

物理練習問題　～波動編～

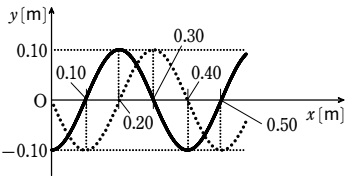
1波の要素

振動数 2.0 Hz、波長 1.4 m の波の周期 T は何秒か。波の進む速さ v は何 m/s か。

2波の要素

図のように、横波が x 軸の正の向きに進んでいる。図の実線の波は時刻 $t=0$ s における波形で、 $t=0.10$ s のときに初めて破線の形になった。

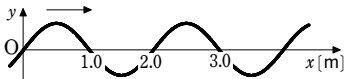
- (1) この波の波長 λ は何 m か。
- (2) 波の速さ v は何 m/s か。
- (3) 原点の媒質は、 $t=0$ s～0.10 s の間に、どちら向きに何 m 動くか。



3波形の移動

図は x 軸上を正の向きに進む正弦波のある時刻における波形である。この波の周期は 0.80 秒である。

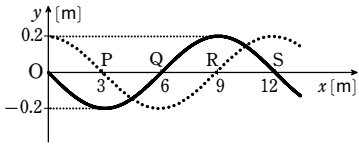
- (1) この波の速さ v [m/s] を求めよ。
- (2) この時刻から 0.80 秒後の波形はどのようなになるか。また、1.2 秒後、1.4 秒後の波形はどうか。それぞれの波形をかけ。



4波の要素

図は、 x 軸の正の向きに伝わる正弦波を示している。実線は時刻 $t=0$ s、破線は時刻 $t=1.5$ s の波形を示す。ただし、この間に $x=0$ m での媒質の変位 y [m] は単調に 0 m から 0.2 m に変化している。

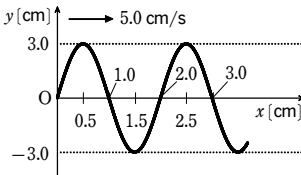
- (1) この正弦波の波長 λ [m]、振幅 A [m]、周期 T [s]、波の速さ v [m/s] を求めよ。
- (2) $t=0$ s のとき、振動の速度が 0 m/s の媒質の位置は O～S のうちのどこか。
- (3) $t=0$ s のとき、 y 軸の正の向きの速度が最大の位置は O～S のうちのどこか。



5y-x 図と y-t 図

図は x 軸上を正の向きに 5.0 cm/s の速さで進む正弦波の時刻 $t=0$ s での波形である。

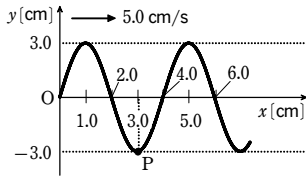
- (1) 原点 O での媒質の、変位の時間変化のようすをグラフにかけ。
- (2) この波が x 軸の負の向きに 5.0 cm/s の速さで進んでいたとすると、原点 O での媒質の、変位の時間変化のようすのグラフはどうか。



6y-x 図と y-t 図

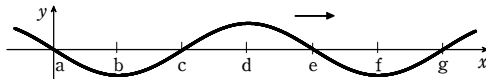
図は x 軸上を正の向きに 5.0 cm/s の速さで進む正弦波の時刻 $t=0$ s での波形である。(1) $t=0.20$ s での波形をかけ。

(2) $x=3.0$ cm の位置の媒質 P について、変位の時間変化のようす ($y-t$ 図) をグラフにかけ。



7縦波

図は x 軸上を正の向きに進む縦波のある時刻における変位を横波的な表示方法で表したものである。縦波にもどして考えたとき、次のようになっている媒質の点はどこか。



- (1) 最も密な点
- (2) 最も疎な点
- (3) 媒質の速度が 0 の点
- (4) 媒質の速度が右向きに最大の点

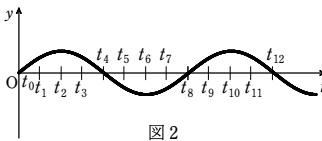
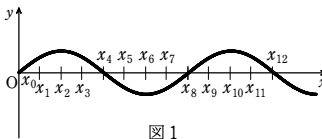
問 図が、 x 軸上を負の向きに進む縦波であった場合、(1)～(4)の結果はそれぞれどうなるか。

8縦波

ある媒質中を縦波(疎密波)が進んでいる。その進む向きを x 軸の正の向きとする。

図 1 はある瞬間の媒質の変位と位置の関係を示し、図 2 はある位置での媒質の変位と時間の関係を示したものである。図 2 において、媒質の密度が最大になるのはどの時刻か。その時刻をすべてあげよ。

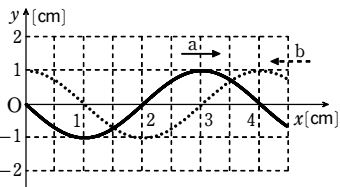
まず、 y 軸方向に表された変位を、 x 軸方向にかき直し、媒質の密度が最大になる位置を求める。



9定常波

x 軸上を要素の等しい 2 つの正弦波 a、b が、互いに逆向きに進んで重なりあい、定常波が生じている。図には、波 a、波 b が単独で存在したときの、時刻 $t=0$ s における波 a (実線) と波 b (破線) が示してある。波の速さは 2.0 cm/s である。

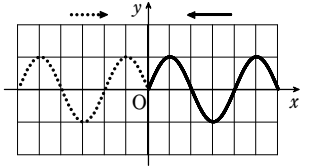
- (1) 図の瞬間 ($t=0$ s) の合成波の波形をかけ。



- (2) 定常波の腹の位置 x を $0 \leq x \leq 4.0$ (cm) の範囲ですべて求めよ。
- (3) $t=0$ s の後、腹の位置の変位の大きさが最大になる最初の時刻を求めよ。

10定常波

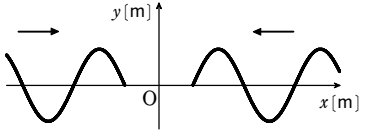
互いに逆向きに進む周期 T の 2 つの正弦波がある。この 2 つの正弦波が時刻 $t=0$ で、図に示すように $x=0$ で重なり始めるとする。図中の矢印は波の進む向きを示す。時刻 $t=\frac{T}{4}$ 、 $\frac{T}{2}$ 、 $\frac{3T}{4}$ 、 T における合成波形をそれぞれ、図の x の範囲で示し、合成波の節の位置を $t=T$ の図の x 軸上に ○ 印で示せ。



11定常波

振幅 0.020 m、振動数 250 Hz、波長 0.12 m の 2 つの正弦波が一直線上を互いに逆向きに進み、重なりあって定常波ができた。

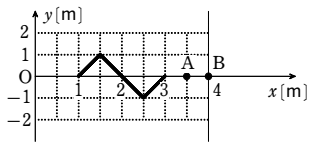
- (1) 腹の位置での振動について、振動数 f [Hz] と振幅 A [m] を求めよ。
- (2) 節と節の間隔 d は何 m か。



12パルス波の反射

パルス波が原点 O で発生し、 x 軸上を速さ 1 m/s で右向きに進む。図はパルス波発生から 3 秒後の波形である。B 地点 ($x=4$ m) は固定端である。

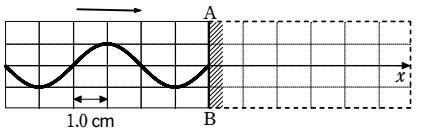
- (1) パルス波発生から 5 秒後の A 地点 ($x=3.5$ m) の変位を求めよ。
- (2) パルス波発生から 6 秒後の波形をかけ。



13正弦波の反射

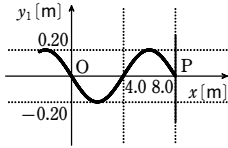
正弦波が x 軸上を正の向きに進み、媒質の端 AB で反射する。この波は 1 秒間に 1.0 cm 進み、 $t=0$ s では、先端が端 AB に到達した状態になっている。

- (1) 端 AB が自由端であるとき、 $t=4.0$ s での入射波・反射波・合成波をかけ。
- (2) 端 AB が固定端であるとき、 $t=4.0$ s での入射波・反射波・合成波をかけ。



14 正弦波の反射

x 軸の正の向きに進む正弦波が $x=8.0$ m にある点 P で反射している。図 はある時刻における入射波 y_1 を示す。波の速さを 2.0 m/s として、以下の問いに答えよ。



- (1) 点 P が自由端である場合、図の時刻より 1.0 秒後の入射波、反射波、入射波と反射波の合成波の、点 P における変位はそれぞれ何 m か。
- (2) 点 P が固定端である場合、OP 間に節は何個あるか。ただし、点 O、P も含むものとする。
- (3) 点 P が固定端である場合、OP 間にできる定常波の腹の振幅は何 m か。また、節と腹の中点における振動の振幅は何 m か。 $\sqrt{2}=1.4$ とする。

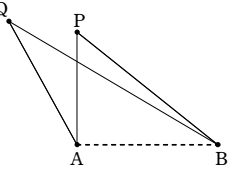
ヒント (1) 自由端である点 P では、(入射波の変位)=(反射波の変位)

- (3) OP 間にできる定常波の腹の振幅は、入射波の振幅の 2 倍である。

15 水面波の干渉

水面上の 2 点 A、B から波長 2.0 cm、振幅 0.30 cm の同位相の波が出ている。次の点 P、Q はどのような振動をするか。波の減衰は無視する。

- (1) A から 3.0 cm、B から 5.0 cm の点 P
- (2) A から 4.0 cm、B から 7.0 cm の点 Q

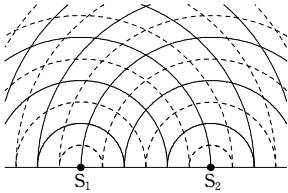


問 2 点 A、B から逆位相の波が出ているとすると、点 P、Q はどのような振動をするか。

16 水面波の干渉

6.0 cm 離れた水面上の 2 点 S_1 、 S_2 から、振幅の等しい波長 2.0 cm の同位相の波が出ている。図の実線は山、破線は谷の波面を表している。波の減衰は無視する。

- (1) 図中に、 2 つの波が弱めあっている点を連ねた線(節線という)をかけ。
- (2) 線分 S_1S_2 と交わる節線は何本あるか。

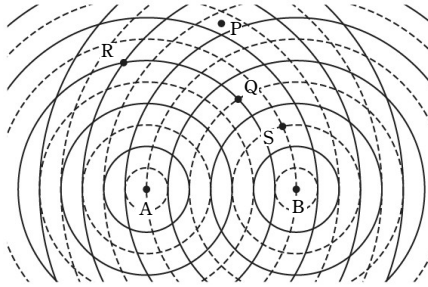


17 水面波の干渉

図のように、水面上で 7.0 cm 離れた 2 点 A、B が同位相で振動して波長が 2.0 cm の波を出している。

図の実線はこれらの波のある瞬間での山を、破線は谷を表している。水面波の減衰は考えない。

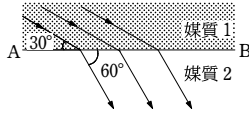
- (1) 線分 AB の垂直 2 等分線上の点 P は、どのような振動をするか。
- (2) 点 Q はどのような振動をするか。



- (3) 点 R はどのような振動をするか。
- (4) 点 S は山か谷のどちらか。また、その山あるいは谷は、 2 周期後どこまで移動するか。移動の軌跡を図に太い線で示せ。
- (5) 一般に、A、B からの距離差が 5.0 cm の点は、どのような振動をするか。また、それらの点を連ねた曲線を図に示せ。
- (6) 線分 AB 上にできる定常波の腹はいくつあるか。また、これらの腹の位置の、点 A からの距離を求めよ。

18 波の屈折

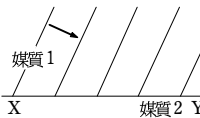
媒質 1 から媒質 2 へ平面波が入射し、境界面 AB で屈折する。図の矢印は平面波の進む向きを表している。媒質 1 の中での平面波の振動数を 10 Hz、波長を 3.4 cm、 $\sqrt{3}=1.7$ とする。



- (1) 入射角 i を求めよ。
- (2) 屈折角 r を求めよ。
- (3) 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n を求めよ。
- (4) 媒質 2 の中での平面波の振動数 f_2 [Hz] を求めよ。
- (5) 媒質 2 の中での平面波の波長 λ_2 [cm] を求めよ。

19 波の屈折

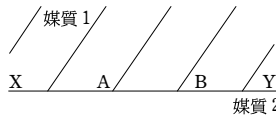
媒質 1 の中を矢印の向きに進んできた平面波が境界面 XY に入射し、屈折して媒質 2 へ進む。図はある瞬間の入射波の山の波面を示す。入射波の波長は 3.0 cm、振動数は 8.0 Hz、媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率は 2.0 とする。



- (1) (a) 媒質 1 の中での波の速さ v_1 は何 cm/s か。
- (b) 媒質 2 の中を進む波の波長 λ_2 は何 cm か。
- (2) 図の時刻における屈折波の波面(山を連ねた線)を作図せよ。

20 波の屈折

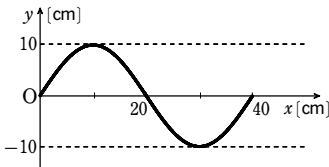
平面波が媒質 1 から媒質 2 へ進んでいる。XY は境界を表し、斜めの線はある瞬間の入射波の山の波面を表している。媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率は 2.0 とする。



- (1) 図の時刻に点 B にある山は、 1 周期前にはどの点(C とする)にあったか。
- (2) 図の時刻に点 A にある山は、 1 周期後にはどの点(D とする)に達するか。
- (3) 図の時刻における屈折波の波面を作図せよ。

21 波の伝わり方と媒質の振動

ある媒質中で、原点 O にある媒質が y 軸方向に振動を始め、この振動が正弦波となって x 軸の正の向きに伝わっている。図は、波源が振動を始めてから 10 秒経過したときの波形である。



- (1) この波の振幅 A [cm]、波長 λ [cm]、周期 T [s]、速さ v [cm/s] を

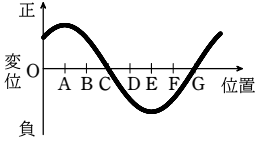
求めよ。

- (2) 波源が振動を始めた直後の変位の向きは、 y 軸のどちら向きか。
- (3) $x=20$ cm での媒質の変位が、図の瞬間から最初に最大になるまでの時間 t は何秒か。
- (4) 図において、媒質の速度が y 軸の負の向きである x 座標の範囲をすべてあげよ。
- (5) 図の瞬間から 25 秒後の波形を、 $0 \leq x \leq 40$ (cm) の範囲で示せ。

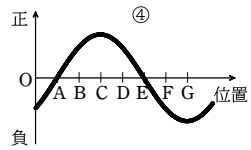
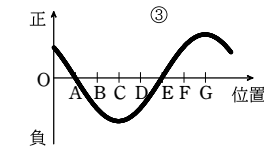
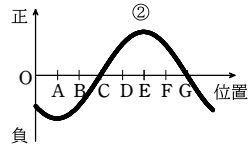
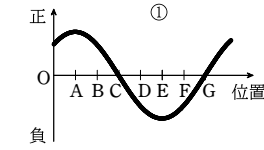
ヒント 1 周期の間に、媒質は 1 回振動し、波形は 1 波長進む。

22 縦波

右の図は、左から右へ進行する縦波によって生じるある時刻の媒質の変位の様子を、右向きの変位を正として示したものである。次の文中の に入れるのに最も適するものを答えよ。



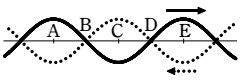
- (1) この縦波の振動数を f 、AE 間の距離を l とすれば、波の進む速さは ア である。
- (2) 媒質の振動の速度が右向きをときを正、左向きをときを負とする。A～G のうちで、媒質の速度が 0 の所は イ と ウ である。また、媒質の密度が最大の所は エ であり、最小の所は オ である。
- (3) 媒質の速度のようすは下の図の カ である。また、媒質が密な所を正、疎な所を負とすれば、媒質の疎密のようすは キ で示される。



ヒント 振動する媒質の速さは振動中心で最大、振動の両端で 0 である。

23 定常波

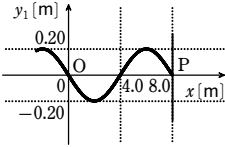
図のように、振幅、振動数、波長の等しい波が反対の向きから進んできて重なった。重なってできる定常波の腹および節の位置はどこか。記号で答えよ。



ヒント それぞれの波形を $1/4$ 波長ずつ進めて考えるとよい。

24 正弦波の反射

x 軸の正の向きに進む正弦波が $x=8.0\text{ m}$ にある点 P で反射している。図はある時刻における入射波 y_1 を示す。波の速さを 2.0 m/s として、以下の問に答えよ。

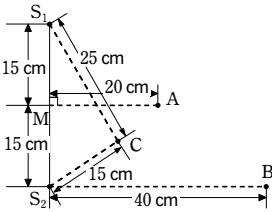


- (1) 点 P が自由端である場合、図の時刻より 1.0 秒後の入射波、反射波、入射波と反射波の合成波の、点 P における変位はそれぞれ何 m か。
- (2) 点 P が固定端である場合、OP 間に節は何個あるか。ただし、点 O、P も含むものとする。

ヒント (1) 自由端である点 P では、(入射波の変位)=(反射波の変位)

25 水面波の干渉

水面上に 2 つの波源 S_1 、 S_2 が 30 cm 離れて置かれており、振動数 5.0 Hz で同位相で振動し、波長 10 cm の同心円状の波を発生している (M は線分 S_1S_2 の中点)。

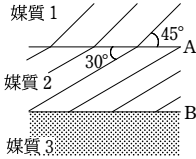


- (1) 波源 S_1 から出た波が点 A に到達するのに要する時間 t は何秒か。
- (2) 2 つの波は点 A で強めあうか、それとも弱めあうか。また、点 B ではどうか。
- (3) 波源 S_1 、 S_2 において波の山が発生している瞬間に、点 C で観測される波は山か、それとも谷か。
- (4) 点 C で観測された波は 0.30 秒後に水面上のある点に移動する。波源 S_1 、 S_2 からその点までの距離はそれぞれいくらか。

ヒント (4) 点 C を通る 2 つの波面がどのように変化するかを考える。

26 波の屈折

図のように、媒質 1 と媒質 2 が境界面 A で、また媒質 2 と媒質 3 が境界面 B で接している。媒質 1 から入射した平面波の一部が、境界面 A で屈折して媒質 2 へ入っていく。図中の平行線は波の波面を表している。媒質 1 における入射波の波長は 1.4 cm 、振動数は 50 Hz である。 $\sqrt{2}=1.4$ として計算せよ。

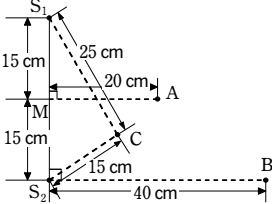


- (1) 媒質 1 の中で波の速さ v_1 は何 cm/s か。
- (2) 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n_{12} はいくらか。
- (3) 媒質 2 の中で波の波長 λ_2 は何 cm か。
- (4) 媒質 2 の中で波の振動数 f_2 は何 Hz か。
- (5) 媒質 1 に対する媒質 3 の屈折率 n_{13} を 0.70 として、媒質 2 に対する媒質 3 の屈折率 n_{23} はいくらか。

ヒント (5) $n_{13}=\frac{\lambda_1}{\lambda_3}=0.70$ を用いて、 $n_{23}=\frac{\lambda_2}{\lambda_3}$ を計算する。

27 水面波の干渉

水面上に 2 つの波源 S_1 、 S_2 が 30 cm 離れて置かれており、振動数 5.0 Hz で同位相で振動し、波長 10 cm の同心円状の波を発生している (M は線分 S_1S_2 の中点)。



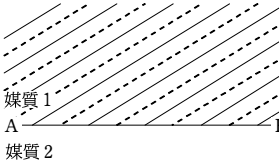
- (1) 波源 S_1 から出た波が点 A に到達するのに要する時間 t は何秒か。
- (2) 2 つの波は点 A で強めあうか、それとも弱めあうか。また、点 B ではどうか。
- (3) 波源 S_1 、 S_2 において波の山が発生している瞬間に、点 C で観測される波は山か、それとも谷か。
- (4) 点 C で観測された波は 0.30 秒後に水面上のある点に移動する。波源 S_1 、 S_2 からその点までの距離はそれぞれいくらか。
- (5) 線分 S_1S_2 間にできる節の数はいくらか。
- (6) 線分 S_2B 間に振動しない点が何か所できるか。

ヒント (4) 点 C を通る 2 つの波面がどのように変化するかを考える。

- (5) 線分 S_1S_2 上の節の位置を点 P とし、 $S_1P=x$ として S_1 、 S_2 からの距離の差を求める。
- (6) 線分 S_2B と交わる節線の数を求める。(2)、(5) の結果を利用して考える。

28 平面波の屈折と反射

図は 2 つの媒質の境界平面 AB に入射している平面波のある時刻でのようすを示している。平面 AB は紙面に垂直、平面波の入射角は 30° であり、実線は波の山の位置を、破線は谷の位置を表している。



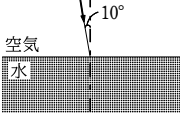
媒質 1 における波の速さを $v\text{ [m/s]}$ として、媒質 2 における波の速さは $\sqrt{2}v$ である。

- (1) 媒質 2 へ屈折した波について屈折角を求め、屈折波の山の位置を実線で図に示せ。
- (2) 図に、この入射波がかかっている時刻における反射波のようすを、波の山の位置を実線で、谷の位置を破線で示せ。なお、波は境界面 AB での反射の際に、位相は変わらない。
- (3) 入射波と反射波が干渉して最も強めあっている位置のうち適当に 1 か所を選んで図に○印をつけ、この位置は時間とともにどの方向にどれだけの速さで動くかを答えよ。
- (4) 入射波と反射波が干渉して振動しない節線ができる。節線のようすを図に太い実線で示し、節線間の距離を入射波の波長 $\lambda\text{ [m]}$ で表せ。

ヒント (1) 屈折の法則を用いる (v 、 $\sqrt{2}v$ で表す)。
(4) 節の軌跡をつないだ線が節線となる。

29 音の屈折

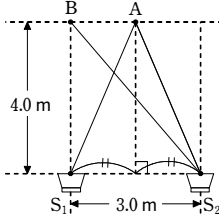
空気中の音の速さを $3.4\times 10^2\text{ m/s}$ 、水中の音の速さを $1.4\times 10^3\text{ m/s}$ とする。空気中から水面に向けて音波を送ると、音波は水中へ屈折して進む。



- (1) 音波が水面に斜めに入射して進むとき、入射角と屈折角ではいずれが大きいか。
- (2) 入射角が 10° のとき、屈折角の $\sin$ の値を求めよ。 $\sin 10^\circ=0.17$ とする。

30 音の干渉

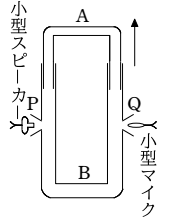
図のように 2 つのスピーカー S_1 と S_2 から等しい音が出ている。この音の振動数は $1.7\times 10^2\text{ Hz}$ であり、音の速さは $3.4\times 10^2\text{ m/s}$ である。



- (1) この音の波長 $\lambda\text{ [m]}$ を求めよ。
- (2) 点 A は音が強めあう点か、弱めあう点か。
- (3) 点 B は音が強めあう点か、弱めあう点か。

31 音の干渉

右の図の装置はクインケ管といい、P から送りこんだ音が PAQ と PBQ の 2 経路に分かれて伝わり、Q で干渉する。この装置で PAQ と PBQ の長さが等しい状態から、PAQ の部分をしないで引き出したところ、 0.10 m 引き出したときに初めて干渉によって音が聞こえなくなった。



音の速さは $3.4\times 10^2\text{ m/s}$ とする。

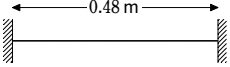
- (1) 小型スピーカーから出る音の波長 $\lambda\text{ [m]}$ と振動数 $f\text{ [Hz]}$ を求めよ。
- (2) 1 オクターブ高い音 (振動数が 2 倍の音) を P から送りこんで同様の実験をする。PAQ を何 m 引き出すと、初めて音が聞こえなくなるか。

32 うなり

調律中のある弦楽器の一本の弦をはじいて出る音と、振動数 440 Hz の標準おんさを同時に鳴らしたところ毎秒 2 回のうなりが聞こえた。また、低周波発振器につながられたスピーカーからの振動数が 445 Hz の音と弦の間では、毎秒 3 回のうなりが聞こえた。弦の音の振動数 $f\text{ [Hz]}$ を求めよ。

33 弦の振動

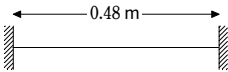
長さが 0.48 m の弦が、基本振動、2 倍振動、3 倍振動するときの弦のようすをかき、それぞれの波長 λ_1 、 λ_2 、 $\lambda_3\text{ [m]}$ を求めよ。また、弦を伝わる波の速さを 96 m/s とするとき、それぞれの場合の固有振動数 f_1 、 f_2 、 $f_3\text{ [Hz]}$ を求めよ。



物理練習問題　～波動編～

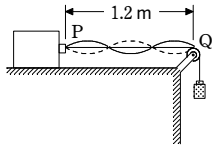
34弦の振動

長さが0.48 mの弦が、基本振動、2倍振動、3倍振動するときの弦のようすをかき、それぞれの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 [m]を求めよ。



35弦の振動

弦の一端を振動子 P につなぎ、他端は滑車 Q を経ておもりにつなぎ、PQ の部分を水平に張った。振動子の振動数を 1.2×10^2 Hz にして、PQ の長さを1.2 mにすると、図のように弦に3個の腹をもつ定常波が生じた。



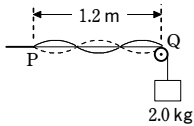
- (1) 弦を伝わる波の波長 λ [m]を求めよ。
- (2) 弦を伝わる波の速さ v [m/s]を求めよ。
- (3) PQ の長さとおもりは変えないで、振動子の振動数を変えたところ、4個の腹をもつ定常波に変化した。このときの振動子の振動数 f [Hz]を求めよ。

36弦の振動

両端を固定した長さ25.0 cmの弦が基本振動している。聞こえている音の波長は1.00 mである。空気中の音の速さ V を340 m/sとすると、弦を伝わる波の速さ v は何m/sか。

37弦の振動

図のように、振動子 P に線密度 4.9×10^{-4} kg/mの弦を取りつけ、滑車 Q を通じて質量2.0 kgのおもりをつるしたところ、弦には3個の腹をもつ定常波が生じた。なお、P、Q の位置では節ができるものとし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。また、弦を伝わる波の速さ v [m/s]

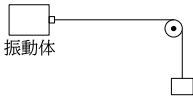


は、張力の大きさを S [N]、線密度を ρ [kg/m]とすると、 $v = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$ と表されるものとする。

- (1) 弦を伝わる波の波長 λ [m]を求めよ。
- (2) 弦を伝わる波の速さ v [m/s]を求めよ。
- (3) このときの振動子 P の振動数 f [Hz]を求めよ。
- (4) 4個の腹をもつ定常波をつくるには、おもりの質量を初めの何倍にすればよいか。

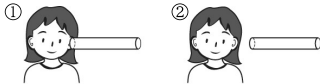
38弦を伝わる波の速さ

長さ1.0 m、全質量1.0 gの伸びない弦が、質量2.0 kgのおもりをつるすことによって張られている。この弦を伝わる波の速さ v は何m/sか。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。



39閉管と開管

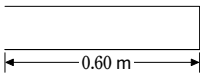
騒がしい街中で、図のようにガラス管を通して、街中のさまざまな音を聞いた。このとき、ガラス管を耳にしっかりつけて聞く場合(①)と、耳から少し離して聞く場合(②)では、



聞こえる音の高さが違った。低く聞こえるのは、①と②のどちらの場合か。

40気柱の振動

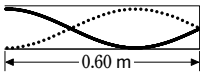
長さが0.60 mの閉管内の気柱がある振動数の音で共鳴した。このとき、管の底以外に定常波の節が1か所あった。音の速さを 3.4×10^2 m/sとし、開口端補正は無視する。



- (1) 閉管内にできる定常波のようすを図せよ。
- (2) 気柱内の音波の波長 λ は何mか。
- (3) 気柱内の音波の振動数 f は何Hzか。

41気柱の振動

長さが0.60 mの閉管内の気柱が3倍振動している。音の速さを 3.4×10^2 m/sとし、開口端補正は無視する。



- (1) 気柱内の音波の波長 λ は何mか。
- (2) 気柱内の音波の振動数 f は何Hzか。

42気柱の振動

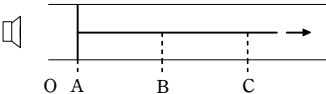
両端が開いた管を使って気柱の共鳴実験をしたところ、ある振動数の音で共鳴した。そのとき定常波の節は4か所あり、節と節の間隔が17 cmであった。音の速さを 3.4×10^2 m/sとし、開口端補正は無視する。



- (1) 共鳴した音波の波長 λ は何cmか。
- (2) 共鳴した音波の振動数 f は何Hzか。
- (3) この気柱の基本振動数 f_1 は何Hzか。

43気柱の振動

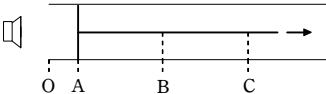
図のように、長いガラス管の中に柄のついたピストンをはめこんでこれを閉管とし、発振器に接続したスピーカーを管口 O に置いて、振動数 $f = 600$ Hzの音を出す。ピストンを管口から矢印の向きにゆっくり移動していくと、OA = 13.0 cmの位置 A、OB = 41.0 cmの位置 B で気柱が共鳴した。開口端補正(管口のすぐ外側の腹の位置までの管口からの距離)は常に一定とする。



- (1) この音の波長 λ は何cmか。また、開口端補正 Δl は何cmか。
- (2) このときの音の速さ V は何m/sか。
- (3) 位置 B の次に位置 C でも共鳴することがわかった。OC の長さは何cmか。
- (4) ピストンを位置 B に固定して、スピーカーから出る音の振動数を徐々に上げていくとき、次に共鳴が起こる振動数 f' は何Hzか。
- (5) (4)の次に、閉管を冷やしたら共鳴しなくなった。再び共鳴させるためには気柱の長さをどうすればよいか。「少し長くする」、「少し短くする」のどちらかで答えよ。

44気柱の振動

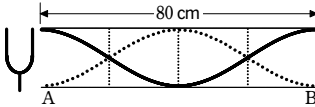
図のように、長いガラス管の中に柄のついたピストンをはめこんでこれを閉管とし、発振器に接続したスピーカーを管口 O に置いて、振動数 $f = 600$ Hzの音を出す。ピストンを管口から矢印の向きにゆっくり移動していくと、OA = 13.0 cmの位置 A、OB = 41.0 cmの位置 B で気柱が共鳴した。開口端補正(管口のすぐ外側の腹の位置までの管口からの距離)は常に一定とする。



- (1) この音の波長 λ は何cmか。また、開口端補正 Δl は何cmか。
- (2) このときの音の速さ V は何m/sか。
- (3) 位置 B の次に位置 C でも共鳴することがわかった。OC の長さは何cmか。
- (4) ピストンを位置 B に固定して、スピーカーから出る音の振動数を徐々に上げていくとき、次に共鳴が起こる振動数 f' は何Hzか。

45気柱の密度の変化

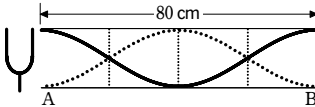
図は開管の気柱が共鳴しているときの、空気の変位のようすを表している。管の両端を A、B とする。ただし、図の波形は、管の長さの方向右向き(媒質(空気)の変位を上向きの変位として表している。また、開口端補正は無視する。



- (1) 音波が反射しているのはどこか。
- (2) 変位が実線で表される時刻で、密度が最大の位置は、A から何cmか。
- (3) 変位が破線で表される時刻で、密度が最小の位置は、A から何cmか。
- (4) 空気の密度が最も大きく変化する点は、腹と節のどちらか。
- (5) 空気の圧力が最も大きく変化する点は、腹と節のどちらか。

46気柱の密度の変化

図は開管の気柱が共鳴しているときの、空気の変位のようすを表している。管の両端を A、B とする。ただし、図の波形は、管の長さの方向右向き(媒質(空気)の変位を上向きの変位として表している。また、開口端補正は無視する。



- (1) 音波が反射しているのはどこか。
- (2) 変位が実線で表される時刻で、密度が最大の位置は、A から何cmか。
- (3) 変位が破線で表される時刻で、密度が最小の位置は、A から何cmか。
- (4) 空気の密度が最も大きく変化する点は、腹と節のどちらか。

物理練習問題 ～波動編～

47) 気柱の振動と温度変化

図は閉管の気柱の基本振動を表している。気温が $t[^\circ\text{C}]$ のとき、図に示した定常波の波長は $\lambda[\text{m}]$ 、振動数は $f[\text{Hz}]$ であった。



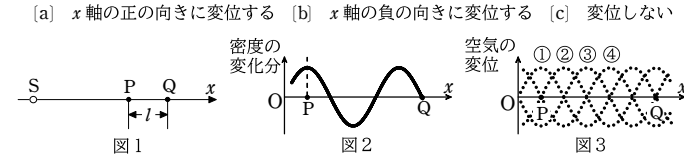
気温が $t' [^\circ\text{C}]$ に上昇したとき、図に示した定常波の波長 $\lambda' [\text{m}]$ 、および振動数 $f' [\text{Hz}]$ はそれぞれどのようなになるか。 $t [^\circ\text{C}]$ のときの値と比較し、大小関係の記号 ($>$, $=$, $<$) を用いて示せ。ただし、気温の上昇による管の変形、および開口端補正は無視できるものとする。

48) 音波と空気密度

次の文中の に入る適切な語句または式を答えよ。

図 1 のように、空気中に振動数 $f[\text{Hz}]$ の音源が x 軸上の点 S にある。また、点 P と Q が $l[\text{m}]$ 離れて x 軸上にある。点 S から発生した音波は、空気密度を変化させながら x 軸の正の向きへ進む。このような波を 波という。

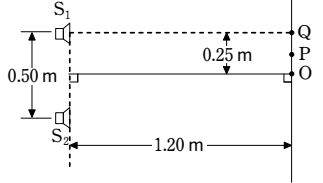
いま、時刻 $t[\text{s}]$ における点 P 、 Q の近くの空気の密度の変化分が図 2 のようになった。音の速さを $V[\text{m/s}]$ とすると、波長 $\lambda[\text{m}]$ と振動数 $f[\text{Hz}]$ は、 l と V を用いて、それぞれ $\lambda = \text{イ}$ 、 $f = \text{ウ}$ と書ける。ここで、周期を $T[\text{s}]$ とすると、時刻 $t + \frac{T}{2}[\text{s}]$ における点 P 、 Q の近くにおける空気の変位 (x 軸の正の向きの変位を正とする) を表す図として正しいのは、図 3 の①～④のうち、エである。また、時刻 $t + \frac{T}{2}[\text{s}]$ からわずかな時間の後、点 P における空気は オ (ただし、オは次の選択肢 [a]～[c] のうちから正しいものを選ぶ)。



ヒント 図 2 より、時刻 t では点 P は密部になっている。時刻 t での波形をかいて考える。

49) 音の干渉

図のように、 0.50 m 離れて置いた 2 つの音源 S_1 、 S_2 から振動数、振幅、位相が同じ正弦波の音波が発せられている。 S_1 、 S_2 から等距離の点 O では音が最も大きく聞こえた。その後、 S_1S_2 に対して平行に進むとしたいに音の大きさが小さくなり、点 P で初めて極小となった。さらに点 O から離れていくと今度ははだいに音が大きくなり、点 O から 0.25 m 離れた点 Q で音の大きさは再び極大となった。音の速さを $3.4 \times 10^2\text{ m/s}$ とする。



(1) S_1Q と S_2Q の距離の差を考えることにより、この音の波長 $\lambda[\text{m}]$ 、および振動数 $f[\text{Hz}]$ を求めよ。

(2) S_1Q 間で、音が極小になる所は何か所あるか。

(3) 音源 S_1 の位相を音源 S_2 の位相と逆にして同様の実験をするとどうなるか。最も適

当なものを、次の①～④のうちから 1 つ選べ。

① 音の大きさは、点 O 、 Q で極大になり、点 P では極小になる。

② 音の大きさは、点 O 、 Q で極小になり、点 P では極大になる。

③ OQ 間どこでも音はよく聞こえる。

④ OQ 間どこでも音はほとんど聞こえない。

(4) 音源 S_2 を音源 S_1 とは少し異なる振動数で鳴らしたときの音の聞こえ方はどうなるか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから 1 つ選べ。

① 点 O と点 Q では低い音が聞こえ、点 P では高い音が聞こえる。

② 点 O と点 Q では高い音が聞こえ、点 P では低い音が聞こえる。

③ 点 P ではうなりが聞こえ、点 O と点 Q ではうなりが聞こえない。

④ 点 O と点 Q ではうなりが聞こえ、点 P ではうなりが聞こえない。

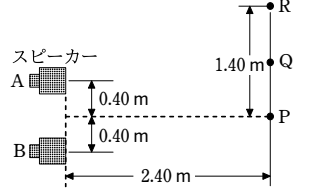
⑤ OQ 間どこでもうなりが聞こえる。

ヒント (1) S_2Q の距離は三平方の定理より求める。

(3) 互いに逆位相の 2 つの音源からの音の干渉条件は、同位相の場合と逆になる。

50) 音の干渉

図のように 2 点 A 、 B の小さなスピーカークから、同じ正弦波の音を出し、マイクロフォンを接続したオシロスコープで音の波形を観察した。マイクロフォンを点 P に置いたとき、オシロスコープ上で波形は最大となった。マイクロフォンを点 P から AB に平行に移動させると、点 Q で初めて音の波形はほとんど観測されず、点 R で波形は極大になった。音の速さを $3.4 \times 10^2\text{ m/s}$ として次の問に答えよ。



(1) 点 Q は点 R よりもスピーカークに近いにもかかわらず、音の波形がほとんど観測できなかった理由は何か。

(2) スピーカークから出る音の振動数 $f[\text{Hz}]$ を求めよ。

(3) 点 B のスピーカークから出る音だけ振幅を 2 倍にした。点 Q ではどのような波形が観測されるか。

ヒント 振幅を 2 倍にすることは、もとの振幅の音を出すスピーカークが 2 台あることに等しい。

51) 弦の振動とうなり

両端が固定された長さ l の一様な弦とおんさがある。ただし、長さ l は変えることができ、弦の張力は一定に保たれている。また、弦から出る音は基本音とする。まず、 $l = 1.00\text{ m}$ にして弦をはじき、同時に振動数 200 Hz のおんさを鳴らしたら、弦から出た音とおんさから出た音が干渉して毎秒 8 回のうなりが生じた。

次に、 l を少し長くして弦をはじき、おんさを鳴らしたら、うなりが生じなかった。

(1) $l = 1.00\text{ m}$ のとき、弦から出た音の振動数 f_1 は何 Hz か。

(2) 弦を伝わる波の速さ v は何 m/s か。

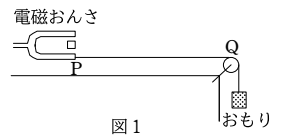
(3) うなりが生じなかったときの弦の長さ l は何 m か。

(4) 弦から出た音とおんさから出た音によって、毎秒 4 回のうなりを生じさせるためには、 l を何 m にすればよいか。

ヒント 弦を長くすると、基本振動の波長が長くなり、振動数が小さくなる。

52) 弦の振動

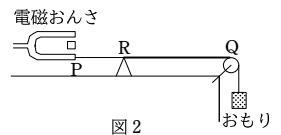
図 1 のように、弦の一端を電磁おんさに固定し、他端にはおもりをさげる。弦 PQ の長さは $3l$ であり、この状態で弦を伝わる波の速さを v とする。



(1) 弦 PQ が基本振動するとき、弦を伝わる波の波長 λ_1 を l を用いて表せ。

(2) 弦 PQ の基本振動の周期 T_1 を求めよ。

次に図 2 のように、太さの異なる 2 種の弦を結合した弦をはる。弦の長さは PR が l 、 RQ が $2l$ であり、弦を伝わる波の速さは、 PR 間が v 、 RQ 間はその半分である。



電磁おんさの振動数を適当に調節したら、 PR 間に定常波の腹が 2 つできた。

(3) 電磁おんさの振動数 f を求めよ。

(4) RQ 間の定常波の腹の数を求めよ。

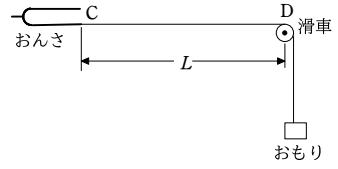
(5) 図 2 の状態で、電磁おんさの振動数を 0 から徐々に大きくしていくと、ある振動数 f_0 で初めて弦が共振する。

f_0 と、このときの PQ 間の定常波の腹の数を求めよ。

ヒント (3)～(5) 長さ、太さの異なる 2 種の弦を結んで振動させるとき、各弦を伝わる横波の速さは異なるが、弦の振動数は等しい (= 電磁おんさの振動数)。

53) 弦の振動

振動数 $5.0 \times 10^2\text{ Hz}$ のおんさの腕を水平にして、片方の腕の先端 C に、 1 m 当たりの質量 (線密度という) が $5.0 \times 10^{-4}\text{ kg/m}$ の弦を固定した。弦の他端には滑車 D を介しておもりをつるし、弦を水平に張った。



(1) 弦を伝わる波の速さ $v[\text{m/s}]$ は、張力を $S[\text{N}]$ 、線密度を $\rho[\text{kg/m}]$ とすると、 $v = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$ と表される。弦の張力を 80 N としたとき、弦を伝わる波の速さ v は何 m/s か。

(2) (1) の条件でおんさを振動させたところ、 CD 間に基本振動の定常波が生じた。このとき、 CD の長さ $L[\text{m}]$ はいくらか。

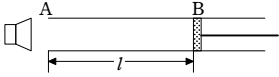
(3) CD 間に腹が 2 個ある定常波を生じさせるためには、張力 S を何 N にすればよいか。

ヒント おんさの振動数は変わらない。張力を変化させると弦を伝わる波の速さに変化する。

物理練習問題　～波動編～

54 気柱の共振

図の太さ一様な管は、ピストン B を動かして、管口 A からピストン B までの長さ l を調節できるようにしている。



音源から振動数 f の音波を出しながら、B を動かして l を l_0 にしたらよく共鳴した。

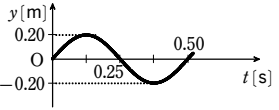
続いて B をゆっくり動かしたら、 l が $\frac{9}{7}l_0$ のとき再びよく共鳴した。開口端補正は無視する。

- (1) 音波の波長 λ を、 l_0 を用いて表せ。
- (2) l を l_0 に保ち、音波の振動数を f から次第に大きくしたら、振動数が f' のときまたよく共鳴した。 f' は f の何倍か。

ヒント (2) 気柱の長さが $\frac{1}{4}$ 波長の何個分かを考えるとよい。

55 正弦波の式

x 軸上を正の向きに波長 20 m の正弦波の横波が進んでいる。図は原点の媒質の変位 y [m] と時刻 t [s] との関係を示している。



- (1) 原点の媒質の y と t の関係を式で表せ。
- (2) 座標 x [m] の点の媒質の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。

56 正弦波の式

時刻 t [s] における位置 x [m] の変位 y [m] が次の式で表される波がある。

$$y=1.0\sin 50\pi\left(t-\frac{x}{10}\right) \qquad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

- (1) この波の振幅 A [m]、周期 T [s]、波長 λ [m]、振動数 f [Hz]、波の進む速さ v [m/s] と、波の進む向きを求めよ。
- (2) 原点の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式を示せ。
- (3) $t=1.0$ s のとき $x=5.0$ m の点の媒質の変位はいくらか。

57 単振動の式

直線上を運動する点の、原点からの変位 y [m] が時刻 t [s] において $y=0.3\sin 4\pi t$ で表されるとき、振動の振幅 A [m]、周期 T [s]、振動数 f [Hz] を求めよ。

58 正弦波の式

x 軸上を正の向きに進む正弦波の、座標 x [m] の点の時刻 t [s] における変位 y [m] が $y=0.20\sin \pi(5.0t-0.10x)$ で表されるとき、この波の振幅 A [m]、周期 T [s]、波長 λ [m]、振動数 f [Hz]、速さ v [m/s] を求めよ。

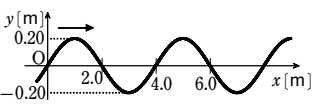
59 正弦波の式

x 軸上を正の向きに進む波長 6.0 m の正弦波がある。原点における時刻 t [s] での変位 y [m] は $y=2.0\cos 8.0\pi t$ で表される。

- (1) この波の周期 T [s]、速さ v [m/s] を求めよ。
- (2) 座標 x [m] の点の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。

60 正弦波の式

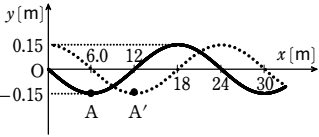
x 軸上を正の向きに正弦波が 5.0 m/s の速さで進んでいる。時刻 0 秒のときは図のような波形であった。



- (1) この波の振幅 A [m]、波長 λ [m]、周期 T [s] を求めよ。
- (2) 原点の、時刻 t [s] における変位 y_0 [m] のようすをグラフに示し、式で表せ。
- (3) 座標 x [m] の点の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。
- (4) 時刻 $t=2.0$ s のとき、 $x=31$ m の点での媒質の変位はいくらか。

61 正弦波の式

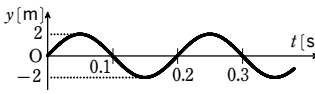
x 軸上を正の向きに正弦波が進んでいる。時刻 0 秒のときは図の実線の波形であったが、A の谷が 0.10 秒後に A' まで進んで破線の波形になった。



- (1) この波の振幅 A [m]、波長 λ [m]、周期 T [s] を求めよ。
- (2) 原点の、時刻 t [s] における変位 y_0 [m] を表す式をつくれ。
- (3) 座標 x [m] の点の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。

62 正弦波の式

図は、ある正弦波が速さ 3 m/s で x 軸の正の向きに進むとき、 $x=0$ の点の時刻 t [s] における変位 y [m] を表したものである。



- (1) この波の周期 T [s] と振動数 f [Hz] はいくらか。
- (2) $t=0$ のとき、 $0\leq x\leq 0.9$ (m) の範囲における変位 y のようすをグラフに表せ。
- (3) 座標 x [m] の点の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。
- (4) この正弦波が x 軸の負の向きに進む場合、(3) の式はどうなるか。

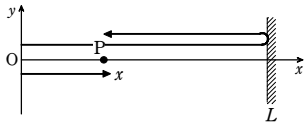
63 正弦波の式

振幅 0.10 m、周期 0.20 秒、速さ 3.6 m/s の正弦波が x 軸上を正の向きに進んでいる。

- (1) $t=0$ のとき、変位が $y=0$ で、 y 軸の負の向きに振動しようとしている点を原点 ($x=0$) として、各点の変位のようすをグラフに表せ。
- (2) $t=1.50$ s のときの、各点の変位のようすを (1) のグラフに重ね、破線で表せ。
- (3) $x=0$ の点の時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。
- (4) 任意の点 x [m] の、時刻 t [s] における変位 y [m] を表す式をつくれ。

64 正弦波の式と定常波

図において、原点 O の媒質は変位 $y=Asin \frac{2\pi}{T}t$ で表される単振動をし、



その振動が x 軸の正の向きに伝わっていく波 (平面波) を考える。 A [m] は振幅、 T [s] は周期、 t [s] は時間である。この平面波は距離 L [m] の所で、同位相で反射する。平面

波は媒質中を速度 v [m/s] で減衰せずに伝わり、また反射による減衰はないものとする。次の問いの 内に適当な式または数値を入れよ。

なお、 $\sin \alpha + \sin \beta = 2\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ を用いてもよい。

- (1) この平面波の波長 λ [m] は T と v により ア と表せる。
- (2) 原点 O を発した平面波は原点 O より距離 x [m] ($0 < x < L$) 離れた点 P に遅れて到達する。平面波の速度は v であるから、遅れの時間は v と x より イ と表せる。したがって、点 P での変位 y_1 [m] は $y_1 =$ ウ と表せる。
- (3) 原点 O から距離 L の所で反射して点 P に達した平面波 (反射波) はさらに遅れる。遅れの時間は L 、 v と x より エ と表せる。反射波は同位相で反射すると仮定しているので、点 P での変位 y_2 [m] は $y_2 =$ オ と表せる。
- (4) 点 P の変位 y_x [m] は原点から直接到達した平面波の変位 y_1 と反射波の変位 y_2 の和で求められる。 y_x を積の形に書き直すと $y_x =$ カ となる。
- (5) (4) より、時間によらず変位しない位置があることがわかる。 L が λ に等しいとき、この位置は O ～ L 間に キ 点ある。原点 O に近い点の座標を L により表すと $x =$ ク となる。

ヒント (2) (ウ) 時刻 t における点 P の振動は、原点 O の振動より $\frac{x}{v}$ 遅れている。