第十二章

120102 波的種類(Types of waves)

【物理通地理】:

山、河平行－ _縱_谷;

山、河垂直－ _橫_谷。

【重點】: 光波屬於 _橫_波。

120204 弦波的波速公式(二)

【吉他調音小常識】:

➡吉他的弦，比較粗的弦，發出的頻率較_低_

➡吉他的弦，比較細的弦，發出的頻率較_高_

➡吉他的弦，旋緊一點，弦發出的頻率較_高_

➡吉他的弦，放鬆一點，弦發出的頻率較_低_

120402 波的獨立性

進階挑戰

以聽覺為例：建立在不同的頻率上。依毛細胞的長短，處理不同的波。人耳的毛細胞約 20,000 個，可聽到音頻為 20-20,000Hz 耳膜之寬度約 0.85cm ，產生駐波的波長為 1.7cm

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{340\,{}^{m}/_{s}}{0.017m}=20000Hz$$

120501 駐波

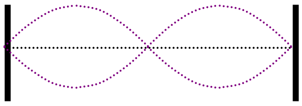
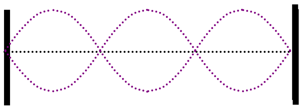
駐波的特性：

1.波形不見前進，波在原地做週期性的漲落，稱為駐波。

2.不動的點，我們稱之為『節點』或是『波節』(node)，振動最厲害的點，我們稱為『腹點』或是『波腹』(anti-node)。

3.能量不會向外傳遞，質點上下振盪，動能與位能互相轉換。(你知道質點會做何種運動嗎? 答案是_SHM_)

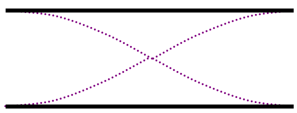
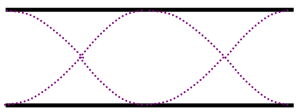
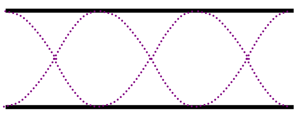
120503 駐波(一)➡固定端、固定端

	圖 形 分 析	波長與弦長之關係	頻率	音　名
1		$L=\frac{\lambda}{2}$	$f_1=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{2L}$	基音
2		$L=2\cdot\frac{\lambda}{2}$	$f_2=\frac{2v}{2L}$	第二諧音 或 第一泛音
3		$L=3\cdot\frac{\lambda}{2}$	$f_3=\frac{3v}{2L}$	第三諧音 或 第二泛音
n		$L=n\cdot\frac{\lambda}{2}$	$f_n=\frac{nv}{2L}$	第 n 諧音 (頻率爲基音的 n 倍) 或 第 n-1 泛音 (第 n 個產生的音稱爲第 n-1 泛音)

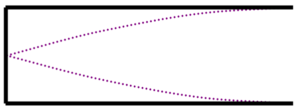
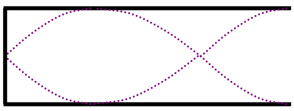
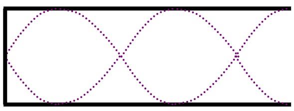
【諧音與泛音的記法】：諧音是看_倍數_泛音是看_順序_

【舉一反三】：氫原子能階 n=1，稱爲基態；n=2，稱爲第一受激態；……
類似於_泛_音的命名

120504 駐波(二) ➡開管駐波(自由端、自由端)

	圖 形 分 析	波長與管長之關係	頻率	音　名
1		$L=\frac{\lambda}{2}$	$f_1=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{2L}$	基音
2		$L=\frac{2\lambda}{2}$	$f_2=\frac{v}{\lambda}=\frac{2v}{2L}$	第二諧音 或 第一泛音
3		$L=\frac{3}{2}\lambda$	$f_3=\frac{3v}{2L}$	第三諧音 或 第二泛音
n		$L=\frac{n}{2}\lambda$	$f_n=\frac{nv}{2L}$	第 n 諧音　或 第 n-1 泛音

120505 駐波(三) ➡閉管駐波(固定端、自由端)[無偶數諧音]

	圖	波長與管長之關係	頻率	音　　名
1		$L=\frac{1}{4}\lambda$	$f_1=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{4L}$	基音
2		$L=\frac{3}{4}\lambda$	$f_2=\frac{3v}{4L}$	第三諧音 或 第一泛音
3		$L=\frac{5}{4}\lambda$	$f_5=\frac{5v}{4L}$	第五諧音 或 第二泛音
n		$L=\frac{(2n-1)}{4}\lambda$	$f_{2n-1}=\frac{(2n-1)v}{4L}$	第(2n－1)諧音 或 第 n-1 泛音

120801 水波之干涉

➡干涉時，波峰與波峰相交處，我們稱爲 __腹__點

➡兩波干涉時，波峰與波谷相交處，我們稱爲__節__點

➡兩波干涉時，波谷與波谷相交處，我們稱爲__腹__點

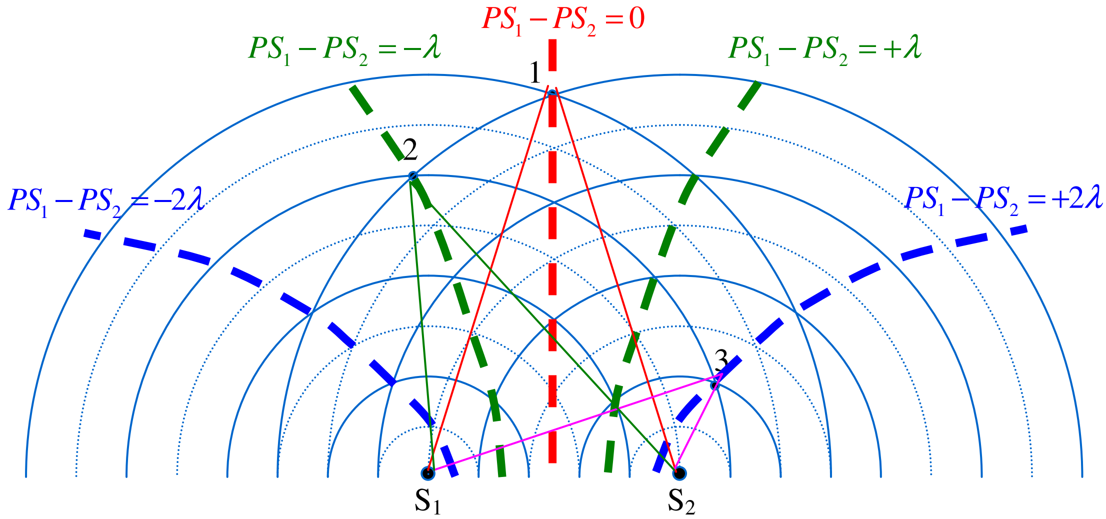
➡節點的連線，稱爲節線；腹點的連線，稱爲腹線。

➡水面突起處，類似凸透鏡；亮紋處爲腹點(線)。

➡水面凹陷處，類似凹透鏡；暗紋處爲腹點(線)。

➡明暗交替處，爲節點(線)。

120802 腹線(點)的條件【實線代表波峰、虛線代表波谷】



【計算『波程差』＝PS_1-PS_2】：(P 是水面上的某一點)

❶：$PS_1-PS_2=4\lambda-4\lambda=0$

❷：$PS_1-PS_2=3\lambda-4\lambda=-\lambda$

❸：$PS_1-PS_2=3\lambda-\lambda=2\lambda$

【結論】：聰明的你，觀察出何種結論呢? 產生腹線的條件：$\overline{PS_1}-\overline{PS_2}=n\lambda$

【感覺】：P 點不論是 S_1 的第 x 個波峰與 S_2 的第 y 個波峰合成，波峰與波峰距離差必為 $\underline{n\lambda}$。

【進階思考】：

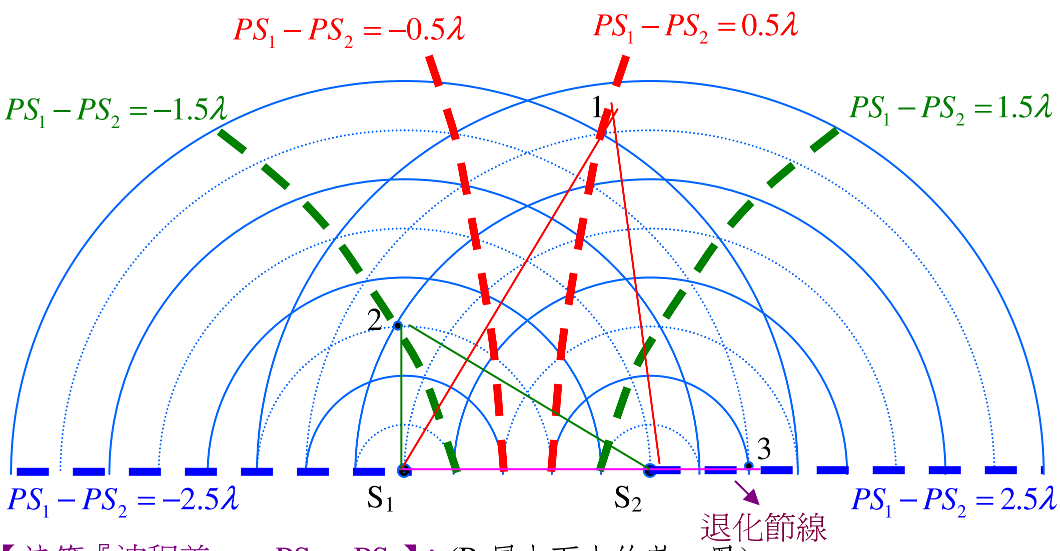
在上圖中，有無可能 $PS_1-PS_2=3\lambda$？NO!

[Hint:三角形的兩邊差小於第三邊] 故共有 5 條腹線。

【數學的存在目的】：

腹線(Antinodal line)，是那一種圓錐曲線?雙曲線

120803 節線(點)的條件【實線代表波峰、虛線代表波谷】



【計算『波程差』＝PS_1-PS_2】：(P 是水面上的某一點)

❶：$PS_1-PS_2=4\lambda-3.5\lambda=0.5\lambda$

❷：$PS_1-PS_2=1.5\lambda-3\lambda=-1.5\lambda$

❸：$PS_1-PS_2=3.5\lambda-\lambda=2.5\lambda$

【結論】：聰明的你，觀察出何種結論呢? 產生節線的條件：$PS_1-PS_2=(2n-1)\dfrac{\lambda}{2}$

【感覺】：P 點不論是 S_1 的第 x 個波峰與 S_2 的第 y 個波谷合成(或反之)，波峰與波谷距離差必為 $\underline{(2n-1)\dfrac{\lambda}{2}}$。

【進階思考】：在上圖中，有無可能 $PS_1-PS_2=3.5\lambda$？NO!

[Hint:三角形的兩邊差小於第三邊] 故共有 __6__ 條節線。

備註

1.同理可推得腹線數 $N=2\left[\dfrac{d}{\lambda}\right]+1$。

2.先加 1/2，再取高斯函數，再乘以 2，順序不能顛倒。 $2\times[4.5]\neq[2\times4.5]$ ！

3.兩波源同相時，節線數必為偶數；腹線數必為奇數。

4.兩波源反相時，節線數與腹線數顛倒，正中央變為節線。

5.節線數未必多於腹線數。例如：$d=2.7\lambda$ 時，有 6 條節線，5 條腹線；$d=3.3\lambda$，有 6 條節線，7 條腹線。

120805【退化的節線】:

1.何謂退化的節線?

直線是 (A)圓 (B)拋物線 (C)雙曲線 的一種特例

【解答】(A)(B)(C)

120816

【進階挑戰】平衡點+平衡點＝？節點？腹點？

【解答】可能是節點也可能是腹點，仔細看圖

第十二章　詳解

範例 01：

【解答】(1) (B)　(2) (A)

範例 02：

【解答】1m

【解析】

$$v=f\lambda=\sqrt{\frac{F}{\mu}}\Rightarrow 70\times\lambda=\sqrt{\frac{5\times 9.8}{\frac{0.1}{10}}}\Rightarrow\lambda=1$$

範例 03：

【解答】(1) 6:2:3　(2) 1:6:6

【解析】

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}\Rightarrow v_1:v_2:v_3=\sqrt{\frac{1}{1/1}}:\sqrt{\frac{1}{18/2}}:\sqrt{\frac{1}{12/3}}=\frac{1}{1}:\frac{1}{3}:\frac{1}{2}=6:2:3$$

$$t=\frac{\ell}{v}\Rightarrow t_1:t_2:t_3=\frac{1}{6}:\frac{2}{2}:\frac{3}{3}=1:6:6$$

範例 04：

【解答】2v

【解析】

但此題還有一重要關鍵，繩之長度改變，<u>μ</u>也會改變。

波速公式：　$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$

F 是繩之張力(題目說遵守虎克定律)；μ 是線密度(總質量除以總長度)

故，$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sqrt{\frac{0.2}{1/1.2}}}{\sqrt{\frac{0.6}{1/1.6}}}=\sqrt{\frac{1}{4}}=\frac{1}{2}\Rightarrow v_2=2v$

範例 05：

【解答】(1) $\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$　(2) $\frac{M_1}{M_2}=\frac{\mu_1}{\mu_2}$

【解析】

(1) $v=\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}\propto\sqrt{\dfrac{1}{\mu}}$ $\quad \dfrac{v_1}{v_2}=\sqrt{\dfrac{\mu_2}{\mu_1}}$

(2) Where is the key word?

波速相同!!

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{Mg}{\mu}} \qquad \frac{M_1}{M_2}=\frac{\mu_1}{\mu_2}$$

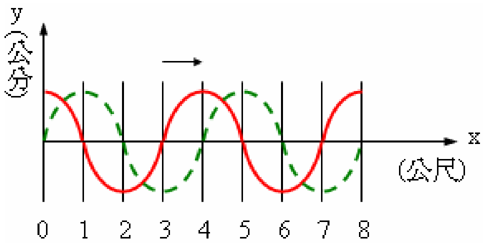
範例 06：

【解答】(D)

【解法一】 $v=f\lambda=\dfrac{\lambda}{T}=\dfrac{4}{T}$

$0.3<T<0.5\Rightarrow\dfrac{1}{0.3}>\dfrac{1}{T}>\dfrac{1}{0.5}\Rightarrow\dfrac{4}{0.3}>\dfrac{4}{T}>\dfrac{4}{0.5}$

$\Rightarrow 13.3>v>8$



【解法二】0.3<T<0.5 ➡ 0.6<2T<1

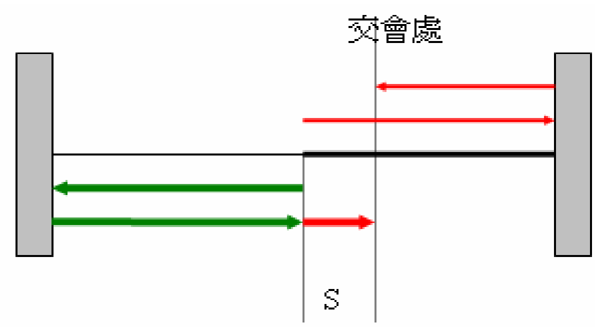
現在 t =0.5 秒， 而 T<0.5<2T

$t=\dfrac{T}{4}$ ， $\dfrac{5T}{4}$ ， $\dfrac{9T}{4}$ ， …..

$$v=f\lambda=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{0.5\times\frac{4}{5}}=10m/s$$

範例 07：

【解答】 $\left(\dfrac{\ell}{\ell\text{-S}}\right)^2$



【解析】

接合處產生兩個波：向左傳的波，在細繩上走 2ℓ 的時間+粗繩上走 S 的時間＝向右傳的波，在粗繩上走(2ℓ -S)的時間

【計算列式】:

設繩速分別為 $V_{粗}$、$V_{細}$，又波速 $v=\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$

兩繩長度相等，故質量比=線密度比

故 列得 $\dfrac{2\ell}{v_{細}}+\dfrac{S}{v_{粗}}=\dfrac{2\ell-S}{v_{粗}}$

而 $v=\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}\propto\sqrt{\dfrac{1}{\mu}}=\dfrac{1}{\sqrt{M/L}}\propto\dfrac{1}{\sqrt{M}}$

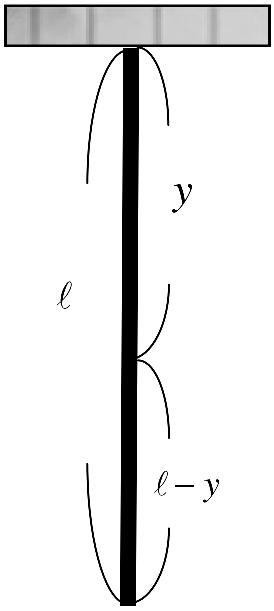
$2\ell\sqrt{M_{細}}+S\sqrt{M_{粗}}=(2\ell-S)\sqrt{M_{粗}}$

$\dfrac{M_{粗}}{M_{細}}=\left(\dfrac{2\ell}{2\ell-2S}\right)^2=\left(\dfrac{\ell}{\ell-S}\right)^2$

範例 08：

【解答】(A)(C)(D)(E)

【解析】



距固定端 y 處之張力= $\dfrac{\ell-y}{\ell}\times mg$

(按照比例分配)

故波速 $v=\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}=\sqrt{\dfrac{\dfrac{\ell-y}{\ell}mg}{\dfrac{m}{\ell}}}$

$=\sqrt{(\ell-y)g}=\sqrt{gS}=\sqrt{2aS}$

可得 y 愈小，波速愈快

[若 $\dfrac{dx}{dt}=k\sqrt{x}$ ，則 x 必爲 2 次式。

若 x 爲 2 次式，必爲等加速度運動]

由運動學第三公式 $v=\sqrt{2aS}$ 。兩式比較係數，可得 $a=\dfrac{1}{2}g$

由運動學第二公式 $t=\sqrt{\dfrac{2S}{a}}=2\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$

範例 09：

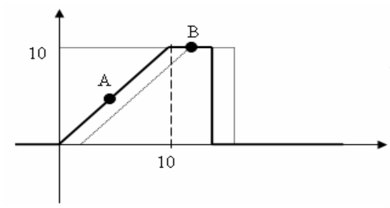
【解答】$u_A=10\downarrow$，$u_B=0$，$u_c=5\downarrow$，$u_D=\dfrac{10}{3}\uparrow$

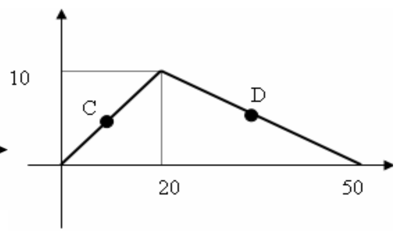
【解析】

振動速率

u=波速 v × 斜率 m

(m = tanθ)





$u_A = 10 \times m = 10 \downarrow$

$u_B = 10 \times m = 0$

$u_c = 10 \times m = 5 \downarrow$

$u_D = 10 \times m = \dfrac{10}{3} \uparrow$

範例 10：

【解答】(1)c，g，k；(2)a，e，i，m；(3)d，e，f，l，m；(4)a，b，h，i，j

【解析:】

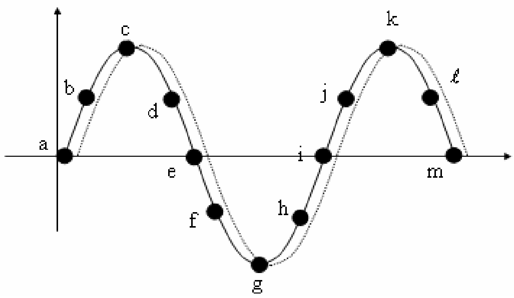
(1)c，g，k 爲 SHM 之端點，且切線斜率爲 0

(2)a，e，i，m 爲 SHM 之平衡點

(3)d，e，f，l，m

(4)a，b，h，i，j

【結論】：正弦波波上質點之振盪，會做 SHM，故平衡點速率最大，端點速度=0



範例 11：

【解答】(1)P 點振動速率 0，加速度 $800\pi^2 \ cm/s^2$ (2)Q 點加速度 0，振動速率 $40\pi \ cm/s$

【解析】

從 SHM 的觀點來看，

P 點的振動速率最小，加速度最大(端點)；

Q 點的振動速率最大，加速度最小(平衡點)。

(1)P 點振動速率最小爲 0，加速度最大看成圓周運動

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 2}{0.1^2} = 800\pi^2 \ cm/s^2$$

(2)Q 點加速度最小爲 0，振動速率最大看成圓周運動

$$u = \frac{2\pi R}{\mathrm{T}} = \frac{2\pi \cdot 2}{0.1} = 40\pi \ cm/s$$

註 ： 如果解 P 點之加速度欲用右式 $a = \dfrac{u^2}{R}$ ，則速度要代振動速率而非波速

範例 12：

【解答】(1)10Hz (2) $\dfrac{\pi}{2}$ (3) $\dfrac{1}{60}$

【解析】

(1) $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.1}=10Hz$

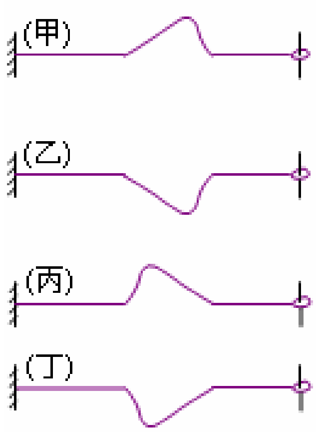
(2)差 1 公分，差了$\frac{1}{4}$個圓，故相位差爲$\frac{\pi}{2}$

(3)相位差 60° ，即差了$\frac{1}{6}$個圓，差 2/3 公分差了$\frac{1}{6}T=\frac{1}{6}\cdot 0.1=\frac{1}{60}$

範例 13：

【解答】C

【解析】



(1)入射波經自由端反射，反射波之波形不顛倒
但左右相反➡丙

(2)丙之波形經固定端反射，反射波之波形上下
顛倒且左右相反➡乙

(3)乙之波形再經自由端反射，反射波之波形不
顛倒，但左右相反➡丁。

範例 14：

【解答】AB

【解析】

(C)弦波由粗繩傳至細繩時，反射波與入射波振動方向相同，波形不顛倒。

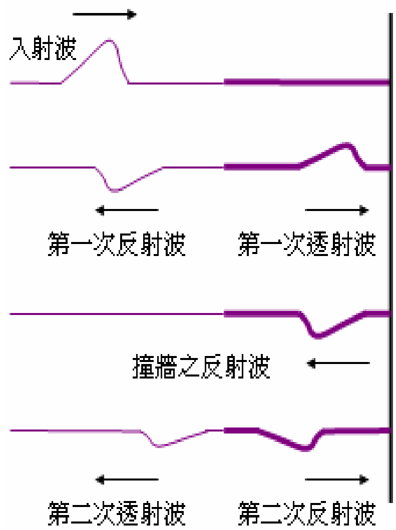
(D)振動方向相反，波形顛倒

(E)振動方向恆相同

範例 15：

【解答】ACD

【解析】



(A)透射波相位與入射波相同

(B)遇牆後，向下振動，故第二次透射波應爲向下振動

(C)第一次反射波因是輕繩傳至重繩故向下振動。第二次反射波，是重繩傳至輕繩，相位沒有改變，因遇牆後，向下振動，故第二次反射波爲向下振動

(D)原先之入射波，最後傳回細繩時，因有部份能量傳至
重繩，故振幅必變小

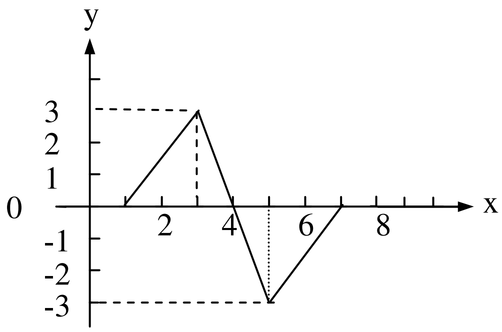
(E)輕、重繩之波速不同 $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$

範例 16：

【解答】(略)

【解析】

經 T/4 合成波為右圖

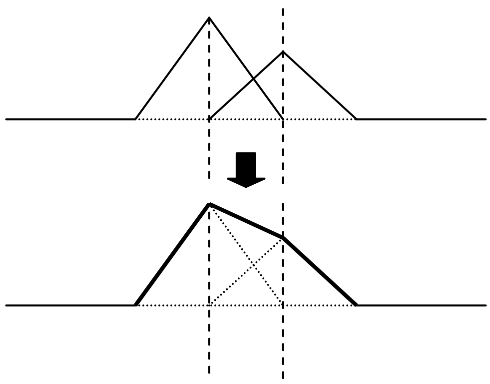


範例 17：

【解答】(D)

【解析】

t=0.9 秒時，波形前進 9m，重新繪圖如右



範例 18：

【解答】(1) 7　(2) 1　(3)5

【解析】

(1)3＋4=7

(2)4－3=1

(3)5

$$f = 3\sin\theta + 4\sin(90+\theta) = 3\sin\theta + 4\cos\theta$$

$$f = \sqrt{3^2+4^2}\left(\frac{3}{\sqrt{3^2+4^2}}\sin\theta + \frac{4}{\sqrt{3^2+4^2}}\cos\theta\right)$$

令 $\cos\alpha = \frac{3}{5}, \sin\alpha = \frac{4}{5}$

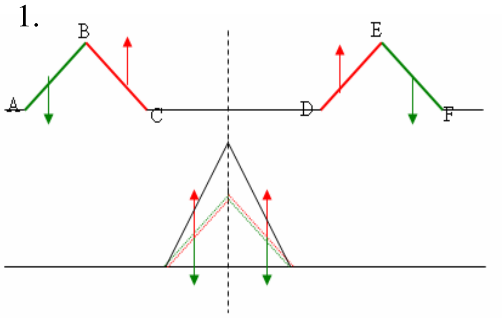
故 $f = 5(\sin\theta\cos\alpha + \cos\theta\sin\alpha) = 5\sin(\theta+\alpha)$

範例 19：

【解答】（略）

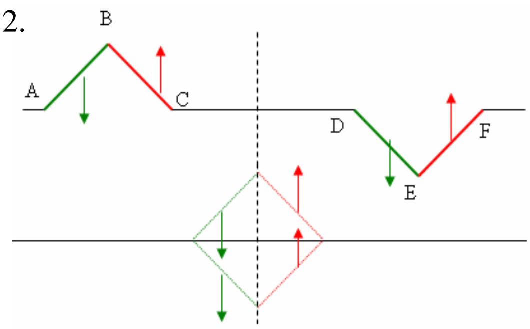
【解析】

1.



1. 位移最大，速度最小
2. 位能最大，動能最小
3. 類似 SHM 的端點

2.

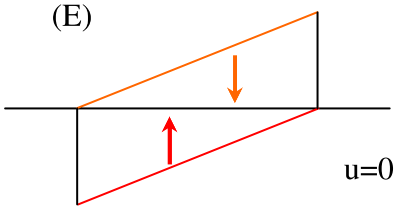


1．位移=0，速度最大
2. 位能最小，動能最大
3. 類似 SHM 的平衡點

範例 20：

【解答】(A)(D)

【解題思路】：照片呈現模糊—找振動速率最大者----是像上題範例的 1 還是 2? 2



範例 21：

【解答】(A)(D)(E)

【解題思路】：上題範例的 1 還是 2，正中間的點都不會動? **2**

120505 進階挑戰

【解答】：C

【解析】這個題目考了駐波又考視覺暫留，又有觀念上的陷阱，是個有鑑別度的考題。如果要看到如圖的影像，週期到底要多少？因視覺暫留是 1/20 秒，當繩子出現在最上面，經 1/20 秒到到最下面，又經 1/20 回到最上面，故振動週期是 2×1/20=1/10 秒，不是 1/20 秒ㄛ！

v=f×λ=λ/T 又兩固定端駐波基頻 λ=2L，故 v=f×λ=2L/T，因 T=0.1，代入 v=20L

(A)v=10L (B)v=13.3L (C)v=20L (D)v=16L (E)v=13.3L

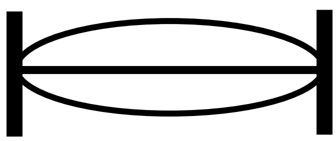
不過這題命題教授仁慈中有點殘忍，因爲以 T=0.2 秒，你會得到 v=10L 選(A)，這就是我常講的，同學太輕敵，好的考題，學生算錯，也會有答案可以選

範例 22：

【解答】(B)(D)

【解析】

(A) $v=\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$ (B)同上 (C) $f=\dfrac{v}{2\ell}$

(D)看圖 

(E) $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{1}{2}m(\dfrac{2\pi R}{T})^2=\dfrac{1}{2}m(2\pi Rf)^2\propto f^2$

範例 23：

【解答】(A)

【解析】想想看，浴缸壁是自由端還是固定端呢?自由端

$L = 0.75m \qquad \lambda = 1.5m$

$f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{1}{1.5} = \dfrac{2}{3}Hz$ 選(A)

補充：一邊高而另一邊低時，只有奇數倍諧音才可能

範例 24：

【解答】(A)

【解析】

$L = 0.5m$ ，$\lambda = 2m$

$v = \sqrt{\dfrac{F}{0.01}} = 100 \times 2 \ F = 400N$

範例 25：

【解答】基音 10Hz，第二諧音 20Hz 第二泛音 30Hz

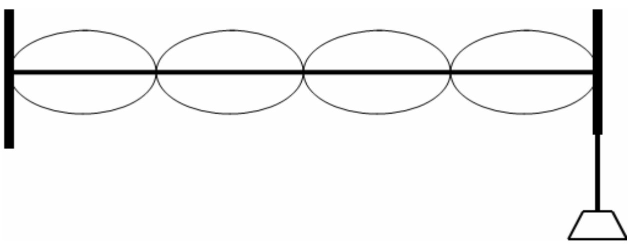
【解析】

$f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{\dfrac{1}{0.05}}{2} = 10Hz$ ，$f_2 = 20Hz$ ，$f_3 = 30Hz$

範例 26：

【解答】0.25 公斤

【解析】



$0.8m = 2\lambda \Rightarrow \lambda = 0.4m$

$v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} = f\lambda$

$\sqrt{\dfrac{m \times 10}{(\dfrac{2 \times 10^{-4}}{0.8})}} = 250 \times 0.4 \Rightarrow m = 0.25kg$

範例 27：

【解答】(1)L=0.9m (2)25Hz

【解題思路】:

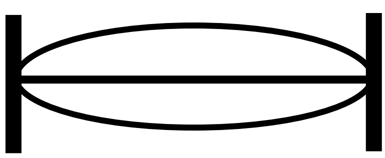
兩端皆為固定端的駐波，

若有 n 個波節，表示有_n-1_個波包！每個波包 18 公分，故繩長_18(n-1)_公分。

若有 n+1 個波節，表示有_n_個波包！每個波包 15 公分，故繩長_15n_公分。

【解析】

$v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} = f\lambda \qquad \sqrt{\dfrac{8.1}{0.004}} = f \cdot 1.8$



$f=250Hz$

$18(n-1)=15n$

$n=6 \quad L=15\times6=90=0.9m \quad \lambda=1.8m$

範例 28：

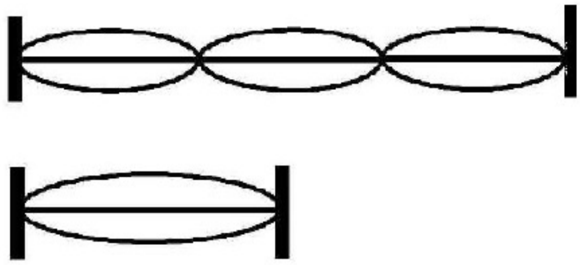
【解答】$\frac{L}{\sqrt{6}}$

【解析】

$f_{A3}=f_{B1} \qquad f=\frac{v}{\lambda}=\frac{nv}{2L}=\frac{n\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2L}$

$\frac{3\sqrt{\frac{T}{\mu}}}{2L}=\frac{1\sqrt{\frac{3T}{2\mu}}}{2x}$

$x=\frac{L}{\sqrt{6}}$



範例 29：

【解答】(B)

【解析】

6 個波包=第六諧音，基音頻率=$\frac{f}{6}$

$v=\sqrt{\frac{F}{\cancel{\mu}}}=f\cancel{\lambda}$

弦長不變，基音的λ、μ不變

新基音 $=2\times\frac{f}{6}=\frac{f}{3}$，找其整數倍，

故選(B) $\frac{f}{3}$

範例 30：

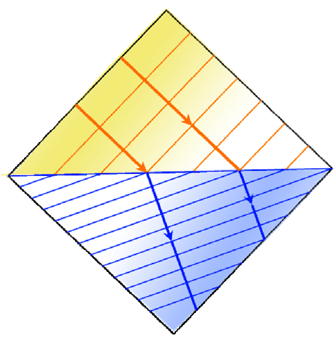
【解析】

(1) $\frac{\sin 53^o}{\sin\theta_2}=\frac{1.6}{1.2}=\frac{4}{3} \qquad \theta_2=37^o$

(2) 1:1 　　(f 不變)

(3) $n_{深淺}=\frac{1.6}{1.2}=\frac{4}{3}$

(4) $\frac{28}{v_2}=\frac{1.6}{1.2} \qquad v_2=21{cm}/{s}$



進階挑戰

【解答】CE

【解析】

若以不為零的入射角射入，折射線不會垂直介面故 AD 錯誤

入射線與折射線應該法線兩側，故 B 錯誤

若進入速度較小的介質，偏向法線，波長變小，故 C 正確

若進入速度較大的介質，偏離法線，波長變大，故 E 正確

範例 31：

【解答】(1)左邊第 1 條節線上　(2)左邊第 1 條腹線上　(3)右邊第 2 條腹線上

【解析】

(1)PS_1-PS_2= -2= -0.5λ

(2)PS_1-PS_2= 6-10= -4=-λ

(3) PS_1-PS_2= 12-4 = +8= +2λ

範例 32：

【解答】1. <u>節線有 6 條，腹線有 7 條</u>　2. <u>節線有 7 條，腹線有 6 條</u>

【解析】

(1)老師，我是公式派的!

節線: $N=2\left[\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]=2\left[\frac{12}{4}+\frac{1}{2}\right]=6$

腹線: $N=2\left[\frac{d}{\lambda}\right]+1=2\left[\frac{12}{4}\right]+1=7$

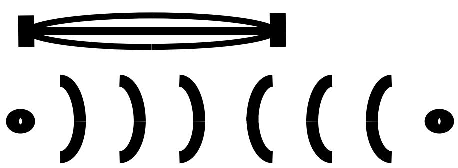
(2)老師，我是觀念派的!

d=12=3λ ➡退化腹線

節線:PS_1-PS_2=±0.5λ，±1.5λ，±2.5λ

腹線: PS_1-PS_2= 0，±λ　，±2λ　，±3λ

(3)老師，我是畫圖派的!



一個波包=半波長

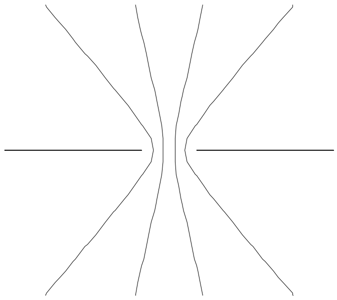
節線有 6 條，腹線有 7 條

2.反相的波源，則結果則和第 1 題相反:7 條節線，6 條腹線

範例 33：

【解答】(1) 6　(2) 4

【解析】



(1) d=10cm=2.5λ

$$N=2\left[\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]$$

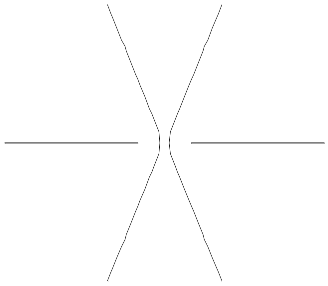
$$=2\left[2.5+0.5\right]=6$$

(2)在振源之間有 4 條節線（扣除左右兩條退化的節線）

範例 34：

【解答】(1) $1.5\lambda\le d<2.5\lambda$　(2) $d<0.5\lambda$

【解析】



(1) $2\left[\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]=4\Rightarrow 2\le\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}<3$

$$1.5\le\frac{d}{\lambda}<2.5\Rightarrow 1.5\lambda\le d<2.5\lambda$$

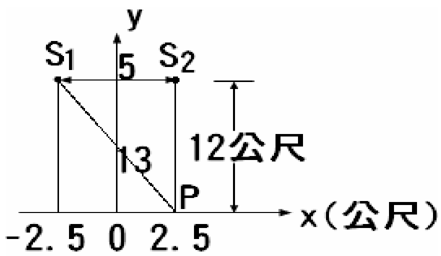
(2) $2\left[\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]=0\Rightarrow 0\le\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}<1$

$$0\le\frac{d}{\lambda}<0.5\Rightarrow d<0.5\lambda$$

範例 35：

【解答】(B)

【解析】



$PS_1-PS_2=0.5\lambda=13-12=1$

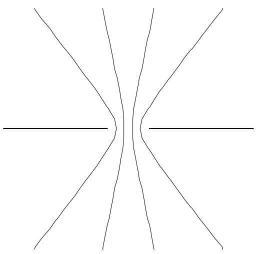
λ=2 m

$$f=\frac{v}{\lambda}=172Hz$$

範例 36：

【解答】2 次

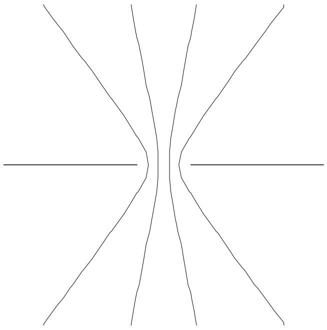
【解析】d=2.5λ 有退化節線

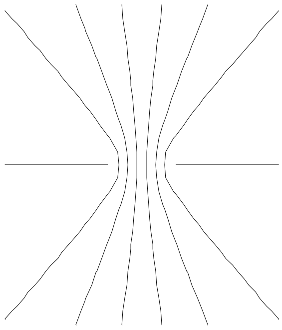


範例 37：

挑戰 1：

【解答】10 次





挑戰 2：

【解答】3.5λ

【解析】

14÷4 不整除➡有退化節線!

14=6+2+6　　d=7×0.5λ=3.5λ

挑戰 3：

【解答】2.5λ

【解析】

10÷4 不整除➡有退化節線!

10=5+2+5　　d=5×0.5λ=2.5λ

挑戰 4：

【解答】2.5λ < d < 3.5λ

【解析】12÷4＝3 整除➡無退化節線!

2.5λ < d < 3.5λ

範例 38：

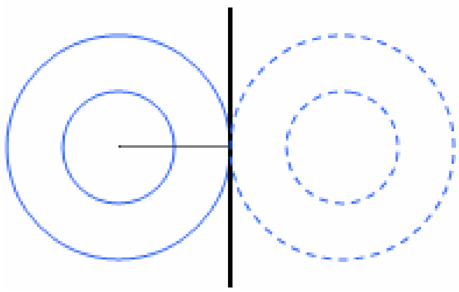
【解答】4

【解析】

d= 4λ 且為同相波源

$$2\left[\frac{4\lambda}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]=8$$

但只有半邊，故為 4 條



範例 39：

【解答】

【解析】

(1) $N=2\left[\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}\right]=2\left[\frac{10}{2}+\frac{1}{2}\right]=10$

(2) 3 個

$$x - y' = -4.5\lambda = -9$$

(3)
$$y'^2 - x^2 = 10^2 \Rightarrow (x+9)^2 = 10^2 + x^2 \Rightarrow x = \frac{19}{18}cm$$