

物 理

解答上の注意

1. 解答は、解答用紙の解答欄にマークすること。
2. 分数形で解答する場合には、既約分数(それ以上約分できない分数)で答えること。
3. 答えの値は、枠に合わせて四捨五入すること。

1 次の文章を読み、下の問い(問1～8)に答えよ。

力を加えないときの長さ(自然長)が l で、質量が無視できる一様な細いゴムひもがある。このゴムひもに大きさ F の力を加えると、ゴムひもは力を加えた方向に $\Delta l = \frac{F}{k}$ だけ伸びる。 k は正の定数で、ここでは(ゴムひもの)ばね定数とよぶことにする。

[1]

問1 このゴムひもを2:3の長さの2本のゴムひもに切り分けた。

短い方のゴムひもAのばね定数を k_A 、長い方のゴムひもBのばね定数を k_B とする。 k_A, k_B を k で表すと $k_A = \boxed{\text{ア}}$ $k, k_B = \boxed{\text{イ}}$ k である。

$\boxed{\text{ア}}$, $\boxed{\text{イ}}$ に入る組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。 $\boxed{1}$

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
ア	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	2	3	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{3}{5}$
イ	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	3	2	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{2}$

図1のように、大きさの無視できる質量 m の小球にゴムひもA、Bの一端をつなぎ、ゴムひもが水平になるように他端を2つの壁に固定した。左のゴムひもAは自然長 l_A から Δl_A 、右のゴムひもBは自然長 l_B から Δl_B だけそれぞれ伸びて釣り合っている。壁から壁までの距離は L であり、床は水平でなめらかである。

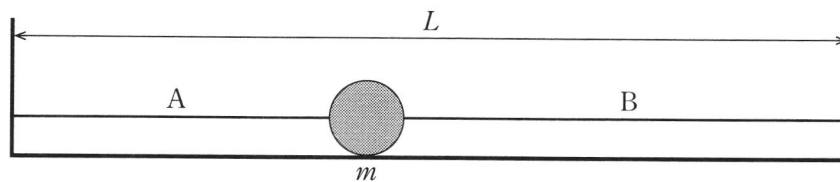


図1

問2 Δl_B を Δl_A で表すと $\Delta l_B = \boxed{2}$ Δl_A である。

$\boxed{2}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{2}{3}$ ⑤ $\frac{3}{2}$
 ⑥ 1 ⑦ 2 ⑧ 3 ⑨ 4

問 3 この小球を右方向に距離 d だけ移動してから静かに放すとき、小球が一定のばね定数のもとで単振動を繰り返すための条件は、 $d \leq$ ($L - l$) である。

に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{1}{9}$ ② $\frac{1}{4}$ ③ $\frac{1}{3}$ ④ $\frac{1}{2}$ ⑤ $\frac{2}{3}$
 ⑥ $\frac{3}{4}$ ⑦ $\frac{2}{5}$ ⑧ $\frac{3}{5}$ ⑨ $\frac{4}{5}$

問 4 小球が一定のばね定数のもとで単振動をするとき、その角振動数は、

$\sqrt{\frac{k}{m}}$ である。さらに、小球が最大振幅で単振動をするとき、速度の最大値は、 ($L - l$) $\sqrt{\frac{k}{m}}$ である。

, に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

- ① $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ② $\frac{\sqrt{5}}{5}$ ③ $\frac{\sqrt{6}}{6}$ ④ $\sqrt{2}$ ⑤ $\frac{2\sqrt{5}}{5}$
 ⑥ $\frac{\sqrt{6}}{3}$ ⑦ $2\sqrt{2}$ ⑧ $\frac{4\sqrt{5}}{5}$ ⑨ $\frac{5\sqrt{6}}{6}$

[2] 図2のように、大きさの無視できる質量 m_1 の小球 C と質量 m_2 の小球 D を自然長 l 、ばね定数 k の質量が無視できる一様な細いゴムひもでつなぎ、ゴムひもがたるんだ状態にして、水平でなめらかな床の上に置いた。ここで C を左側から速さ v_0 で静止している D に向け発射したところ、D と弾性衝突した。すべての運動は紙面内で行われ、図2の右向きを正とする。また、ゴムひもは水平方向に伸縮し、たるんだ状態では小球の運動に影響を与えないものとする。

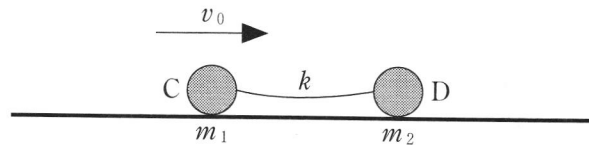


図2

問5 衝突直後の C の速度は $v_1 = \boxed{\text{ウ}} \frac{v_0}{m_1 + m_2}$ ，

D の速度は $v_2 = \boxed{\text{エ}} \frac{v_0}{m_1 + m_2}$ である。

$\boxed{\text{ウ}}$ ， $\boxed{\text{エ}}$ に入る組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。 $\boxed{6}$

	①	②	③	④	⑤
ウ	m_2	$-m_2$	$2m_1$	$m_1 - m_2$	$-m_2$
エ	m_1	$2m_1$	$m_1 - m_2$	$2m_1$	$-m_1$

	⑥	⑦	⑧	⑨
ウ	$m_2 - m_1$	$-m_1$	$m_1 - m_2$	$-m_2$
エ	$2m_2$	$m_1 - m_2$	m_1	$m_2 - m_1$

問 6 C と D からなる系の全質量と重心 G の速度をかけた量を重心の運動量とよぶ。重心の運動量は C と D の運動量の和に等しいことを使うと、重心の速度が求められる。

この衝突を G から見たとき、衝突直後の C の速度は $v'_1 = \boxed{\text{オ}} \frac{v_0}{m_1 + m_2}$ 、

D の速度は $v'_2 = \boxed{\text{カ}} \frac{v_0}{m_1 + m_2}$ である。

$\boxed{\text{オ}}$ 、 $\boxed{\text{カ}}$ に入る組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。 $\boxed{7}$

	①	②	③	④	⑤
オ	m_1	$-m_2$	$2m_1$	$m_1 - m_2$	$-2m_2$
カ	m_2	m_1	$m_1 - m_2$	$2m_1$	$m_2 - m_1$

	⑥	⑦	⑧	⑨
オ	$m_2 - m_1$	$-m_1$	$m_1 - m_2$	m_2
カ	$2m_2$	$m_1 - m_2$	m_1	$m_2 - m_1$

問 7 衝突後 C、D の間隔が初めて l になる時刻を $t = 0$ とし、その次に l になる時刻を T とする。時刻 t が $0 \leq t \leq T$ のとき、G から見た D の運動を調べる。この間では、加速度と運動方程式は、G から見たものであるとする。 $t = 0$ において l_0 であった G と D の間隔が、時刻 t では $l_0 + x$ に変化した。時刻 t における、D の加速度を a として D の運動方程式を表すと $m_2 a = -\boxed{8} kx$ となる。

$\boxed{8}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。

- ① $\frac{m_1 + m_2}{m_1}$ ② $\frac{m_1}{m_1 + m_2}$ ③ $\frac{m_1 + m_2}{m_2}$ ④ $\frac{m_2}{m_1 + m_2}$ ⑤ $\frac{2m_1}{m_1 + m_2}$
 ⑥ $\frac{2m_2}{m_1 + m_2}$ ⑦ $\frac{m_1 + m_2}{2m_1}$ ⑧ $\frac{m_1 + m_2}{2m_2}$ ⑨ $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$

問 8 $m_2 = 2m_1$ とする。このとき、 $T = \boxed{9} \pi \sqrt{\frac{m_1}{k}}$ である。また、CD 間の距離の最大値は $l + \boxed{10} \sqrt{\frac{m_1}{k}} v_0$ である。

$\boxed{9}$, $\boxed{10}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

- ① 1 ② $\sqrt{2}$ ③ 2 ④ $2\sqrt{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{6}}{3}$
 ⑥ $\frac{\sqrt{6}}{2}$ ⑦ $\frac{2\sqrt{6}}{3}$ ⑧ $\sqrt{6}$ ⑨ $\frac{\sqrt{10}}{2}$

2 次の文章を読み、下の問い(問1～9)に答えよ。

[1] 大気中に断面積 S のシリンダーを鉛直に保ち、質量 m のなめらかに動くピストンを取り付ける。シリンダー内には物質量 1 mol の単原子分子理想気体が閉じ込められている。ピストンとシリンダーは断熱材でできており、シリンダー内の気体の温度は温度調節器によって制御されている。大気圧 p_0 は一定であり、 $p_0 > \frac{mg}{S}$ であるとする。重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とし、温度は絶対温度とする。また、単原子分子理想気体の定積モル比熱 C_v 、定圧モル比熱 C_p はそれぞれ $C_v = \frac{3}{2} R$ 、 $C_p = \frac{5}{2} R$ である。

図1のように、シリンダー内の温度が T のとき、シリンダー内の底面からピストン下面までの高さは h であった。これを状態 A とする。

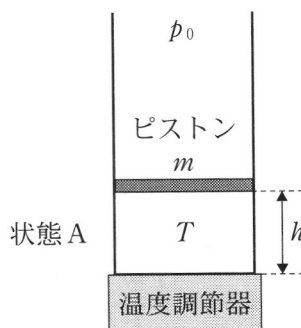


図1

問1 $h =$ である。

に入る最も適切なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ① $\frac{p_0 S}{RT}$ | ② $\frac{RT}{p_0 S}$ | ③ $\frac{RT}{p_0 S + mg}$ |
| ④ $\frac{p_0 S + mg}{RT}$ | ⑤ $\frac{RT}{p_0 S - mg}$ | ⑥ $\frac{p_0 S - mg}{RT}$ |

次に、図2のように、シリンダー内の気体の温度を T に保ったままで、シリンダーの上下をゆっくりと逆転させた。ピストンの上面からシリンダー内の天井までの高さが h' になったとき、ピストンはシリンダー内で静止した。これを状態Bとする。

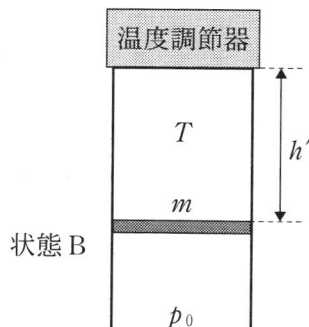


図2

問2 $h' = \boxed{12}$ である。

$\boxed{12}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ① $\frac{p_0 S}{RT}$ | ② $\frac{RT}{p_0 S}$ | ③ $\frac{RT}{p_0 S + mg}$ |
| ④ $\frac{p_0 S + mg}{RT}$ | ⑤ $\frac{RT}{p_0 S - mg}$ | ⑥ $\frac{p_0 S - mg}{RT}$ |

次に、図3のように、シリンダー内の気体の温度をゆっくりと T' にした。ピストンの上面からシリンダー内の天井までの高さが h になったとき、ピストンはシリンダー内で静止した。これを状態Cとする。

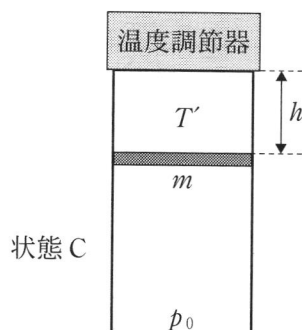


図3

問 3 状態 B から C へ変わる間に、大気がした仕事 W_0 は $W_0 = \boxed{13} RT$ である。

$\boxed{13}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちから 1 つ選べ。

- ① $\frac{2mg}{p_0S + mg}$ ② $\frac{2mg}{p_0S - mg}$ ③ $\frac{2p_0S}{p_0S + mg}$ ④ $\frac{2p_0S}{p_0S - mg}$
 ⑤ $\frac{2m^2g^2}{p_0^2S^2 + m^2g^2}$ ⑥ $\frac{2m^2g^2}{p_0^2S^2 - m^2g^2}$ ⑦ $\frac{2p_0^2S^2}{p_0^2S^2 + m^2g^2}$
 ⑧ $\frac{2p_0^2S^2}{p_0^2S^2 - m^2g^2}$ ⑨ $\frac{2p_0Smg}{p_0^2S^2 + m^2g^2}$ ⑩ $\frac{2p_0Smg}{p_0^2S^2 - m^2g^2}$

問 4 状態 B から C へ変わる間に、シリンダー内の気体が吸収した熱量 Q は

$$Q = \boxed{14} \frac{RT}{p_0S + mg} \text{ である。}$$

$\boxed{14}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。

- ① $-5mg$ ② $-5P_0S$ ③ $-3mg$ ④ $-3p_0S$ ⑤ $3mg$
 ⑥ $3p_0S$ ⑦ $5mg$ ⑧ $5p_0S$ ⑨ 0

状態 B から C へ変わる間に、シリンダー内の気体の内部エネルギーは ΔU だけ変化し、ピストンの位置エネルギーは Δw_p だけ増加した。

問 5 ΔU を Δw_p , W_0 , Q を用いて表すと、 $\Delta U = \boxed{15}$ である。

$\boxed{15}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑧のうちから 1 つ選べ。

- ① $Q + \Delta w_p$ ② $Q - \Delta w_p$ ③ $Q + W_0$
 ④ $Q - W_0$ ⑤ $Q + W_0 + \Delta w_p$ ⑥ $Q + W_0 - \Delta w_p$
 ⑦ $Q - W_0 + \Delta w_p$ ⑧ $Q - W_0 - \Delta w_p$

- 〔2〕 図4のように、振動数 f の音源 S と反射体 R があり、観測者 O は S の上にいる。 R は速さ v で S と O に近づいている。音速を V とし、 v は V より小さいものとする。



図4

いま、 S は連続音を発している。

- 問6 S が発する音の波長を λ とすると、 R は1秒間あたり 個の波を受け取る。

このことから、 R が受け取る入射音の振動数 f_R は $f_R =$ f である。

, に入る組合せとして最も適切なものを、次の①~⑧のうちから1つ選べ。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$\frac{V-v}{\lambda}$	$\frac{V-v}{\lambda}$	$\frac{V-v}{\lambda}$	$\frac{V-v}{\lambda}$	$\frac{V+v}{\lambda}$	$\frac{V+v}{\lambda}$	$\frac{V+v}{\lambda}$	$\frac{V+v}{\lambda}$
イ	$\frac{V-v}{V}$	$\frac{V+v}{V}$	$\frac{V}{V-v}$	$\frac{V}{V+v}$	$\frac{V-v}{V}$	$\frac{V+v}{V}$	$\frac{V}{V-v}$	$\frac{V}{V+v}$

- 問7 O が聞く反射音の波長 λ_0 は f_R 、 V 、 v を使って表すと $\lambda_0 =$ である。このことから、 O が聞く反射音の振動数 f_0 は $f_0 =$ f である。

, に入る組合せとして最も適切なものを、次の①~⑧のうちから1つ選べ。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ウ	$\frac{f_R}{V-v}$	$\frac{f_R}{V-v}$	$\frac{V-v}{f_R}$	$\frac{V-v}{f_R}$	$\frac{f_R}{V+v}$	$\frac{f_R}{V+v}$	$\frac{V+v}{f_R}$	$\frac{V+v}{f_R}$
エ	$\frac{V-v}{V+v}$	$\frac{V+v}{V-v}$	$\frac{V-v}{V+v}$	$\frac{V+v}{V-v}$	$\frac{V-v}{V+v}$	$\frac{V+v}{V-v}$	$\frac{V-v}{V+v}$	$\frac{V+v}{V-v}$

ここで、Sは連続音を停止し、次に持続時間 T の音を1回だけ発した。

問 8 Sが発する音の波の数と観測者Oが聞く反射音の波の数は等しいことから、Oが聞く反射音の持続時間 T_0 は $T_0 = \boxed{18} T$ である。

$\boxed{18}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{v}{V}$ ② $\frac{V-v}{V+v}$ ③ $\frac{V+v}{V-v}$ ④ $\frac{V-2v}{V+v}$ ⑤ $\frac{V+2v}{V-v}$
⑥ $\frac{V-v}{V+2v}$ ⑦ $\frac{V+v}{V-2v}$ ⑧ $\frac{V-2v}{V+2v}$ ⑨ $\frac{V+2v}{V-2v}$

問 9 $T_0 = \frac{4}{5} T$ であった。 $V = 342 \text{ m/s}$ とすると $v = \boxed{19} \text{ m/s}$ である。

$\boxed{19}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① 19 ② 24 ③ 26 ④ 32 ⑤ 38
⑥ 42 ⑦ 57 ⑧ 86 ⑨ 92

3 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えよ。

[1] 図1に示すように、座標空間の x 軸上の点 $A(-a, 0, 0)$ ($a > 0$)を通る無限に長い導線が z 軸と平行に置かれている。図2は、図1を z 軸の正の向きから見たもので、座標の z 成分は省略されている。導線には電流 I ($I > 0$)が、 z 軸と平行に正の向きへ流れている。 y 軸上に点 $P(0, y, 0)$ をとり(図1)、そこに生じる磁場(磁界)を考える。AP間の距離を r 、APと x 軸のなす角を θ とする(図2)。

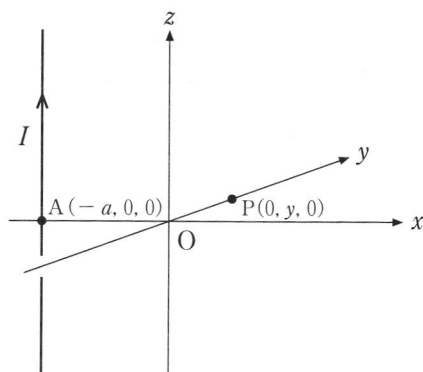


図1

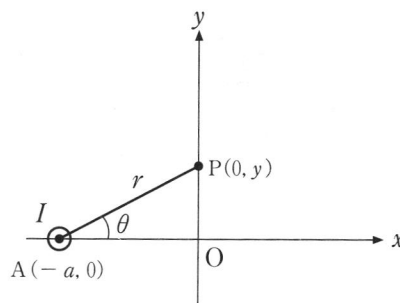


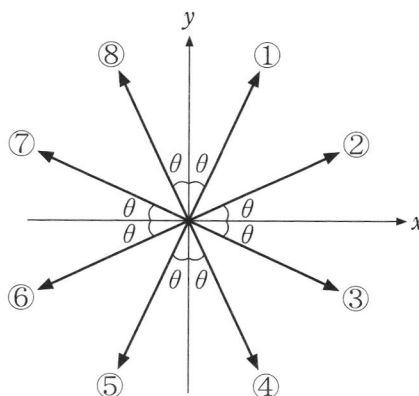
図2

問1 Aを通る導線に流れる電流がPに作る磁場 \vec{H}_A の大きさを H_A とすると、 $H_A =$ であり、 \vec{H}_A の向きは である。

(1) に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{I}{2\pi r}$ ② $\frac{I \sin \theta}{2\pi r}$ ③ $\frac{I \cos \theta}{2\pi r}$ ④ $\frac{I}{2\pi r \sin \theta}$ ⑤ $\frac{I}{2\pi r \cos \theta}$
 ⑥ $\frac{I}{\pi r}$ ⑦ $\frac{I \sin \theta}{\pi r}$ ⑧ $\frac{I \cos \theta}{\pi r}$ ⑨ $\frac{I}{\pi r \sin \theta}$ ⑩ $\frac{I}{\pi r \cos \theta}$

(2) に入る最も適切なものを、次の①～⑧のうちから1つ選べ。



[2] さらに、図3に示すように点B(a, 0, 0)をとり、そこに無限に長い導線をz軸と平行に置く。この導線に電流Iを、z軸と平行に負の向きへ流す。図4は、図3をz軸の正の向きから見たもので、座標のz成分は省略されている。

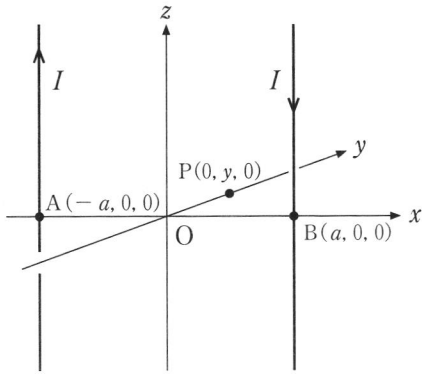


図3

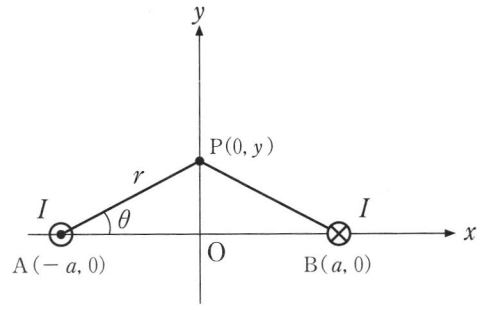


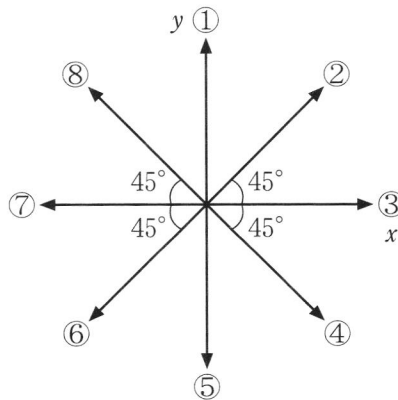
図4

問2 Pに生じる合成磁場 \vec{H} の大きさをHとすると、 $H = \boxed{22} \frac{I}{\pi}$ であり、 \vec{H} の向きは $\boxed{23}$ である。

(1) $\boxed{22}$ に入る最も適切なものを、次の①~⑨のうちから1つ選べ。

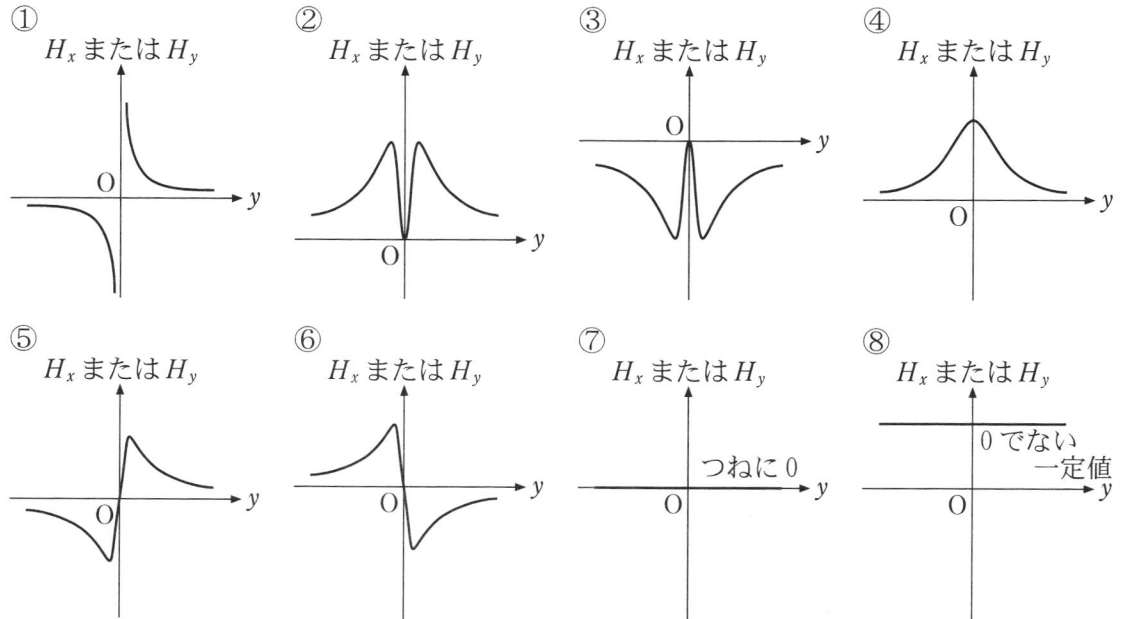
- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ① $\frac{1}{\sqrt{y^2 + a^2}}$ | ② $\frac{a}{y^2 + a^2}$ | ③ $\frac{y}{y^2 + a^2}$ |
| ④ $\frac{a}{y\sqrt{y^2 + a^2}}$ | ⑤ $\frac{y}{a\sqrt{y^2 + a^2}}$ | ⑥ $\frac{1}{a}$ |
| ⑦ $\frac{1}{y}$ | ⑧ $\frac{a^2}{(\sqrt{y^2 + a^2})^3}$ | ⑨ $\frac{y^2}{(\sqrt{y^2 + a^2})^3}$ |

(2) $\boxed{23}$ に入る最も適切なものを、次の①~⑧のうちから1つ選べ。



問 3 $\vec{H} = (H_x, H_y, 0)$ と表し, H_x, H_y それぞれを P の座標 y の関数とするとき, 関数 $H_x(y), H_y(y)$ のグラフの概形として最も適切なものを, 次の①~⑧のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ. 同じものを繰り返し選んでもよい.

$H_x(y)$ のグラフ 24, $H_y(y)$ のグラフ 25



- [3] 4点 $C(a, a, 0)$, $D(-a, a, 0)$, $E(-a, -a, 0)$, $F(a, -a, 0)$ をとり, そのそれぞれを通る無限に長い導線を z 軸と平行に置いて, これら4本の導線に電流 I を, 図5に示す方向に流す. 図5はこの様子を z 軸の正の向きから見たものであり, 座標の z 成分は省略されている. このとき, 4つの直線電流が点 P に作る合成磁場 \vec{H} を求める.

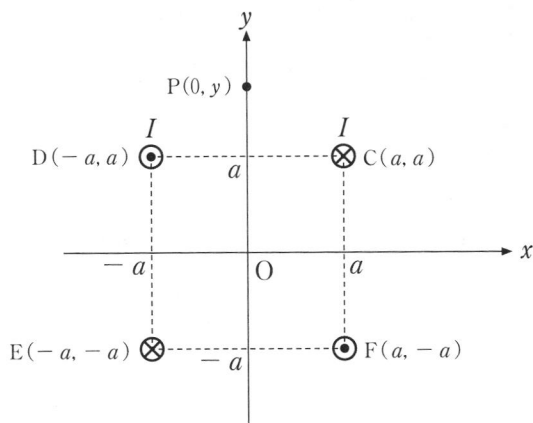


図5

問4 CおよびDを通る導線を流れる電流が作る合成磁場を $\vec{H}_1 = (H_{1x}, H_{1y}, 0)$ とする.

これは, 図4の電流の位置を y 軸の正の向きに a だけ平行移動したものであることがわかる. よって, H_{1x} , H_{1y} それぞれを P の座標 y の関数とすると, 関数 $H_{1x}(y)$, $H_{1y}(y)$ はそれぞれ, $H_{1x}(y) = \boxed{26} \frac{I}{\pi}$, $H_{1y}(y) = \boxed{27} \frac{I}{\pi}$ である.

$\boxed{26}$, $\boxed{27}$ に入る最も適切なものを, 次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ. 同じものを繰り返し選んでもよい.

- | | | |
|---|--|--|
| ① $\frac{1}{\sqrt{(y-a)^2 + a^2}}$ | ② $\frac{a}{(y-a)^2 + a^2}$ | ③ $\frac{y-a}{(y-a)^2 + a^2}$ |
| ④ $\frac{a}{(y-a)\sqrt{(y-a)^2 + a^2}}$ | ⑤ $\frac{y-a}{a\sqrt{(y-a)^2 + a^2}}$ | ⑥ $\frac{1}{a}$ |
| ⑦ $\frac{1}{y-a}$ | ⑧ $\frac{a^2}{(\sqrt{(y-a)^2 + a^2})^3}$ | ⑨ $\frac{(y-a)^2}{(\sqrt{(y-a)^2 + a^2})^3}$ |
| ⑩ 0 | | |

問 5 E および F を通る導線を通る電流が作る合成磁場を $\vec{H}_2 = (H_{2x}, H_{2y}, 0)$ とする。

これは、図 4 の電流の向きを逆にし (磁場の向きを反転させ)、さらに y 軸の負の向きに a だけ平行移動したものであることがわかる。

よって、 H_{2x} , H_{2y} それぞれを P の座標 y の関数とすると、関数 $H_{2x}(y)$, $H_{2y}(y)$ はそれぞれ、 $H_{2x}(y) = - \boxed{28} \frac{I}{\pi}$, $H_{2y}(y) = - \boxed{29} \frac{I}{\pi}$ である。

$\boxed{28}$, $\boxed{29}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

- ① $\frac{1}{\sqrt{(y+a)^2 + a^2}}$ ② $\frac{a}{(y+a)^2 + a^2}$ ③ $\frac{y+a}{(y+a)^2 + a^2}$
 ④ $\frac{a}{(y+a)\sqrt{(y+a)^2 + a^2}}$ ⑤ $\frac{y+a}{a\sqrt{(y+a)^2 + a^2}}$ ⑥ $\frac{1}{a}$
 ⑦ $\frac{1}{y+a}$ ⑧ $\frac{a^2}{(\sqrt{(y+a)^2 + a^2})^3}$ ⑨ $\frac{(y+a)^2}{(\sqrt{(y+a)^2 + a^2})^3}$
 ⑩ 0

問 6 4 つの直線電流が P に作る合成磁場を $\vec{H} = (H_x, H_y, 0)$ と表す。 H_x , H_y それぞれを P の座標 y の関数とすると、関数 $H_x(y)$, $H_y(y)$ のグラフの概形として最も適切なものを、次の①～⑧のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

$H_x(y)$ のグラフ $\boxed{30}$, $H_y(y)$ のグラフ $\boxed{31}$

