に比べて十分に小さいとする。

ここで, 弦の線密度 (弦の長さ 1 m 当たりの質量) を $\sigma = 1.00 \times 10^{-2}$ kg/m, 重力加速度の大きさを $g = 9.81$ m/s², 水の密度を 1.00 g/cm³, おもりの密度を 8.00 g/cm³ とする。

次に, 点Aと点Bの間の弦の長さを $L = 5.00 \times 10^{-1}$ m としてAB間の弦をはじくと, 弦は基本振動数 Hz で振動する。このとき, 点Aと点Bは振動に対する固定端とする。

なお, 弦の張力を T とすると, 弦を伝わる横波の速さは $v = \sqrt{\frac{T}{\sigma}}$ で与えられる。

1. 文中の空所 ・ それぞれにあてはまる数値を, 有効数字2桁でしるせ。

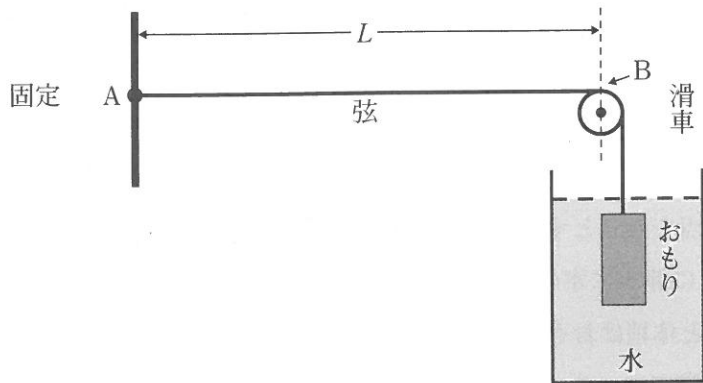


図 1

B. 2隻の船 S_0 と S が洋上に停止しているとき、 S_0 が発した警笛の振動数を S で測定すると、 $f_0 = 3.00 \times 10^2 \text{ Hz}$ であった。その後2隻の船は動きはじめ、その航路は、次の(1)~(3)のようであった。ここで、音速を $V = 3.40 \times 10^2 \text{ m/s}$ とし、風の影響はないものとする。

(1) 図2のように、時刻 $t = t_1$ において S_0 は停止しており、 S は点 O に向かって航行していた。このとき、 S から見て S_0 は S の進行方向に対して右前方 45.0 度の方向に見えた。

(2) 図3のように、時刻 $t = t_2$ ($t_2 > t_1$)において S が点 O を通過するとき、 S_0 は点 O の手前 $1.00 \times 10^3 \text{ m}$ の位置を点 O に向かって航行していた。

(3) 図4のように、時刻 $t = t_3$ ($t_3 > t_2$)において S_0 が点 O を通過したとき、 S は点 O から l 離れた位置にあり点 O から遠ざかっていた。

なお、 S は時刻 $t = t_1$ およびそれ以降の時刻で x 軸上を $u = 10.0 \text{ m/s}$ の速さで航行しており、 S_0 は時刻 $t = t_2$ およびそれ以降の時刻で y 軸上を $u_0 = 5.00 \text{ m/s}$ の速さで航行しているものとする。

時刻 $t = t_1$ において S は S と S_0 を結ぶ方向には m/s の速さで近づいている。このとき S 上の観測者が S_0 からの警笛音を観測した。 S 上の観測者が観測した振動数を f_1 とすると、 $f_1 - f_0 =$ Hz となる。

時刻 t_3 において S_0 が発した警笛音は s 後に点 O から $l +$ m のところまで S に到達する。このとき S 上の観測者が観測する S_0 からの警笛音の振動数を f_3 とすると、 $f_3 - f_0 =$ Hz である。

2. 文中の空所 ~ それぞれにあてはまる数値を、有効数字1桁でしるせ。

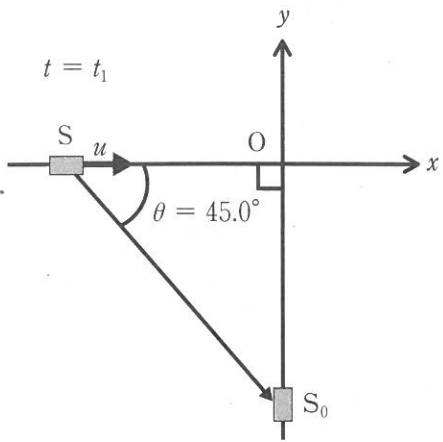


图 2

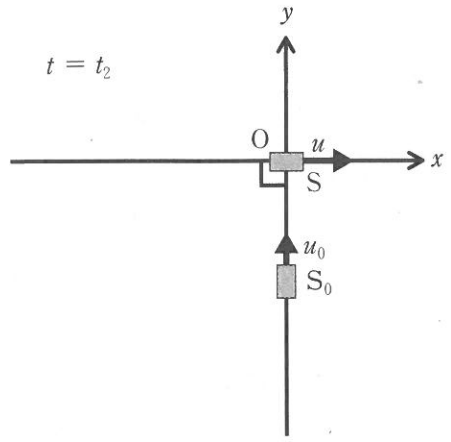


图 3

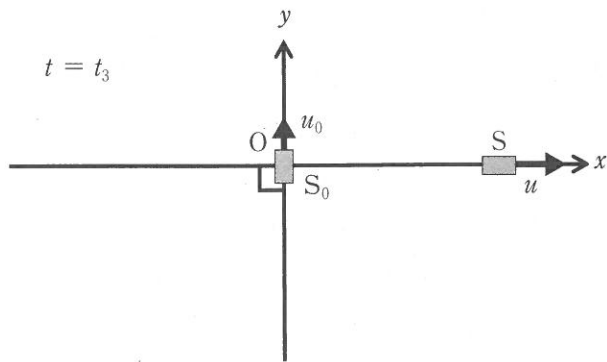


图 4

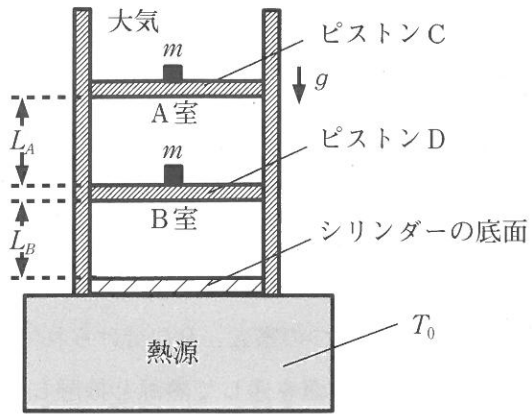
IV. 次の文を読み、下記の設問1～4に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし、重力加速度を g とし、気体定数を R とする。

図のように、圧力 p_0 の大気中に断面積 S のシリンダーを鉛直方向に立てて置き、その底面を温度 T_0 の熱源に接触させる。シリンダーの側面は断熱材でできているが底面は熱を通す材質でできているとする。このシリンダーは、断熱材からなる、重さの無視できるピストンC、Dによって2つの室A、Bに分けられている。A室は断熱壁に囲まれているが、B室はシリンダーの底面を通して熱源と接触しているためB室内の気体の温度は T_0 に保たれている。ピストンC、Dの上にはそれぞれ質量 m の小さなおもりが載せられている。ピストンC、Dはそれぞれ気密を保ちながらシリンダー内を上下に滑らかに動くことができる。

はじめに、定積モル比熱が C_V の同種の理想気体をA室とB室にそれぞれ封入し、ピストンC、Dをそれぞれつり合いの位置で静止させた。このときの気体の温度はともに T_0 であり、A室とB室の鉛直方向の長さはそれぞれ L_A と L_B であった。

次に、ピストンCに載せていたおもりに紐をつけ上方にゆっくり引き上げたところ、A室とB室の鉛直方向の長さの増分がそれぞれ ΔL_A と ΔL_B になったところで、おもりがピストンCから離れた。この過程で、A室内の気体は W_A の仕事を行い、ピストンCはおもりに W の仕事を行い、熱源からB室内の気体に Q の熱が流れた。

ただし、理想気体の断熱変化において、圧力 p と体積 V の間には、 γ を 1より大きい 定数として、 $pV^\gamma = \text{一定}$ という関係が成り立つとする。



図

1. ΔL_A を, $L_A, p_0, S, m, g, \gamma$ を用いて表せ。
2. ΔL_B を, L_B, p_0, S, m, g を用いて表せ。
3. W_A を, $C_V, R, L_A, p_0, S, m, g, \gamma$ を用いて表せ。
4. Q を, $W_A, W, \Delta L_A, \Delta L_B, p_0, S, m, g$ を用いて表せ。

V. 次の文 A～C を読み、下記の設問 1～3 に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし、電気素量を $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子の質量を $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、プランク定数を $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、真空中の光速を $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、陽子の質量を $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、リチウム 7 (${}^7_3\text{Li}$) の原子核の質量を $11.650 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 α 粒子の質量を $6.646 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とする。

必要であれば、 $\sqrt{2} \doteq 1.41$ 、 $\sqrt{9.11} \doteq 3.02$ を用いよ。

A. 静止した電子を 10.0 V の電圧で加速したとき、この電子の物質波 (ド・ブロイ波) の波長は $\lambda =$ m である。また、波長が λ の光子 1 個のエネルギーは J である。

1. 文中の空所 ・ それぞれにあてはまる数値を、有効数字 1 桁でしるせ。

B. 静止した陽子を $6.00 \times 10^2 \text{ kV}$ の電圧で加速し、静止したリチウム 7 (${}^7_3\text{Li}$) の原子核に衝突させると、2 個の α 粒子に変換した。この反応において、反応前の陽子とリチウム原子核の質量の総和を M_i 、反応後の 2 つの α 粒子の質量の総和を M_f とする。このとき、質量差 ($M_i - M_f$) に相当するエネルギーの大きさは、はじめに加速された陽子の運動エネルギーの 倍となる。

2. 文中の空所 にあてはまる数値を有効数字 1 桁でしるせ。

C. 図1のように、中空で薄い円筒形の銅でできた導体に電流を流す。導体は十分に長く、半径を d とする。電流の大きさを I とし、導体内で電流は一様であるとする。導体の中心軸上の点 O を中心として、中心軸に垂直な半径 r の円形の輪を考える。その円輪上での磁場は、円輪を貫く電流が全て中心軸に集まった直線電流を考えて、この直線電流による磁場を計算すればよい。したがって、 $r > d$ では、磁場の大きさは $H = \frac{I}{2\pi r}$ であり、 $r < d$ では円輪を貫く電流がないので、 $H = 0$ となる。

図2のような円柱形導体A（半径 a ）の外を中空の薄い円筒形導体B（半径 b ）が囲んでいる同軸ケーブルを考える。導体A、Bは銅でできており、十分に長く中心軸は一致している。導体Bの厚さは無視できるものとする。導体Aに大きさ I の電流を軸方向に流し、導体Bにはその反対向きに同じ大きさ I の電流を流した。それぞれの導体内で電流は一様であるとする。このとき中心軸から距離 r における磁束密度の大きさは $a < r < b$ では イ であり、 $r > b$ では ロ である。ただし真空の透磁率を μ_0 とする。

次に、図3のように半径 $3R$ の銅でできた円柱形導体に、その中心軸 l と平行な中心軸をもつ半径 R の円柱形の空洞をあけた導体Cを考える。空洞の中心軸とCの軸 l との距離は R であり、導体は十分に長いものとする。導体Cには一様な電流 I が軸方向に流れている。このときのCの軸 l 上における磁束密度の大きさを求めるために、仮想的に、導体Cと同じ電流密度の電流が流れている銅でできた導体Xで空洞をうめる（導体C+X）。導体XがCの軸 l につくる磁場は前述の方法で計算できる。そして、この磁場と導体Cがつくる磁場の和が、導体C+Xがつくる磁場になると考えると、導体Cがその軸 l 上につくる磁束密度の大きさは ハ と求められる。

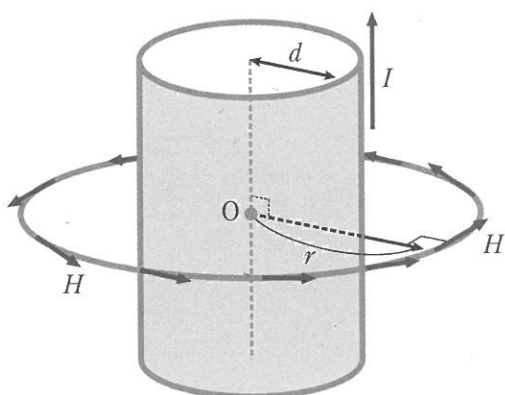


図1

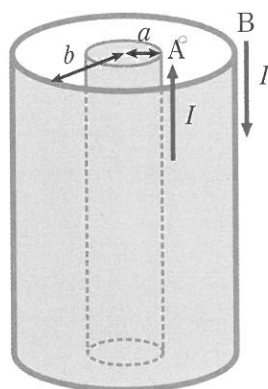


図2

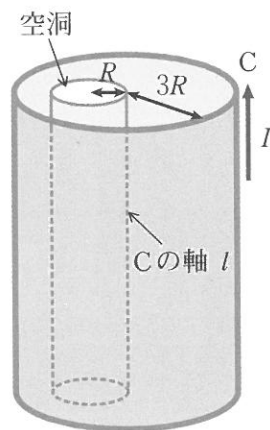


図3

3. 文中の空所 ～ にあてはまる数式または数値としてもっとも適当なものを、それぞれ対応する a ～ f から1つずつ選び、その記号を解答用紙の所定欄にマークせよ。

- | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="text" value="イ"/> | a. 0 | b. $\frac{\mu_0 I}{2(b-a)}$ | c. $\frac{\mu_0 I}{2a}$ |
| | d. $\frac{\mu_0 I}{2b}$ | e. $\frac{\mu_0 I}{2r}$ | f. $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ |
| <input type="text" value="ロ"/> | a. 0 | b. $\frac{\mu_0 I}{2(b-a)}$ | c. $\frac{\mu_0 I}{2a}$ |
| | d. $\frac{\mu_0 I}{2b}$ | e. $\frac{\mu_0 I}{2r}$ | f. $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ |
| <input type="text" value="ハ"/> | a. 0 | b. $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$ | c. $\frac{\mu_0 I}{8\pi R}$ |
| | d. $\frac{\mu_0 I}{16\pi R}$ | e. $\frac{\mu_0 I}{4R}$ | f. $\frac{\mu_0 I}{8R}$ |

【以下余白】