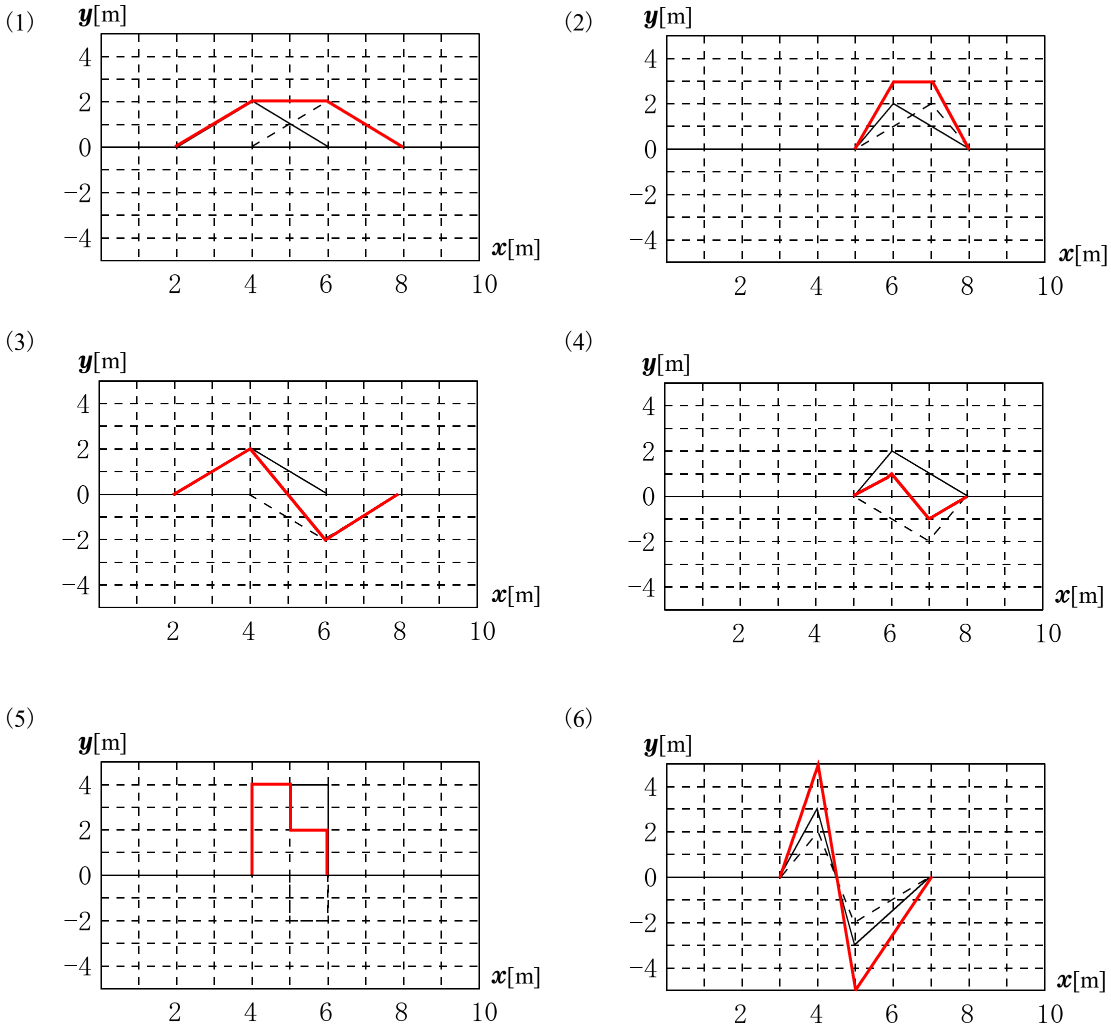
物理のこれだけはできないと「やばい」問題集

No.19
波の性質編
ブツリヨキワメヨ

1

速さと時間の積から **2**[m]だけ波が進んでいる。合成波は重ね合わせの原理より，それぞれの波の変位を足せばよいので，下の図のようになる。



2

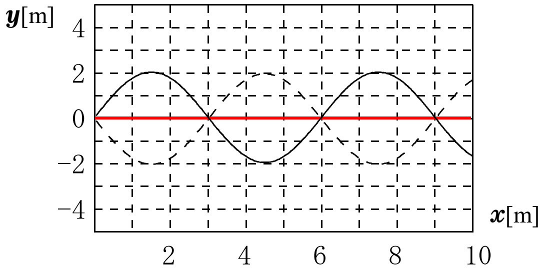
(1)　波の基本式（$v=f\lambda$）より，

$$f=\frac{1.5}{6}=0.25\,[\mathrm{m/s}]$$

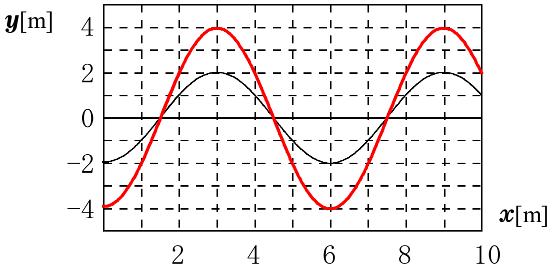
(2)　周期と振動数は逆数の関係なので，

$$T=f^{-1}=4.0\,[\mathrm{s}]$$

(3)　重ね合わせの原理より，右図のようになる。



(4,5)　速さと時間の積から進んだ距離は **1.5**[m]となる。重ね合わせの原理から，それぞれの波の変位を足し合わせると右図のようになる。



(6)　x**=1.5**，**4.5**，**7.5**…などの点では変位が常に **0** となっている。これらの点は振動せず，節と呼ばれる。一方，x**=0**，**3**，**6** …などの点では変位の変動が激しく，大きく振動していることが分かる。これらの点は最も大きく振動していて腹と呼ばれる。このような節と腹がある波は，左右に進んで行くようには見えず，その場にとまって上下に振動しているように見える。このような波を定常波と呼ぶ。

□■物理的思考■□
(6)の結果から，節から節までの距離は **3.0**[m]となっている。同様に，腹から腹までも **3.0**[m]となっている。波長が **6.0**[m]なので，「節（腹）から節（腹）では半波長」となっている。これは音の範囲で非常によく使う公式となっている。

3

(1)　波の基本式（$v=f\lambda$）より，

$$f=\frac{1.5}{6}=0.25\,[\mathrm{Hz}]$$

(2)　周期と振動数は逆数の関係なので，

$$T=f^{-1}=4.0\,[\mathrm{s}]$$

(3)

□■物理的思考■□

反射波の作図方法は以下の３ステップで考えればよい。

①入射波を延長させる波（延長波）を描く。

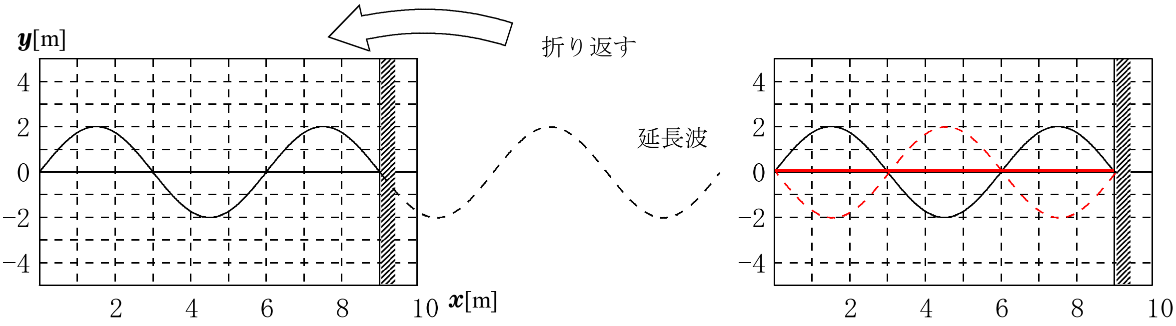
※反射板が無ければどのように波が進んだのかを考える。

②自由端反射なら延長波（①で描いた波）をそのままに，固定端反射なら上下反対にしておく。

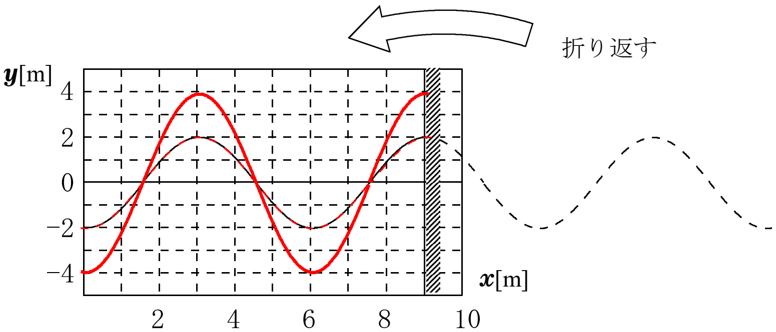
※固定端反射は反射点が固定されている反射なので，反射点では入射波と反射波の２つの波が打ち消し合わないといけない。これから考えると，入射波と反射波上下反対にならないといけない。

③②で描いた波を反射点を軸として左右に折り返す。

※反射波は実際は折り返して進んで行くので，右に進む波が左に進むようになればいいだけなので，反射点を軸にして折り返せばよい。



(5,6)　入射波は速さと時間の積から **1.5**[m]進む。



(7)　振動しない点が節となるので，$\boldsymbol{x}$=**1.5**，**4.5**，**7.5** となる（間隔は **3**[m]で半波長となっている）。

(8)　最も振動する点が腹となるので，$\boldsymbol{x}$=**0**，**3**，**6**，**9** となる（間隔は **3**[m]で半波長となっている）。

4

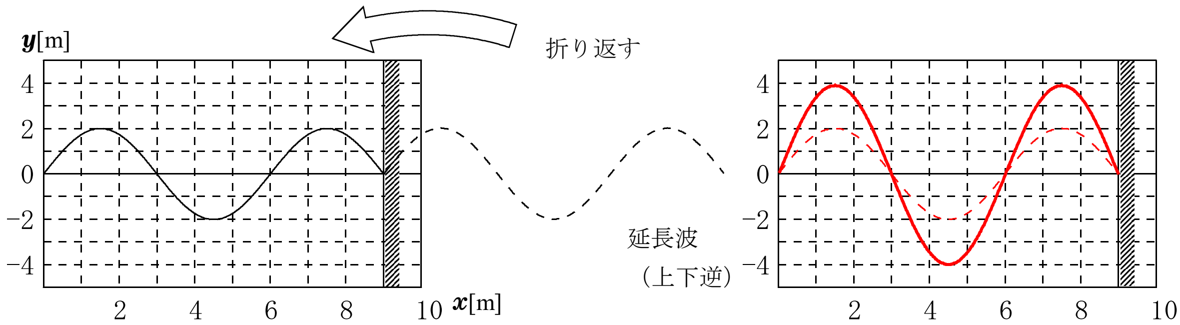
(1)　波の基本式（$v=f\lambda$）より，

$$f=\frac{1.5}{6}=0.25\,[\mathrm{Hz}]$$

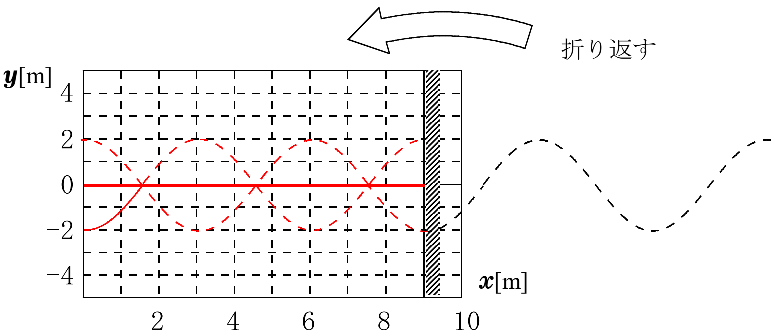
(2)　周期と振動数は逆数の関係なので，

$$T=f^{-1}=4.0\,[\mathrm{s}]$$

(3)　固定端反射なので延長波を上下反転させてから折り返す。



(5,6)　入射波は速さと時間の積から **1.5**[m]進む。



(7)　振動しない点が節となるので，$x=0$，**3**，**6**，**9** となる（間隔は **3**[m]で半波長となっている）。

(8)　最も振動する点が腹となるので，$x=1.5$，**4.5**，**7.5** となる（間隔は **3**[m]で半波長となっている）。

□■物理的思考■□

反射点での振動の様子を考える。自由端反射では，入射波と反射波の変位が等しいので反射点の合成波は入射波の変位が **2** 倍され大きく振動していることが分かる。このため，自由端反射での反射点は腹となっている。

一方，固定端反射では，入射波と反射の変位が正負反対になっているので，反射点での合成波は変位が **0** となり全く振動していない。このため，固定端反射での反射点は節となっている。

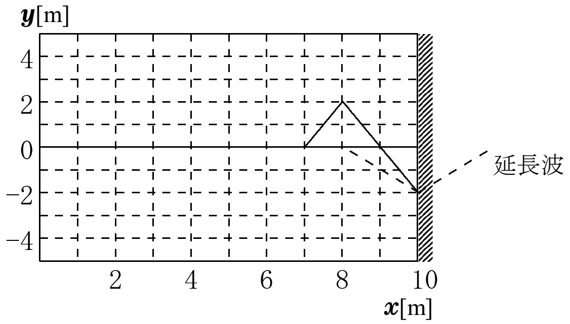
また，結果から分かるように節と節，または，腹と腹の間隔は半波長となっている。

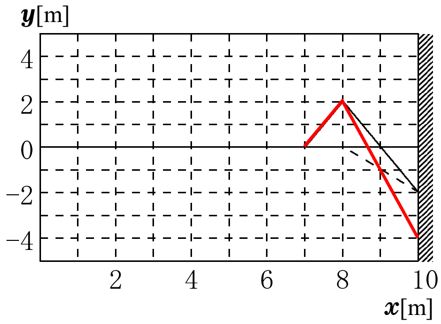
自由端反射の反射点　→　腹，固定端反射の反射点　→　節

節から節まで（腹から腹まで）で半波長

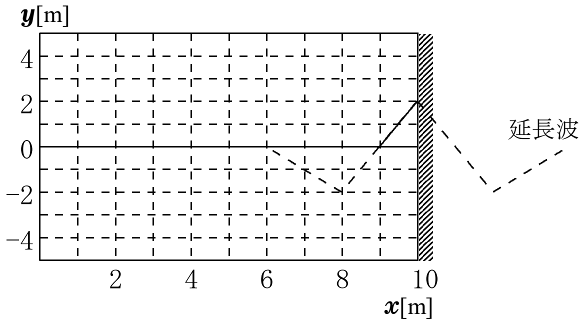
5

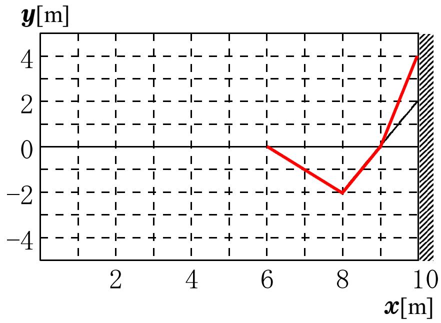
(1)　入射波は速さと時間の積から **6.0**[m]進む。



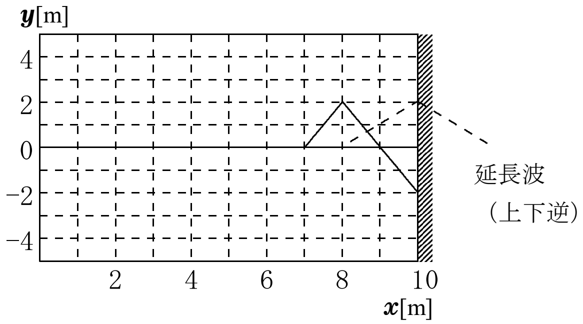


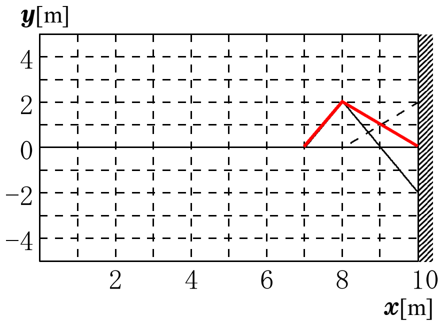
(2)　入射波は速さと時間の積から **8.0**[m]進む。



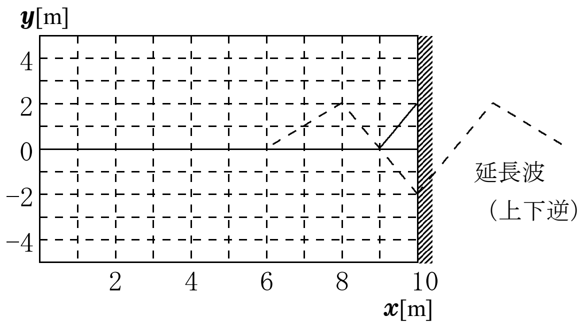


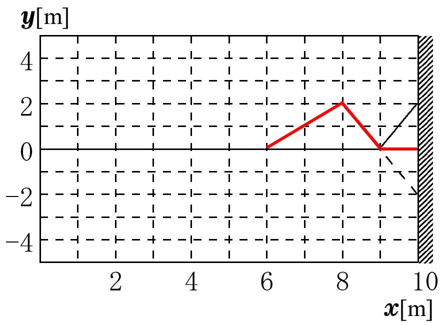
(3)　入射波は速さと時間の積から **6.0**[m]進む。





(4)　入射波は速さと時間の積から **8.0**[m]進む。



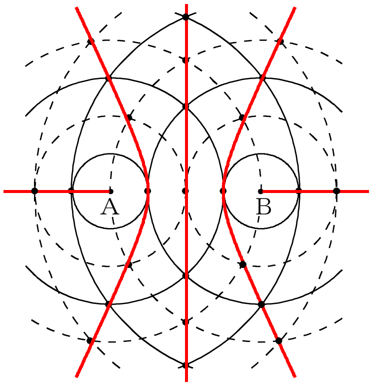


6

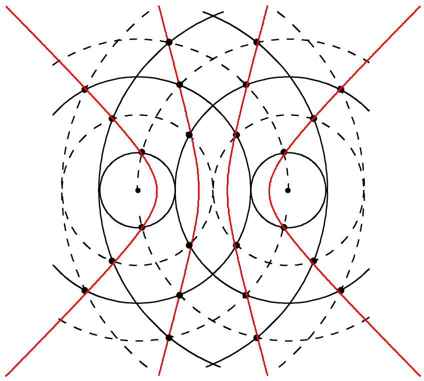
(1)　点Ａで発生した波は点Ａで谷と点Ｂで谷となっている（問題文より）。また，点Ａと点Ｂの間に谷になっている場所が１か所あるので，点Ａから点Ｂで波２つ分となっている。したがって，波長は **20**[cm]となる。

(2)　波の基本式（$v=f\lambda$）より，
$v=10\times 0.20=$**2.0**[m/s]
※波長の単位を[m]に直していることに注意したい。

(3)　山と山，谷と谷が重なっている場所が大きく振動しているので腹となっている。これらの点の集合を結べばいいので下図のようになる。



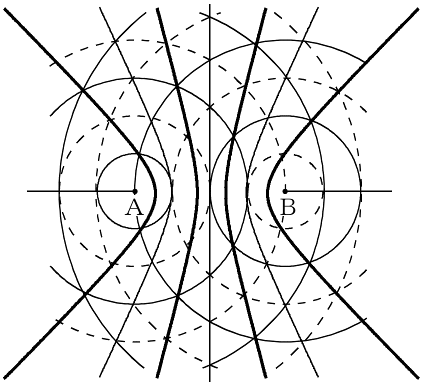
(4)　山と谷が重なっている場所が全く振動していないので節となっている。これらの点の集合を結べばいいので下図のようになる。



(5)　点Ａからの波と点Ｂからの波が点Ｐで重なっているので，ＡＰ－ＢＰ**=0** の場合は，点Ａからと点Ｂからの波が点Ｐで同じ位相（同じ形）なので強めあう。このように同じ形になるのは，波が１波長毎に同じ形を繰り返していることから，ＡＰ－ＢＰが波長の整数倍となるときである。よって，$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=0.20\times m$となる。

(6)　点Ａからの波と点Ｂからの波が点Ｑで重なっているので，ＡＰ－ＢＰ**=0.10**（半波長）の場合は，点Ａからと点Ｂからの波が点Ｐで逆位相（上下反対）なので強めあう。このように上下反対になるのは，波が１波長毎に同じ形を繰り返していることから，ＡＰ－ＢＰが半波長と波長の整数倍の和となるときである。よって，$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=0.10+0.20\times m$となる。

(7)　逆位相の波を発生させるので，点Aからの波が点Aで谷ならば，点Bからの波が点Bで山（上下反対）となる。このときの波の様子は下図のようになるので，節と腹の位置がＩの時と比べて反転する。



(8)　点Aと点Bからの波が逆位相になっていて節と腹の位置が反転しているので，(6)の条件式と一致する。したがって，$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=0.10+0.20\times m$ となる。

(9)　点Aと点Bからの波が逆位相になっていて節と腹の位置が反転しているので，(5)の条件式と一致する。したがって，$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=0.20\times m$ となる。

□■物理的思考■□

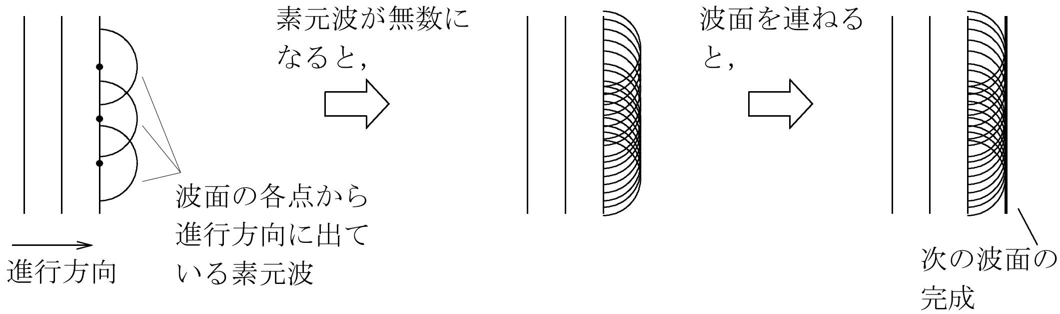
(5)と(6)を整理すると，

$$|\text{経路差}|=\begin{cases}\text{波長の整数倍=半波長の偶数倍（強めあい）}\\\text{半波長＋波長の整数倍=半波長の奇数倍（弱めあい）}\end{cases}$$

となる。これを干渉条件という。

7

(1)　**素元**（波）　(2)　**球面**（波）　(3)　**ホイヘンス**　(4)　**90**



8

(イ)　時間 t[s]で点Ｂから点Ｄまで進むので，速さと時間の積からＢＤ$=v_1t$となる。

(ロ)　ホイヘンス

(ハ)　i

(ニ)　△ＡＢＤに注目すると，

$$\sin i=\frac{\mathrm{BD}}{\mathrm{AD}}\Leftrightarrow \mathrm{AD}=\frac{\mathrm{BD}}{\sin i}=\frac{v_1t}{\sin i}$$

(ホ)　j

(ヘ)　△ＡＣＤに注目すると，

$$\sin j=\frac{\mathrm{CD}}{\mathrm{AD}}\Leftrightarrow \mathrm{AD}=\frac{\mathrm{CD}}{\sin j}=\frac{v_1t}{\sin j}$$

(ト)　(ニ)と(ヘ)が等しくなることから，

$$\frac{v_1t}{\sin i}=\frac{v_1t}{\sin j}\Leftrightarrow \sin i=\sin j\Leftrightarrow i=j$$

(チ)　速さと時間の積からv_2tとなる。

(リ)　r

(ヌ)　△ＡＤＥに注目すると，

$$\sin r=\frac{\mathrm{AE}}{\mathrm{AD}}\Leftrightarrow \mathrm{AD}=\frac{\mathrm{AE}}{\sin r}=\frac{v_2t}{\sin r}$$

(ル)　(ニ)と(ヌ)が等しくなることから，

$$\frac{v_1t}{\sin i}=\frac{v_2t}{\sin r}\Leftrightarrow\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{v_2}{v_1}$$

□■物理的思考■□

屈折の法則を波の基本式（$v=f\lambda$）を用いて式変形すると，

$$\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

となる。光の範囲に入ると，真空中での光の速さを c とすると，屈折率 n の媒質中での光の速さは$\frac{c}{n}$と表せるので，屈折の法則は，

$$\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\frac{c}{n_2}}{\frac{c}{n_1}}=\frac{n_1}{n_2}$$

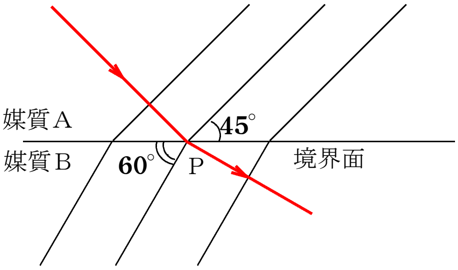
と表せる。ここで n_{21} は媒質２に対する媒質１の屈折率である。まとめると，

$$\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{n_1}{n_2}$$

となっており，分母には媒質２，分子には媒質１の物理量が揃っているが，屈折率だけが逆になっている。したがって，屈折の法則は「屈折率だけ（分母分子が）逆」と覚えればよい。

9

(1)　波面と波の進行方向は垂直になることから下図のようになる。



(2)　媒質AとBの屈折率をそれぞれ n_A，n_B とすると，屈折の法則から，

$$\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin 45^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\frac{2}{\sqrt{6}}=\frac{\sqrt{6}}{3}$$

(3)　屈折の法則から，

$$\frac{\sin 45^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{28}{v}\Leftrightarrow 14\sqrt{6}\ \text{[m/s]}$$

(4)　$(v=f\lambda)$ より，

$$f=\frac{28}{1.4}=20\ \text{[Hz]}$$

10

(1)　屈折の法則から，

$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta}=\frac{\sqrt{gh}}{\sqrt{gH}}=\sqrt{\frac{h}{H}}$$

(2)　(1)で求めた式を変形すると，

$$\frac{\sin^2\phi}{\sin^2\theta}=\frac{h}{H}\Leftrightarrow h=\frac{\sin^2\phi}{\sin^2\theta}\ H$$

(3)　$\phi=30^\circ$ となるので，(2)で求めた式より，

$$\frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}}=\frac{h}{H}\Leftrightarrow H=3h$$

11

(1)　線分AB上の任意の点をPとし，$AP=x$ とする。２点AとBから出で点Pに到達する波の経路差は，
$|AP-BP|=|x-(30-x)|=|2x-30|$
干渉条件より，経路差が半波長の奇数倍となるときに弱め合うので，整数を m とすると，

$$|2x-30|=\frac{\lambda}{2}\times(2m+1)\Leftrightarrow x=15\pm\frac{\lambda}{2}\times\left(m+\frac{1}{2}\right)$$

これより，m が整数であることから考えて，節の位置は直線AB上では半波長おきに現れることが分かった。これより，

$$\frac{\lambda}{2}=8\Leftrightarrow\lambda=16$$

(2)　線分AB上では腹の位置も節と同様に，半波長おきに現れる。経路差が半波長の偶数倍となる点では強め合って腹となるので，経路差が 0 となる線分ABの中点が腹となっている。ここから，半波長（8[cm]）おきに腹が現れるので，中点から点Aまたは点Bの方向に，8[cm]の場所に腹ができるので，3 カ所となる。

12

(1)　２点ＡとＢから出で点Ｐに到達する波の経路差は，

$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=|x-(30-x)|=|2x-30|$

干渉条件より，経路差が半波長の偶数倍となるときに強め合うので，整数を m とすると，

$|2x-30|=\dfrac{16}{2}\times 2m \Leftrightarrow x=15\pm 8m$

(2)　(1)と $0\leqq x\leqq 30$ から，$x=7,\ 15,\ 23$[cm]となる。

(3)　節が腹と腹の真ん中にあることと，節と節が直線ＡＢ上では半波長おきにあることから，$x=3,\ 11,\ 19,\ 27$[cm]となる。

13

(1)　線分ＡＨ上の任意の点をＰとし，$\mathrm{AP}=x$ とする。点Ａから出で点Ｐに直接到達する波と点Ａから出て点Ｈに反射して点Ｐに到達する波の経路差は，

$|\mathrm{AP}-(\mathrm{AH}+\mathrm{HP})|=|x-(15+15-x)|=|2x-30|$

干渉条件より，経路差が半波長の偶数倍となるときに強め合うので，整数を m とすると，

$|2x-30|=\dfrac{16}{2}\times 2m \Leftrightarrow x=15\pm 8\times m$

これと $0\leqq x\leqq 15$ から，$x=7,\ 15$[cm]となる。

(3)　節が腹と腹の真ん中にあることと，節と節が直線ＡＢ上では半波長おきにあることから，$x=3,\ 11$[cm]となる。