物　　理

注　意

1. 問題は全部で22ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その１)はマーク・シートになっている。ＨＢの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ○ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり╳をつけたりしてはいけない。

　解答記入例(解答が １ のとき)

1	● ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。╳をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，空欄(ア)〜(ウ)にあてはまるもっとも適切な式を**解答用紙(その2)**の該当する解答欄に記入せよ。また，空欄(1)〜(9)にあてはまるもっとも適切な解答をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークせよ。

高さℓ，底面積Sの質量の無視できる円筒形の容器がある。この容器は鉛直方向にのみ動くことができ，底面は常に水平であるものとする。この中に質量mのおもりを入れ，底に固定して容器を密封した。水の密度をρ，重力加速度の大きさをgとして，以下の問に答えよ。ただし水面の高さは常に一定であり，大気圧の影響は無視できるものとする。

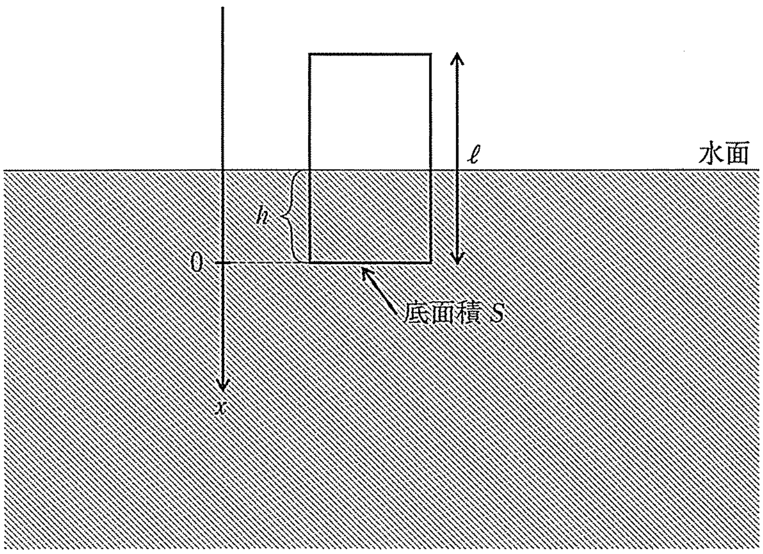


図1—1

問 1. 容器を水中に静かに入れ，図1—1のように下面が水面からh（ただし$0 < h < \ell$）だけ沈んだところで手を離したところ，容器は静止した。このとき，容器が受ける浮力の大きさはρを使って表すと $\boxed{(ア)}$ となり，hは $\boxed{(イ)}$ と表される。

問 2. 図1—1のように鉛直下方にx軸をとり，問1のように容器が水面から下にhだけ沈んだときの下面の位置を$x = 0$とする。この容器を下面が水面に接するまで持ち上げ時刻$t = 0$で静かに離したところ，容器の上面は常に水上に出たまま上下にある一定の振動数で振動を続けた。ここでは水による抵抗は無視できるとする。

(a) 容器の下面の座標をxとするとき，容器の受ける浮力の大きさは $\boxed{\text{(ウ)}}$ と表される。ただし$x > -h$とする。

(b) 容器の加速度をaとすると，容器の運動方程式は $\boxed{(1)}$ と表される。これは一端が固定されたバネ定数 $\boxed{(2)}$ のバネにつながった質量mの質点の運動方程式と同じである。

(c) したがって振動の周期Tは $\boxed{(3)}$ となる。

(d) $t = 0$で$x =$ $\boxed{(4)}$ であり，容器の速さは $\boxed{(5)}$ である。これより$t \geqq 0$のxをtの関数として表すと $\boxed{(6)}$ となる。

(1)の解答群

① $ma = -\rho g S x$　② $ma = -\dfrac{\rho g}{S}x$　③ $ma = -\dfrac{S}{\rho g}x$

④ $ma = -\dfrac{1}{\rho g}x$　⑤ $ma = -mgSx$　⑥ $ma = -\dfrac{mg}{S}x$

⑦ $ma = -\dfrac{S}{mg}x$　⑧ $ma = -\dfrac{1}{mg}x$　⑨ $ma = -\rho S x$

(2)の解答群

① $\rho g S$　② $\dfrac{\rho g}{S}$　③ $\dfrac{S}{\rho g}$　④ $\dfrac{1}{\rho g}$　⑤ mgS

⑥ $\dfrac{mg}{S}$　⑦ $\dfrac{S}{mg}$　⑧ $\dfrac{1}{mg}$　⑨ ρS

(3)の解答群

① $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{\rho gS}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{mg}{\rho S}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{\rho}{mgS}}$

④ $2\pi\sqrt{\dfrac{\rho g}{mS}}$　⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{\rho gS}{m}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{\rho S}{mg}}$

⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{mgS}{\rho}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{mS}{\rho g}}$　⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{\rho S}}$

(4), (5)の解答群

① 0　② h　③ $-h$　④ ℓ　⑤ $-\ell$

⑥ $\dfrac{\rho g}{m}$　⑦ $\dfrac{\rho gh}{m}$　⑧ $-\dfrac{\rho gh}{m}$　⑨ $\dfrac{\rho g\ell}{m}$　⓪ $-\dfrac{\rho g\ell}{m}$

(6)の解答群

① $x = h\sin\left(\dfrac{\pi t}{T}\right)$　② $x = -h\sin\left(\dfrac{\pi t}{T}\right)$

③ $x = h\cos\left(\dfrac{\pi t}{T}\right)$　④ $x = -h\cos\left(\dfrac{\pi t}{T}\right)$

⑤ $x = h\sin\left(\dfrac{2\pi t}{T}\right)$　⑥ $x = -h\sin\left(\dfrac{2\pi t}{T}\right)$

⑦ $x = h\cos\left(\dfrac{2\pi t}{T}\right)$　⑧ $x = -h\cos\left(\dfrac{2\pi t}{T}\right)$

問 3. 次に容器を開け，その中の質量 m のおもりを質量 M のおもりと交換して固定し，再度容器を密封した。この容器を，下面が水面に接した状態で時刻 $t = 0$ にて静かに手を離したとき，M が $\boxed{(7)}$ より大きければ $t = t_1$ で上面が水面に達しその後さらに沈み続ける。

速度が大きくなると水の抵抗力が無視できなくなる。抵抗力の大きさは容器の速さに比例するものとする。容器の下面の位置 x と容器の速さ v の，時間 t との関係を表した概略図は，それぞれ $\boxed{(8)}$ ，$\boxed{(9)}$ のようになる。なお，x 座標の取り方は問 2 と同じとする。

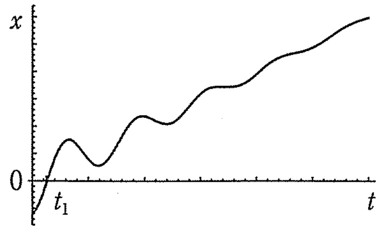
(7)の解答群

① ρhS　② $\rho hS - m$　③ ρghS　④ $\rho ghS - m$

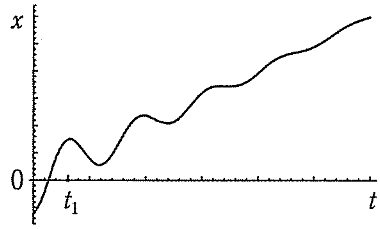
⑤ $\rho\ell S$　⑥ $\rho\ell S - m$　⑦ $\rho g\ell S$　⑧ $\rho g\ell S - m$

(8)の解答群

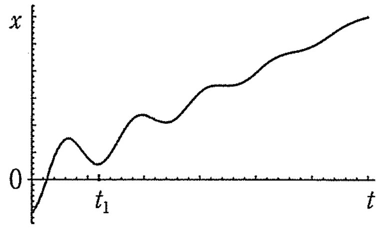
①



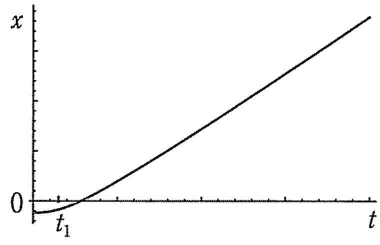
②



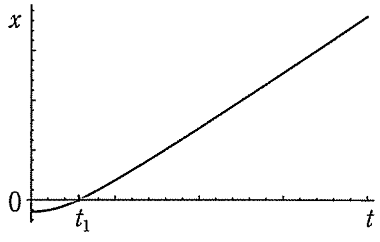
③



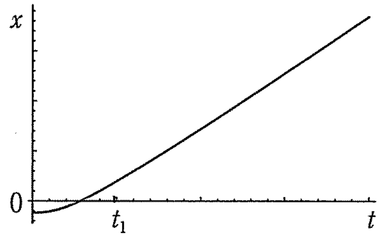
④



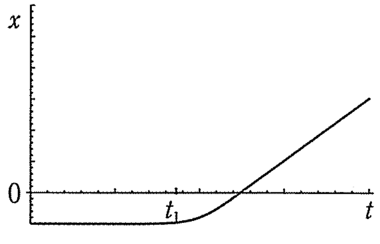
⑤



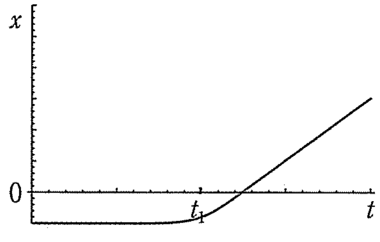
⑥



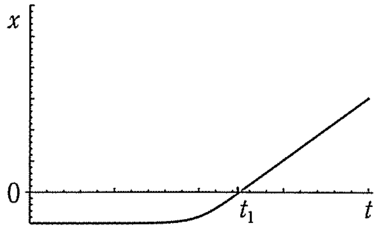
⑦



⑧

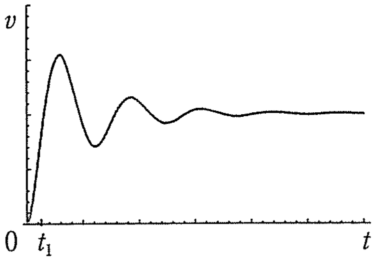


⑨

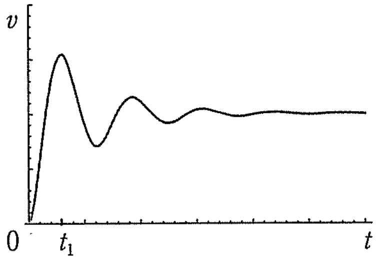


(9)の解答群

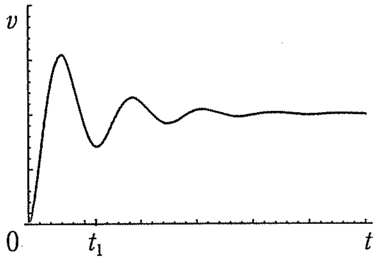
①



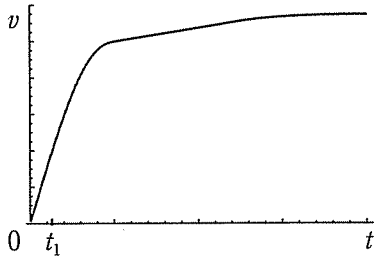
②



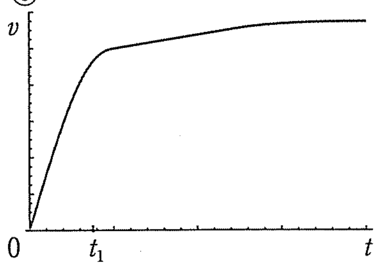
③



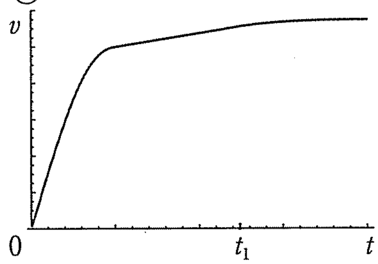
④



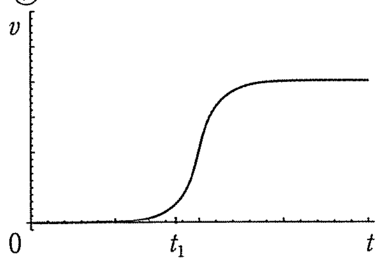
⑤



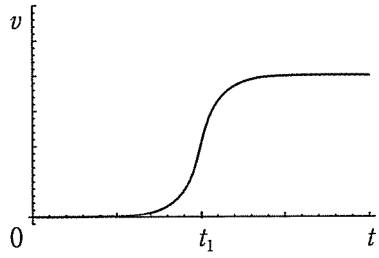
⑥



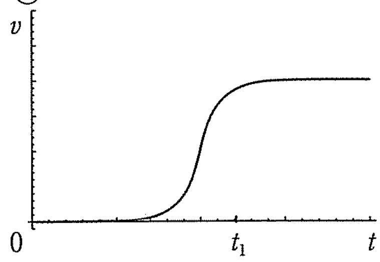
⑦



⑧



⑨



＜余　　白＞

＜余　　　白＞

＜余　　　白＞

2 以下の文章を読み，空欄(10)～(19)にあてはまる最も適切な式または語句をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その１)**に記された記号をマークせよ。また，空欄(a)～(g)に当てはまる式を**解答用紙(その２)**の所定の欄に解答せよ。ただし，重力の影響は無視できるものとする。

図２—１のような，極板１，２からなる間隔 d の平行板コンデンサーを考える。コンデンサーには電圧 V ($V>0$) がかけられている。コンデンサーの極板２には大きさの無視できる小さな穴が開いていて，小さな粒子が通り抜けられるようになっている。コンデンサーの内側で極板１のじゅうぶん近くに，質量 m，電荷 q ($q>0$) の小さな粒子を静かに置く。平行板コンデンサーの電界の大きさは $\boxed{(10)}$ なので，粒子にかかる力の大きさは $\boxed{(11)}$ となり，粒子は極板２に向かって運動を始める。極板２を通過後の粒子の速さは $\boxed{(12)}$ である。

平行板コンデンサーを通過後，粒子は図２—１のグレーで示した一様磁界の存在する領域に垂直に入射する。磁束密度は大きさ B，向きは紙面を裏から表につらぬく向きとする。入射直後に，磁界から粒子は向きが $\boxed{(13)}$ ，大きさが $\boxed{(14)}$ のローレンツ力を受ける。その結果，粒子は速さが変わらないまま半径 $\boxed{(15)}$ の半円を描く運動をすることになる。半円を描くのにかかる時間は $\boxed{(16)}$ となる。この時間は， $\boxed{(17)}$ 。

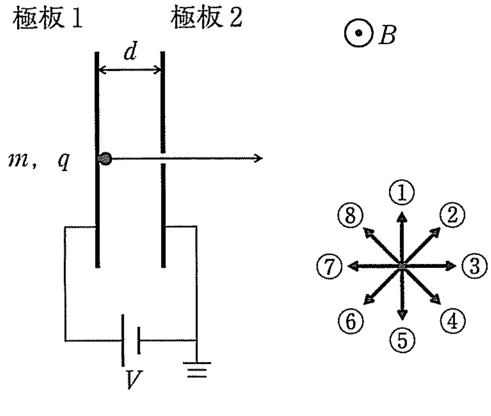


図２—１

(10)の解答群

① V ② Vd ③ Vd^2 ④ $\dfrac{V}{d}$ ⑤ $\dfrac{V^2}{d}$

⑥ $\dfrac{V}{d^2}$ ⑦ $\dfrac{qV}{d}$ ⑧ $\dfrac{qV^2}{d}$ ⑨ $\dfrac{qV}{d^2}$ ⓪ 0

(11)の解答群

① $\dfrac{V}{d}$ ② $\dfrac{qV}{d}$ ③ $\dfrac{qV^2}{d}$ ④ $\dfrac{qV}{d^2}$ ⑤ qV

⑥ qVd ⑦ qVd^2 ⑧ 0 ⑨ $\dfrac{V}{qd}$ ⓪ $\dfrac{V}{qd^2}$

(12)の解答群

① $\dfrac{qV}{m}$ ② $\dfrac{2qV}{m}$ ③ $\sqrt{\dfrac{qV}{m}}$ ④ $\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$ ⑤ $\dfrac{qVd}{m}$

⑥ $\dfrac{2qVd}{m}$ ⑦ $\sqrt{\dfrac{qVd}{m}}$ ⑧ $\sqrt{\dfrac{2qVd}{m}}$ ⑨ $\sqrt{\dfrac{V}{m}}$ ⓪ $\sqrt{\dfrac{2qV^2}{m}}$

(13)の解答群

① 図2—1①の向き ② 図2—1②の向き ③ 図2—1③の向き

④ 図2—1④の向き ⑤ 図2—1⑤の向き ⑥ 図2—1⑥の向き

⑦ 図2—1⑦の向き ⑧ 図2—1⑧の向き

(14)の解答群

① $\dfrac{q^2VB}{m}$ ② $\dfrac{2q^2VB}{m}$ ③ $qB\sqrt{\dfrac{qV}{m}}$

④ $qB\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$ ⑤ $\dfrac{q^2VdB}{m}$ ⑥ $\dfrac{2q^2VdB}{m}$

⑦ $qB\sqrt{\dfrac{qVd}{m}}$ ⑧ $qB\sqrt{\dfrac{2qVd}{m}}$ ⑨ $qB\sqrt{\dfrac{V}{m}}$

⓪ $qB\sqrt{\dfrac{2qV^2}{m}}$

(15)の解答群

① $\sqrt{\dfrac{mV}{qB}}$　② $\sqrt{\dfrac{mV}{qB^2}}$　③ $\sqrt{\dfrac{2mV}{qB}}$　④ $\sqrt{\dfrac{2mV}{qB^2}}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{mVd}{qB}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{mVd}{qB^2}}$　⑦ $\sqrt{\dfrac{2mVd}{qB}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{2mVd}{qB^2}}$

⑨ $\sqrt{\dfrac{mV}{qBd}}$　⓪ $\sqrt{\dfrac{2mV}{qBd}}$

(16)の解答群

① $\dfrac{\pi m}{qB}$　② $\dfrac{\pi mV}{qB}$　③ $\dfrac{\pi mV^2}{qB}$　④ $\dfrac{\pi m}{qBV}$　⑤ $\dfrac{\pi m}{qBV^2}$

⑥ $\dfrac{\pi m}{qB}\sqrt{V}$　⑦ $\dfrac{\pi m}{qB\sqrt{V}}$　⑧ $\dfrac{\pi md}{qB}$　⑨ $\dfrac{\pi m}{qBd}$　⓪ $\dfrac{\pi mV}{qBd}$

(17)の解答群

① V に比例する　② V^2 に比例する　③ V^3 に比例する

④ $\dfrac{1}{V}$ に比例する　⑤ $\dfrac{1}{V^2}$ に比例する　⑥ $V^{\frac{1}{2}}$ に比例する

⑦ $V^{-\frac{1}{2}}$ に比例する　⑧ V に依存しない

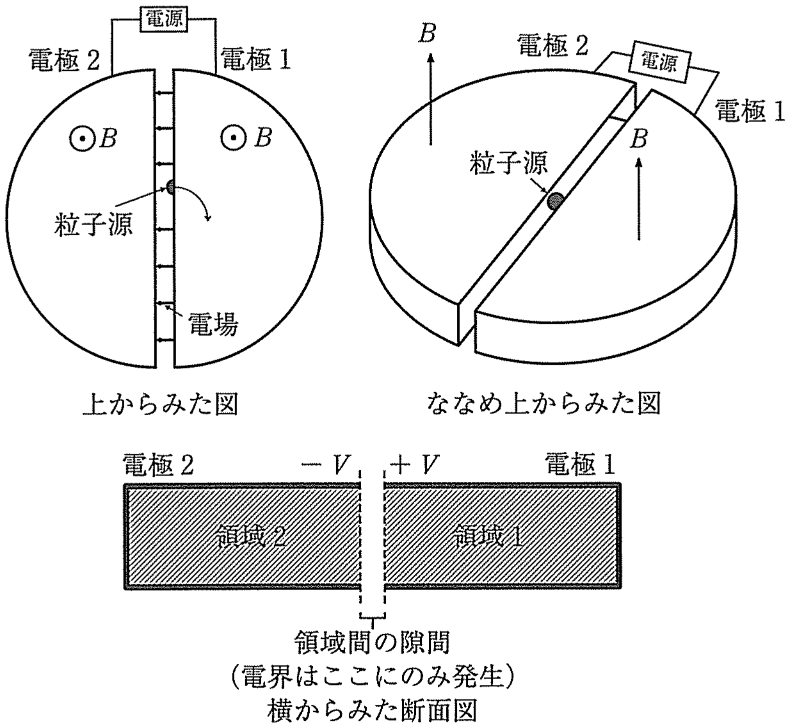


図2—2

さて，図2—2のように，半円筒形で中空の電極1，電極2を向かい合わせて一様磁界中に置く。磁束密度は大きさB，方向は上からみた図で紙面を裏から表につらぬく向きとする。電極1と電極2の間には荷電粒子を入射する粒子源がある。電極1，電極2に電圧をかけると，それぞれの電極で囲まれた領域1，領域2はそれぞれの電極と等電位になり，領域1と領域2の間の隙間にだけ電位差に応じた電界が発生する。ただし，領域1と領域2の向かい合う面は平行で，領域間の隙間は小さいので，粒子が隙間を運動する時間およびそこでの磁界の影響は無視できる。

まず，電極1と電極2の電位はそれぞれ$+V$，$-V$($V > 0$)に固定する。質量m，電荷q($q > 0$)の粒子を隙間から領域1に垂直に入射する。粒子が領域1に入射した瞬間の速さをu_0とする。その後，粒子は領域内で半径$\boxed{\text{(a)}}$の等速円運動を行い，やがて領域1を出た。ふたつの領域の電位差を考慮すると，

領域2に入る直前の粒子の速さは $\boxed{\text{(b)}}$ となり，u_0 と比べて $\boxed{(18)}$ 。粒子はその後領域2に入る。領域2内での円運動の半径は $\boxed{\text{(c)}}$ となり，$\boxed{\text{(a)}}$ と比べて $\boxed{(19)}$ 。再び粒子が領域2を出て領域1に入った時には，粒子の速さは $\boxed{\text{(d)}}$ になる。

次に，電極1，2に交流電圧をかけることを考える。粒子がそれぞれの領域内で半円を描く運動をする時間は $\boxed{\text{(e)}}$ となる。図2―3のように，粒子が電極の間の隙間を通過するときにいつも電位 $+V$ の領域から電位 $-V$ の領域に移動するように交流電圧の周期を調整すれば，領域を移動するときには粒子は常にエネルギーを得ることになる。したがって，交流電圧の周期を $\boxed{\text{(f)}}$ にすると，粒子は常に加速される。このとき，先ほどと同様に質量 m，電荷 q $(q > 0)$の粒子を初速度の大きさ u_0 で領域1に垂直に入射すると，n 回目に領域2に入った時の粒子の運動エネルギーは $\boxed{\text{(g)}}$ となる。したがって，領域を移動するたびに粒子の運動エネルギーを増大させ，最終的にエネルギーの大きな粒子を作り出すことが可能になる。このような原理で粒子を加速する加速器を「サイクロトロン」と呼び，原子核実験や放射線医療に広く利用されている。

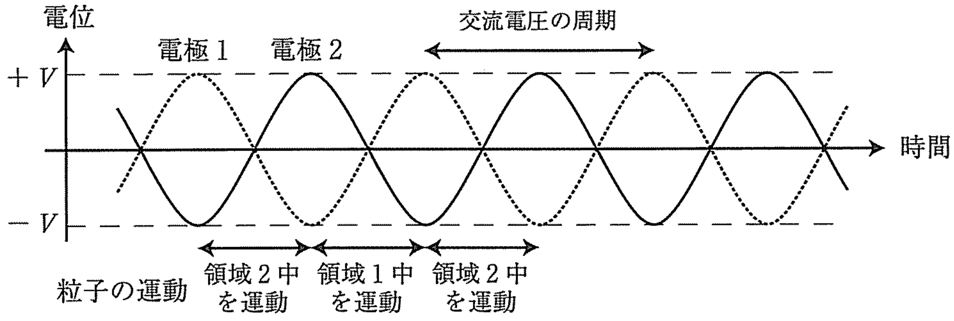


図2―3

(18)，(19)の解答群

① 大きくなる　② 小さくなる

③ 変わらない　④ 場合によって大きくなったり小さくなったりする

<余　　　白>

＜余　　　白＞

＜余　　　白＞

3 以下の文章を読み，空欄(1)〜(12)にあてはまるもっとも適切な式または語句を解**答用紙(その3)**の解答欄に記入せよ。なお，同じ番号の空欄には同じ式または語句があてはまる。また，問1に答えよ。

x 軸上を x 軸の正の向きに一定の速さ v で進む正弦波の時刻 t，位置 x における変位 $y_1(x, t)$ を求めてみよう。時刻 $t=0$ で，この波は図3—1に太い実線で示すような波形になっており，変位 $y_1(x,\ 0)$ は $y_1(x,\ 0)=A\sin kx$ とあらわされるものとする。ここで $A(>0)$ は正弦波の振幅，k はある正の定数である。このとき，時刻 $t(>0)$ における波形は，図3—1に太い破線で示すように，時刻 $t=0$ での波形を $\boxed{\ (1)\ }$ だけ x 軸の正の方向に平行移動したものになっているので，その変位 $y_1(x, t)$ は，$y_1(x, t)=$ $\boxed{\ (2)\ }$ とあらわされる。

同様に，x 軸上を x 軸の負の向きに一定の速さ v で進む正弦波について考えよう。時刻 $t=0$ における変位が $y_2(x,\ 0)=A\sin kx$ とあらわされるとき，時刻 $t(>0)$ における変位 $y_2(x, t)$ は，$y_2(x, t)=$ $\boxed{\ (3)\ }$ と与えられる。ここで，定数 k を波長 λ を用いて表すと $k=$ $\boxed{\ (4)\ }$ となる。また，これらの波の振動数 f を v と λ を用いて表すと $f=$ $\boxed{\ (5)\ }$ となる。

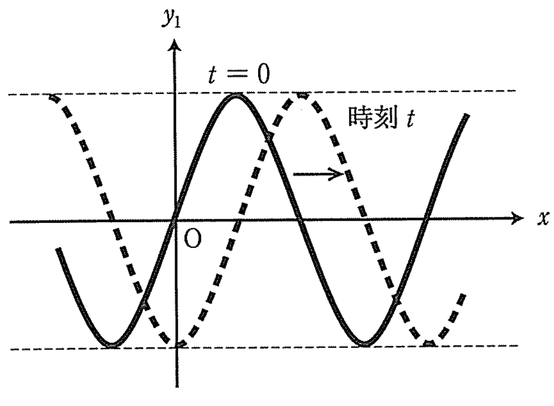


図3—1

次に，正弦波が x 軸の負の領域を正の方向に進み，原点 O$(x=0)$ で固定端反射される場合を考える。

問 1. 入射波の波形が図３—２のように与えられるときを考える。固定端反射であることに注意して，反射波の波形を**解答用紙(その３)**の図３—３に実線で描け。ただし，図３—３には参考のために図３—２と同じ入射波の波形が薄い線で描いてある。なお，作図のために用いた補助線を点線で書き残しておいても構わない。

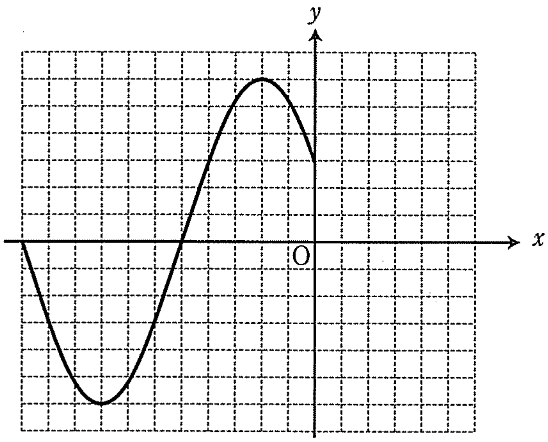


図３—２

この入射波と反射波の重ね合わせの結果できる合成波は左右どちらにも進まない。このような波を $\boxed{\quad(6)\quad}$ という。このとき，変位がゼロとなる部分を $\boxed{\quad(7)\quad}$ と呼ぶが，その x 座標の値はゼロ以上の整数 m（$=0, 1, 2, \cdots$）と正弦波の波長 λ を用いて $x = \boxed{\quad(8)\quad}$ と与えられる。

入射波の変位が $x \leqq 0$ の領域で $y_1(x, t) = \boxed{\quad(2)\quad}$ とあらわされる場合を考える。その反射波の変位を $y_3(x, t)$ とあらわす。このとき，合成波の変位を $y_4(x, t)$ と書くと，$y_4(x, t) = y_1(x, t) + y_3(x, t)$ である。$x = 0$ での合成波の変位は，固定端であることから $y_4(0, t) = \boxed{\quad(9)\quad}$ となり，したがって $y_3(0, t) = \boxed{\quad(10)\quad}$ でなければならない。(10)の結果と，反射波が x 軸負の方向に進むことから，$y_3(x, t) = \boxed{\quad(11)\quad}$ となる。すると，合成波の変位 $y_4(x, t)$ は x のみの関数と t のみの関数の積の形であらわすことができ，$y_4(x, t) = \boxed{\quad(12)\quad}$ となる。

ここであらわれたxのみの関数が0となる場所では，合成波の変位はtによらず0となる。したがってこの場所は $\boxed{\quad(7)\quad}$ となる。

＜余　　　白＞

＜余　　　　白＞

＜余　　　白＞