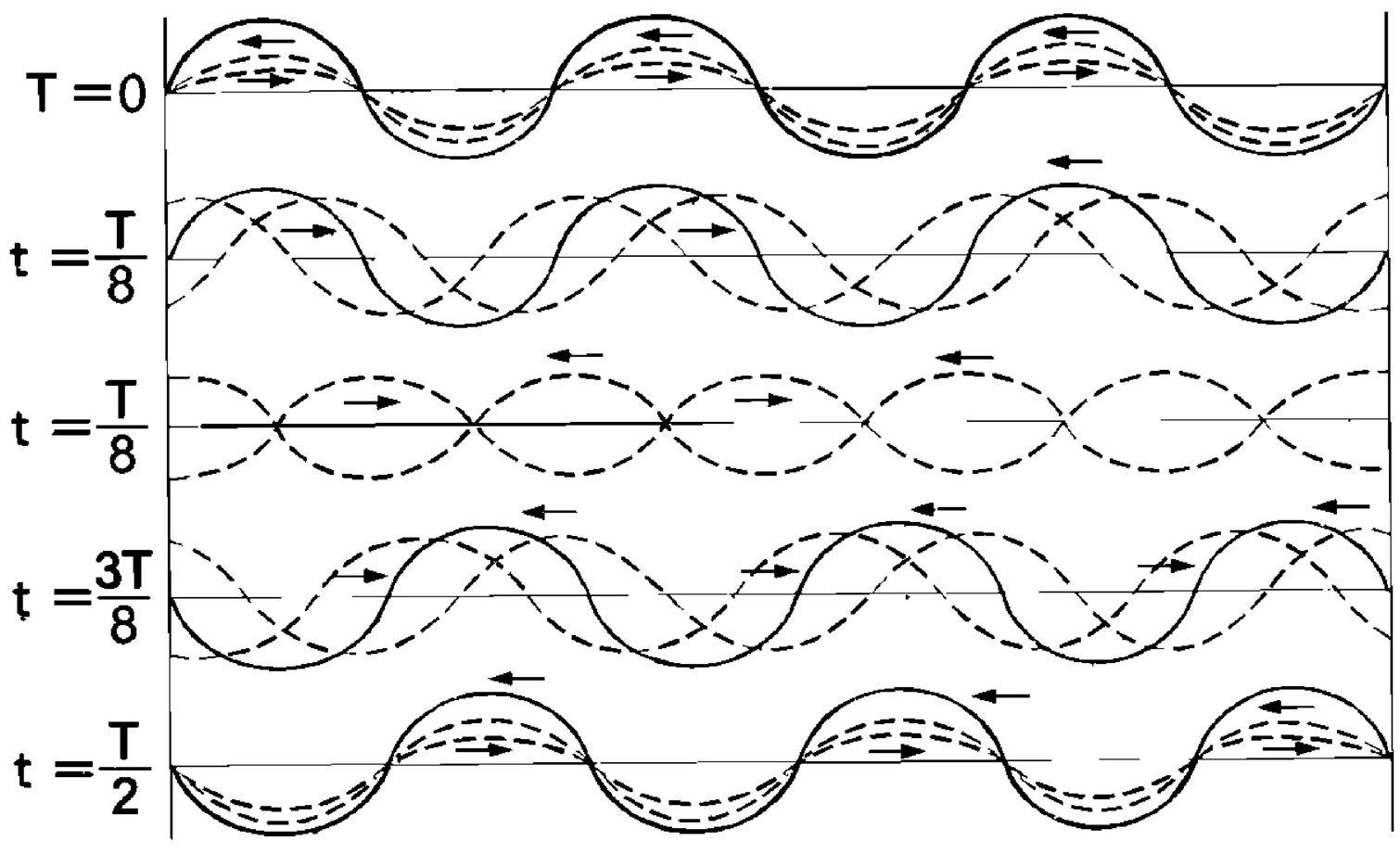
PHYSICS

第十三章&第十四章

波



_____年 _____班 _____號

姓名：_____

吳錫玠老師 編授

13-1 波的基本性質

例1. 下列敘述何者正確？ (A)波能夠傳遞動量 (B)波能傳遞能量 (C)波能傳遞介質的質量 (D)波必須靠介質才能傳播 (E)在同一介質中傳播的波，當頻率加倍後，傳播速度亦加倍。答：(A)(B)

類 1.力學波在傳遞時，下列那一項並不是被波傳遞？ (A)擾動 (B)能量 (C)介質質點 (D)波形。答：(C)

類 2.下列何者爲橫波？何者爲縱波 (A)聲波 (B)繩波 (C)彈簧波 (D)光波（E）水波 (F)十字路口紅燈下之車隊，當綠燈開始時支出發波。答：(A)縱波；(B)橫波；(C)縱波或橫波；(D)縱波與橫波的混合；(E)縱波

類 3.聲響起，離鐘較近處鐘聲較響，較遠處鐘聲較小。則在離鐘較遠處的鐘聲 (A)聲波的頻率較低 (B)聲波的速度較小 (C)聲波的波長較短 (D)聲波的振幅較小。【84 大考中心題庫】答：(D)

類 4.波動振幅決定該波的： (A)週期 (B)波速 (C)波長 (D)能量 (E)相位。答：(D)

類 5.力學波在實際的傳播過程中不會逐漸改變的性質是什麼？ (A)頻率 (B)波長 (C)振幅 (D)能量。答：(A)

類 6.下列敘述何者正確？ (A)波動可以傳播能量 (B)波之傳播，必須依靠介質 (C)理想情況下，同一介質中波動爲等速運動 (D)正弦波的質點，在彈性繩上作簡諧運動 (E)繩上的波向前傳播，而質點原地振動。答：(A)(C)(D)(E)

類 7.下列有關波動現象中，哪些正確的？ (A)傳遞介質的質量 (B)傳遞能量 (C)有干涉現象 (D)密度大的介質中傳遞的速度亦大 (E)在介質界面可能產生部分反射與部分折射。答：(B)(C)(E)

13-2 週期波

※v=f×λ

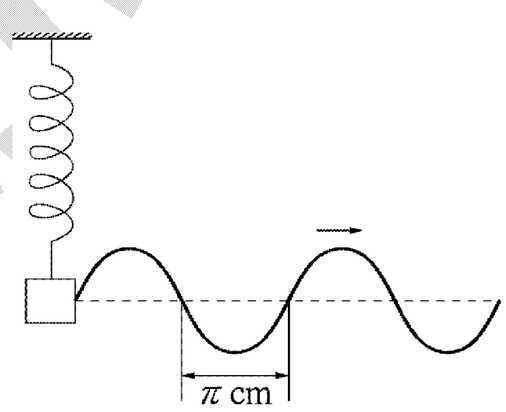
例2. 長均為 18 米之輕重不同之兩彈簧相連接，今在輕彈簧之外端以 3 次/秒之頻率振動，經 5 秒波傳至彈簧外端，已知波在輕重兩彈簧中速率之比為 3：2 求

(a)波在輕重兩彈簧之速率各為若干？答：$V_{輕}=9m/s$，$V_{重}=6m/s$

(b)在兩彈簧上之波長為若干？答：$\lambda_{輕}=3m$，$\lambda_{重}=2m$

(c)兩彈簧之頻率比為若干？答：1：1

類 1.有一均勻的彈性繩連接至懸掛於彈簧下端的物體上，當物體在鉛直向作振動時，彈性繩隨之產生連續正弦週期波，如下圖所示，若彈力常數為 160 N/m，物體質量 400 克，則正弦波的波速為多少 m/s？ (A)0.1 (B)0.2 (C)10 (D)20。答：(B)

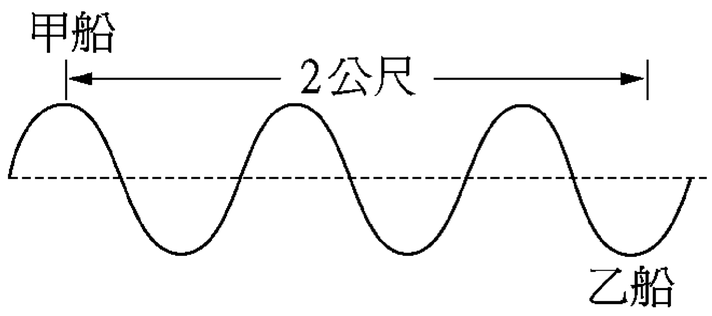


類 2.電磁波在真空中之速度是 $3.00\times10^{8}m/s$，求下列波之波長：

(1)AM 電臺所發出的 1000 千赫波。

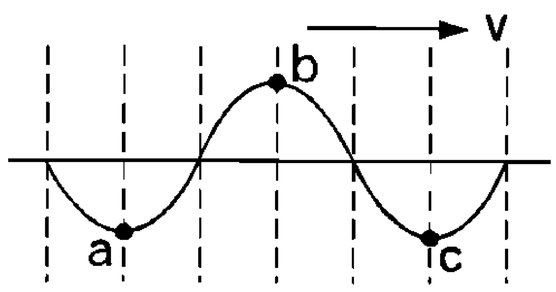
(2)FM 電臺所發出的 100 百萬赫的波。答：(1)300m；(2)3m

類 3.停在湖中的兩條船，相距 2 公尺，一列水波在湖面上傳播開來，使得這兩條船每 2 秒搖晃一次，當一條船在波峰時，另一條船在波谷，中間還隔著兩個波峰。水波的波速為： (A)40 公分／秒 (B)60 公分／秒 (C)80 公分／秒 (D)100 公分／秒。答：(A)



同上題，這列水波的波長為： (A)40 公分 (B)60 公分 (C)80 公分 (D)100 公分。答：(C)

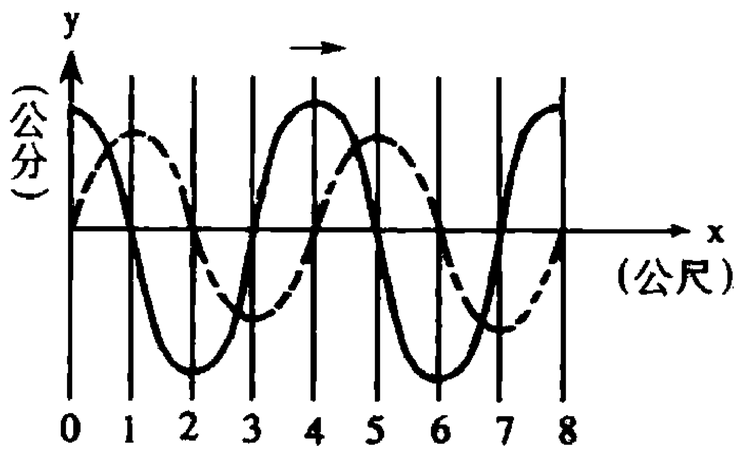
類 4.一波列在均勻介質中的傳播方向，如右圖所示，已知 c 點為波谷的時刻與 b 點為波谷的時刻相差 0.5 秒，a、b 間的水平距離為 2.0 公尺，那麼最小波速為_____公尺/秒；此波的頻率為_____赫。答：4；1



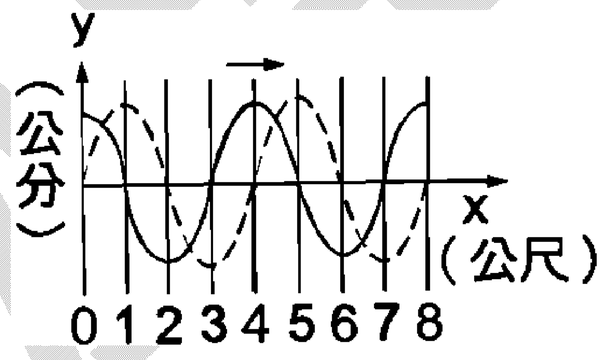
類 5.在標準狀況下，頻率為 30 週/秒至1.5×10^{4} 週/秒之間的聲波是為常人聽覺所能感受的，當時聲速為 330 米/秒。今試問在下列諸項中，那一項是相當於常人所能聽得到的空氣中聲音之波長 (A)5.0×10^{2} (B)5.0×10 (C)5.0×10^{-2} (D)5.0×10^{-4} (E)5.0×10^{-6} 米。【大學聯考試題】答：(C)

※v=f×λ

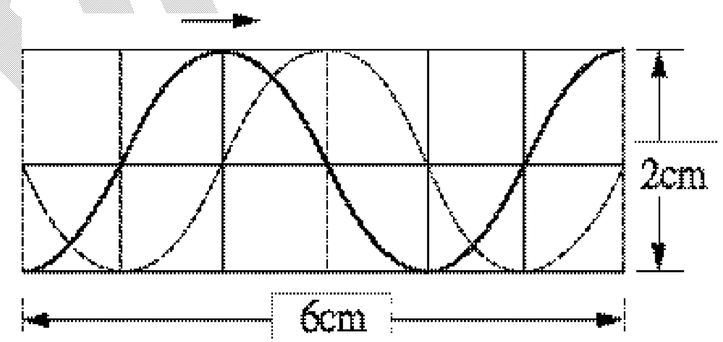
例3. 圖中實線為一列向右方行進的橫波在 t=0 時的波形，而虛線則為此列橫波在 t=0.5 秒時的波形，若此列橫波的週期為 T，且 0.3 秒<T<0.5 秒，則此列橫波的波速為 (A)34 公尺/秒 (B)26 公尺/秒 (C)18 公尺/秒 (D)10 公尺/秒 (E)2 公尺/秒。【81 年大學】答：(D)



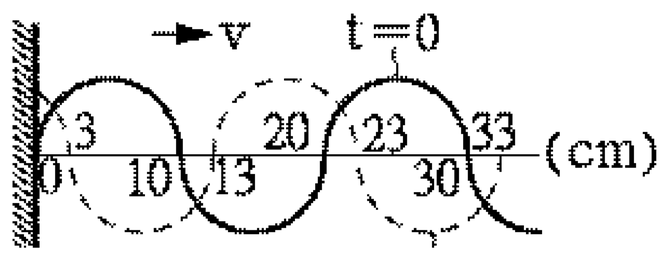
類 1.圖中實線為一列向右方行進的橫波在 t=0 時的波形，虛線則為此列橫波在 t=0.5 秒時的波形，若此列橫波的週期為 T，且 0.15 秒<T<0.18 秒，則此列橫波的波速為 (A)34 公尺/秒 (B)26 公尺/秒 (C)18 公尺/秒 (D)10 公尺/秒 (E)2 公尺/秒。答：(B)



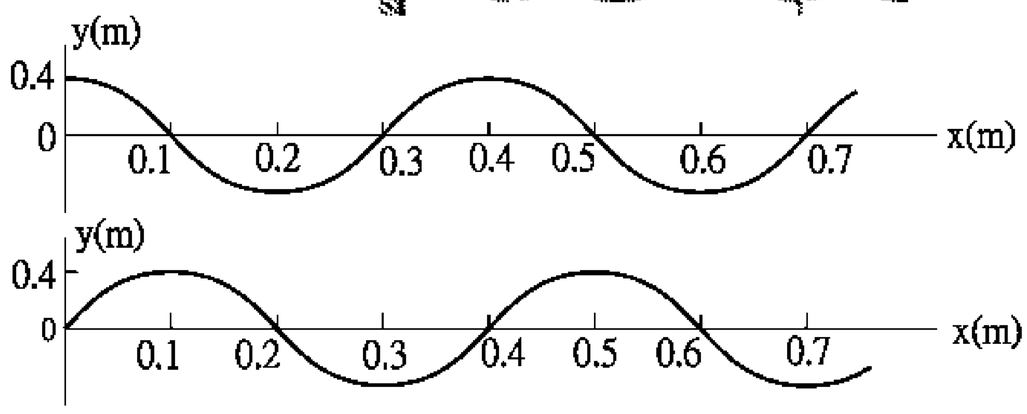
類 2.圖中實線位置的波形，經 0.1 秒向右傳播至虛線位置，已知週期 T 的大小，$\frac{1}{35}$ 秒 $<T<\frac{1}{25}$ 秒，波速為 _____ $cm/\sec$。答：130



類 3.在 t=0 及 t=2 秒波的位置如圖，則可能的波速為何？(A)1.5 (B)6.5 (C)11.5 (D)16.5 (E)36.5 $cm/\sec$。答：(B)(D)(E)



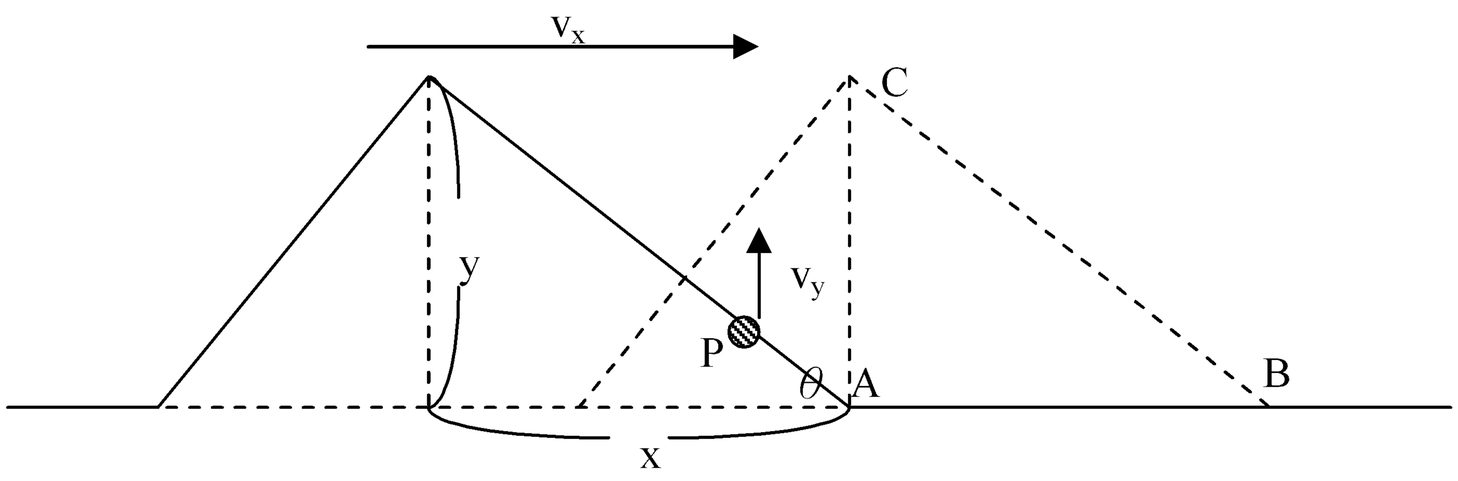
類 4.某連續週期波由下圖(a)變成下圖(b)，歷時 0.25 秒，則此波之波速為_____m/s。答：



類 5.有一對夫妻因為感情不好就離婚了。
後來離婚之後，那太太就再嫁；再嫁的時候，沒想到她的前夫很沒有風度，就到這個結婚的教堂裡面找碴！
他就走到這個新郎跟新娘前面，然後跟這個新郎講一句話說：「沒什麼了不起，都是別人用過的舊貨！」
結果新郎官果然馬上臉色就變，就很不高興啊！
那新娘子呢，就很溫柔的看一看前夫，再看一看新郎，然後跟新郎講一句話說：「沒有關係！只有前面一吋是舊的，後面通通都是新的！?」

※質點的振動速度

右圖為一行進波，設波速為 $\mathbf{v_x}$，質點的振動速度為 $\mathbf{v_y}$。當波在 Δt 時間內由 **A** 點移動到 **B** 點時，質點 **P** 亦同時由 **A** 點移至 **C** 點，故



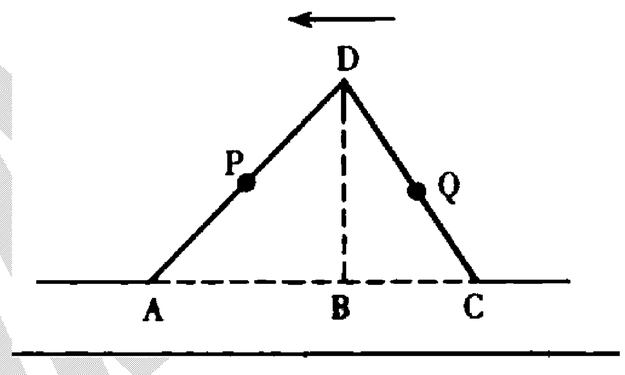
$$\begin{cases} v_x = \dfrac{x}{\Delta t} \\ v_y = \dfrac{y}{\Delta t} \end{cases} \Rightarrow \frac{v_y}{v_x} = \frac{\frac{y}{\Delta t}}{\frac{x}{\Delta t}} = \frac{y}{x} = \tan\theta \Rightarrow v_y = v_x \times \tan\theta$$

例4. 右圖表示一三角形脈波向左傳播速度為 100cm/s，

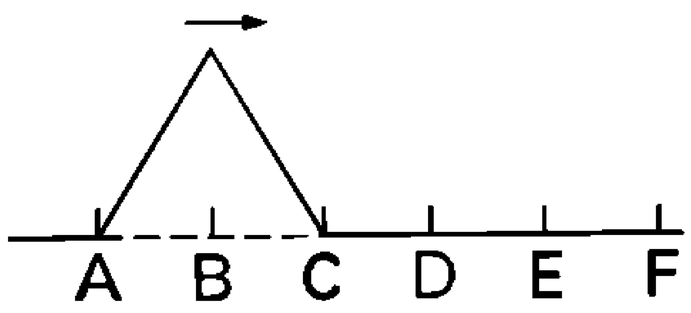
AB=10cm，BC=5cm，BD=10cm

(A)求 P、Q 點之瞬時速度？答：P 點 100cm/s；Q 點 200cm

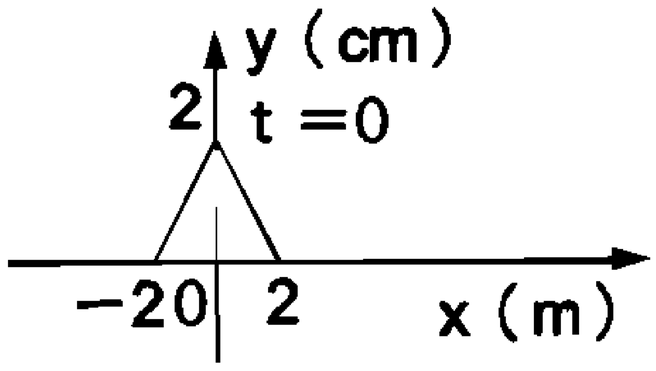
(B)繪出其質點振動速率與位置圖。



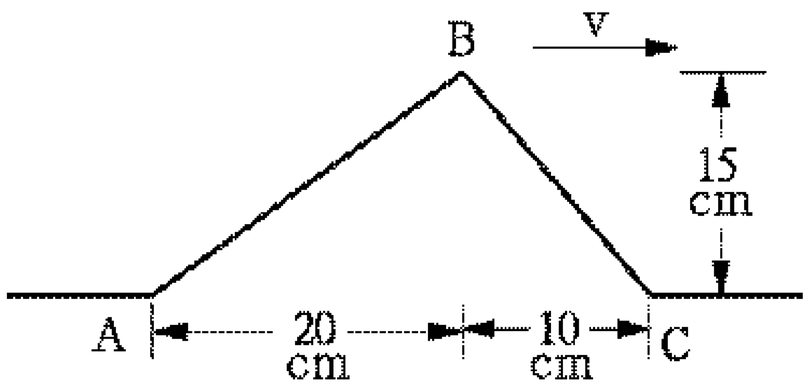
類 1.右圖中，實線正三角形代表第 0 秒時的脈動，圖中直線上，相鄰各點間隔均為 20cm，而脈動傳播速率均為 40cm/s，試求在第 3/4 秒時？ (1)D 點的位移為何？ (2)D 點的速度為何？答：(1)$10\sqrt{3}$ cm；(2)$40\sqrt{3}$ cm/s



類 2.有一沿正 x 向的行進脈動，波速為 2cm/s，時刻 t=0 的波形如右圖所示，求 y=y(x，t)的 (1)y(0，0)=？(2)y(1，0)=？(3)y(1，1)=？ (4)y(3，1)=？ (5)t=1，x=3 處質點的振動速度。答：(1)2cm；(2)1cm；(3)1cm；(4)0cm；(5)0.02cm/s

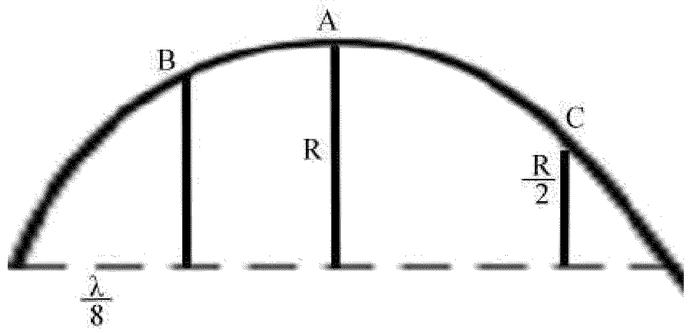


類 3.如圖中，一彈性弦上有一向右行進的三角波，弦上張力 819.2 牛頓，弦密度 0.2kg／m，則波的傳播速率為_____$cm/\sec$，在 AB 弦內一質點的振動速率為_____$cm/\sec$。答：(1)64；(2)48

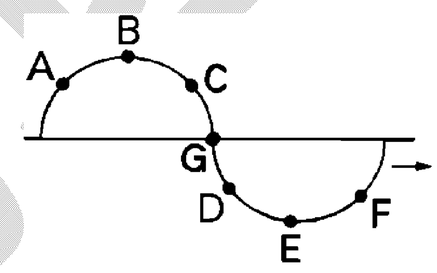


※質點的振動速度

例5. 如圖表示一連續週期波某時刻的波形，週期為 T，振幅為 R，波長 λ。A 波峰位置，B 距平衡點 $\frac{\lambda}{8}$，C 點的振幅為波峰振幅的一半，D 點為平衡點，求 (1)A 點振動的速度？加速度？ (2)B 點振動的速度？加速度？ (3)C 點振動的速度？加速度？(4)D 點振動的速度？加速度？

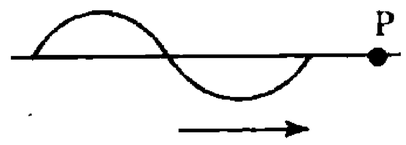


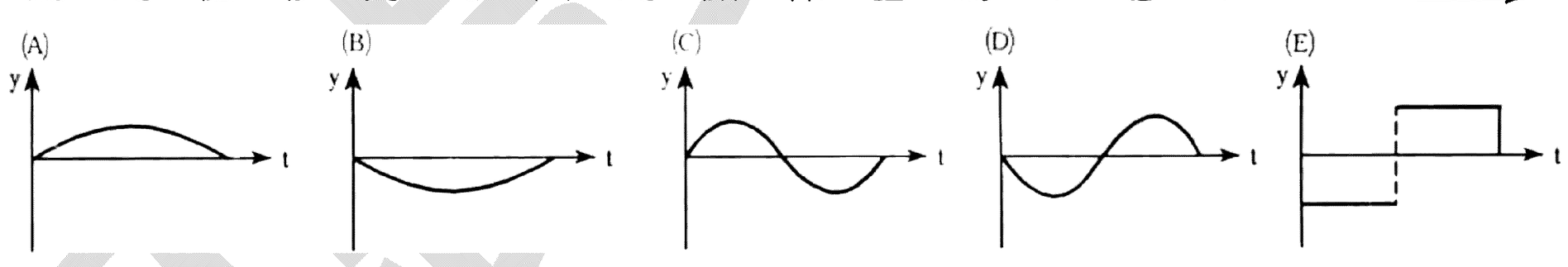
類 1.一正弦的波動沿彈簧向右前進，則如圖示的瞬間 (A)A、F 點瞬時速度方向向下 (B)C、D 點瞬時速度方向向上 (C)B、E 點瞬時速率最大 (D)G 點瞬時速率最大 (E)B、E 點瞬時加速度大小為最大。答：(A)(B)(D)(E)



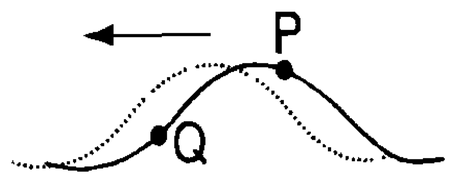
類 2.在彈性弦上有一週期為 π 秒，振幅 8cm 的連續正弦波，則弦上介質振動的最大速率為 _____ $cm/\sec$。答：16

類 3.有一正弦曲線形脈動，在彈簧上向右運動如右圖，則下圖何者可能為 P 點之位移對時間之關係圖為：答：(D)

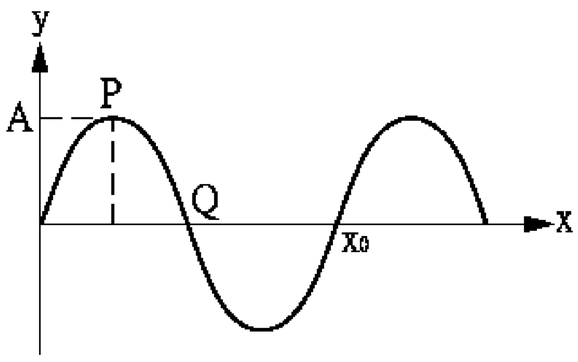




類 4.右圖表示一向左前進的橫波，實線為此波在某一瞬間的波形，虛線為在很短的時間後，波的位置，與波形。則圖上 P 點及 Q 點的瞬間運動方向如何？ (A)P 點向上運動 (B)P 點向前運動 (C)Q 點向下運動 (D)Q 點向上運動。答：(D)



類 5.如圖表示一連續週期波某時刻的波形，P 點為波峰位置，Q 點為平衡位置，則下列敘述何者正確？ (A)P、Q 兩點的水平距離為 $\frac{1}{4}x_o$ (B)頻率增倍，則 P、Q 兩點的水平距離變為 $\frac{1}{2}x_o$ (C)此連續週期波的振幅為 A (D)P 點處的介質振動加速度為零 (E)Q 點處的介質振動速度為零。答：(A)(B)



※$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$(v：波速，F：張力，μ：線密度)

例6. 一弦長 10 公尺，質量為 100 克，兩端施以 5 公斤的拉力，並使之連續振動產生週期波，每秒振動 70 次，則波長為若干？答：1 公尺

類 1.長 20 m 長橡皮管，總質量爲 1 kg，其一端固定而另一端接上一根線繞過滑輪並懸一個 10 kg 砝碼，管在一端受敲擊，則脈波到達另一端須時_____秒。答：0.45

類 2.一弦長 10 公尺，質量爲 100 克，兩端施以 6 公斤的拉力，並使之連續振動產生週期波，每秒振動 60 次，則波長爲若干？答：1.28 公尺

類 3.某緊張繩一端作一頻率 10 赫的週期橫向運動，繩長 50 米總質量是 0.5 仟克，張力 400 牛頓，求

(a)繩中的波速與波長？答：V=200m/s；$\lambda=20m$

(b)若張力增爲 2 倍，欲得相同的波長，則頻率變更若干？答：$10\sqrt{2}$ Hz

類 4.一彈簧之力常數爲 k，原長爲 L_o，當其總長爲 $2L_o$ 及 $3L_o$ 時，波動在其中之傳播速率比爲若干？答：1：$\sqrt{3}$

類 5.一遵守虎克定律之均勻彈性繩，其長度爲 L，此彈性繩均勻拉長至 1.2 L 之長度，並將其兩端固定，測得繩上橫波之波速爲 V；今將此彈性繩再均勻拉長至 1.6 L，並將其兩端固定，則繩上橫波之波速應爲_____。答：2v

類 6.有一對夫妻，個性保守的他們，將「做愛」這敏感的字眼稱之爲「打字機」。

有天，老公想做，於是跟老婆說：「老婆，打字機今晚可以借我嗎？」

「不要，今晚我心情不好。」老婆說

到了晚上，老婆突然又想要做：「親愛的老公～　我現在可以借你打字機喔！」

「喔...」老公說「不必了，我剛用手寫完了。」

13-3 波的重疊原理

※重疊原理

兩波在同一介質相向行進而重疊時，重疊範圍內介質的質點同時受到兩個波的作用。若波動的振幅不大，重疊範圍內介質質點的振動位移等於個別兩波動所造成位移的向量和，此稱為波的重疊原理**(principle of superposition for waves)**。

若介質質點受到兩波造成的位移分別為 $\mathbf{y_1}$ 和 $\mathbf{y_2}$，則實際上質點的合成位移 **y** 為：

$$y = y_1 + y_2$$

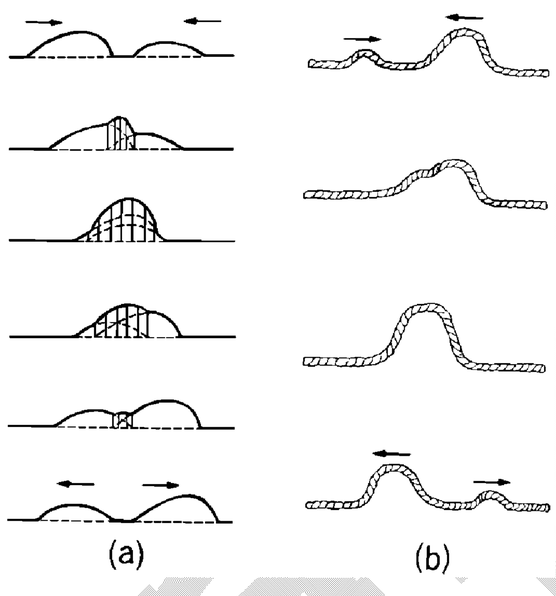
上式中，質點的位移 $\mathbf{y_1}$ 和 $\mathbf{y_2}$ 可有正負，定振動的其中一方向為正，則另一方向之位移為負。

若介質質點受到兩波造成的振動速度分別為 $\mathbf{v_1}$ 和 $\mathbf{v_2}$，則實際上質點的合成速度 **v** 為：

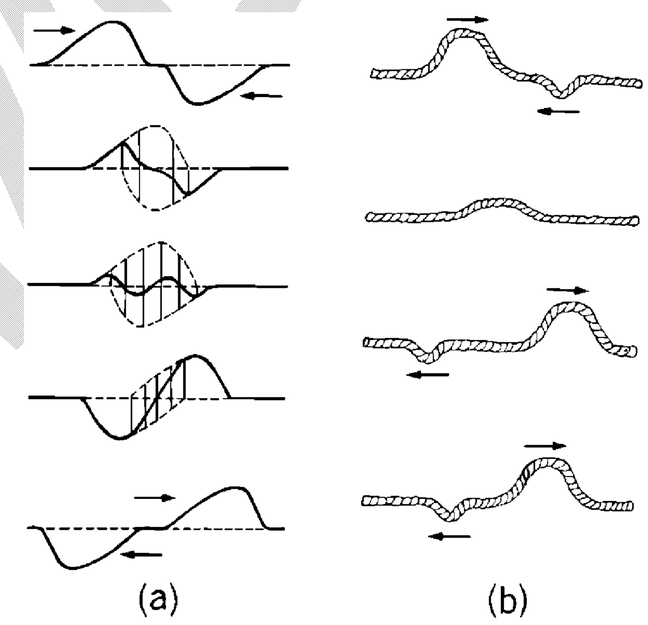
$$v = v_1 + v_2$$

上式中，質點的位移 $\mathbf{v_1}$ 和 $\mathbf{v_2}$ 可有正負，定振動的其中一方向為正，則另一方向之速度為負。

兩波交會重疊時，質點的位移，為質點受到個別波動時之位移的和。



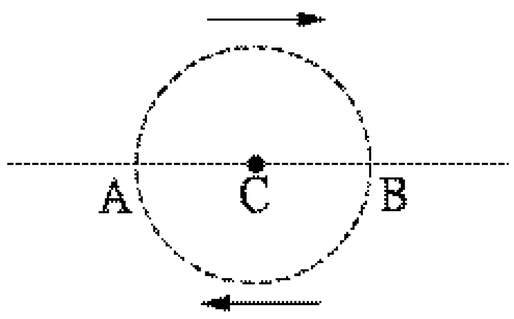
波形上下相反的兩脈動重疊時，質點的振動位移為兩個位移之代數和。



例7. 兩波相遇，而互相重疊時 (A)合成波振幅可能會較原來的波為小 (B)其質點振動速度必為零 (C)當兩波交會後，其振幅必變小 (D)當兩波交會後其波速不變 (E)當兩波交會後，其波形不變。答：(A)(D)(E)

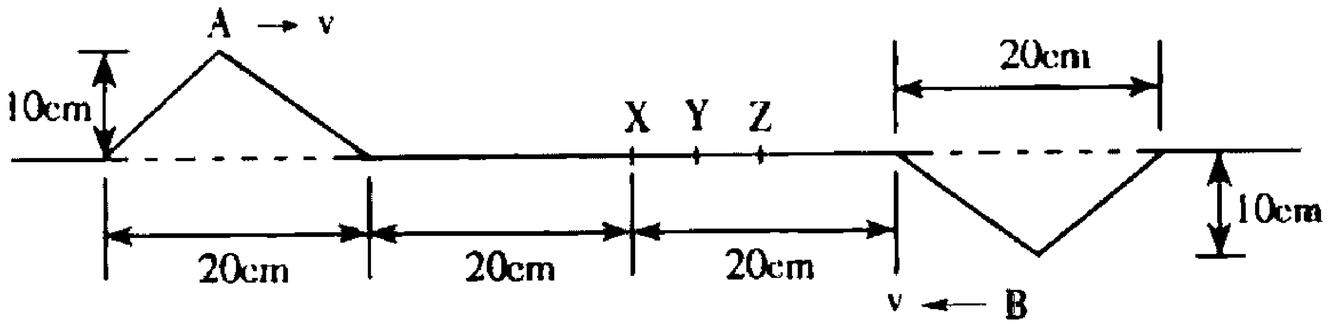
類 1.所謂重疊原理，是指兩波相會時： (A)波速相加 (B)波長相加 (C)頻率相加 (D)週期相加 (E)位移相加。答：(E)

類 2.如圖為二形狀相同而上下顛倒的脈動重疊情況，下列敘述何者正確？ (A)合成脈動每點均靜止 (B)合成脈動每點均向上運動 (C)合成脈動每點均向下運動 (D)A、C 之間向上，C、B 之間向下運動 (E)A、C 之間向下，C、B 之間向上運動。答：(E)



※重疊原理

例8. 如下圖所示，兩自身對稱，形狀相同之脈動 A、B 相向傳播，傳播速率為 10cm/s，X 為兩脈動間的中央點，Y 在 X 的右邊 5cm，Z 在 Y 的右邊 5cm。

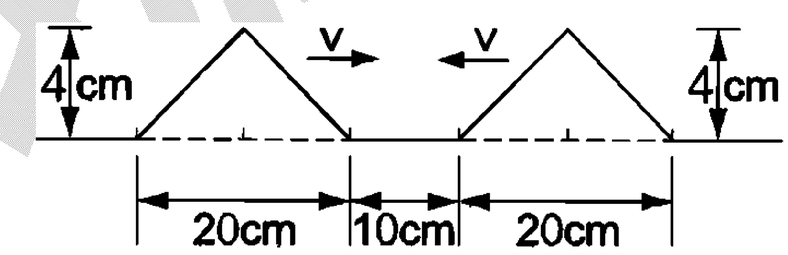


(1)如圖所示瞬間，再經 2 秒，Y 的位移為_____cm，Z 的位移為_____cm，Y 的振動速度為_____cm/s。答：5，10，10

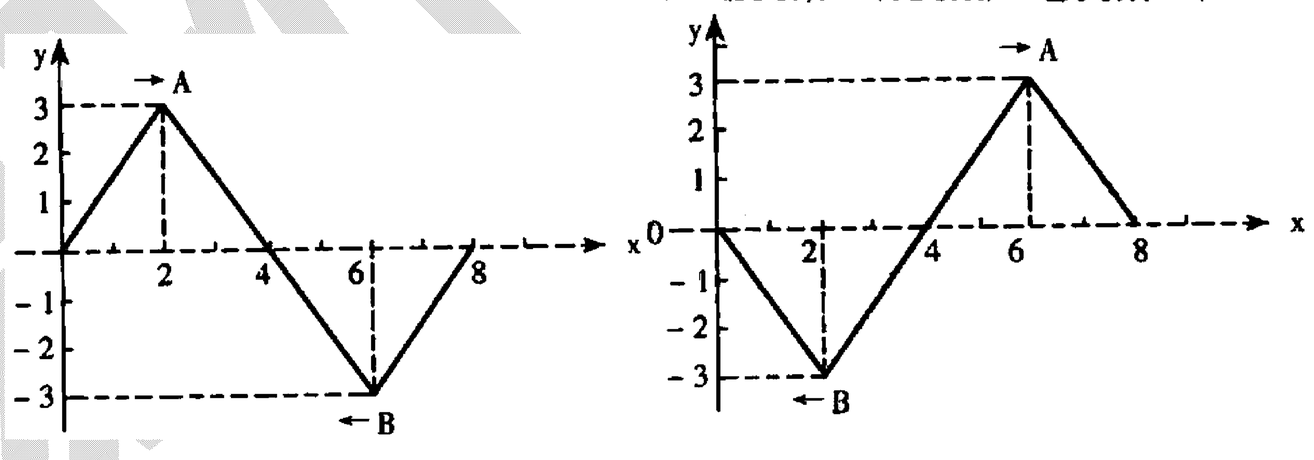
(2)再經 0.5 秒，Y 的位移為_____cm，x 的振動速度為_____cm/s。答：10，0

(3)再過 0.5 秒，Y 的位移_____cm，Y 的振動速度_____cm/s。答：0，20

類 1.波速 20cm/s 之二脈動自圖示位置經 0.5 秒後之瞬間，合成脈動上之質點振動速率為何？答：16cm/s



類 2.一繩上正在傳遞正立及倒立的兩個三角形波 A 及 B。設在 t=0 時，其波形如左圖所示，而在 t=T 時，繩上的波形變成右圖。則在 t=T/4 時的波形為何(畫圖表示，並標明縱軸與橫軸之刻度)。【78 年大學】

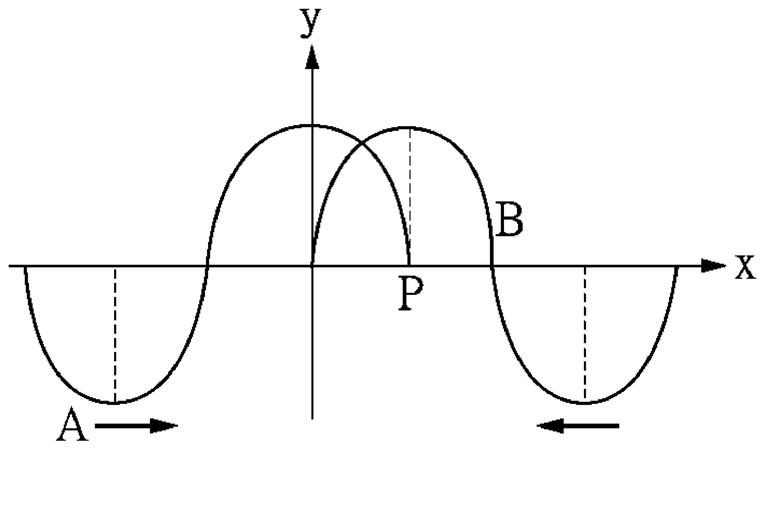


類 3.兩正弦波在同一繩上相向行進，振幅各為 4cm 及 3cm，兩波交會期間，繩上質點的振動位移最小量值為_____cm。答：0

類 4.兩相同正弦波在同一彈性弦上反向行進，於某時刻波前在 P 點交會，如圖，設兩波的振幅為 10 公分，波長為 30 公分，週期 1 秒，試求

(1)此時刻 P 點之加速度為何？

(2)再經 $\frac{1}{8}$ 秒，P 點之位移為何？答：(1)$a=40\pi^2(cm/s^2)$；(2)$10\sqrt{2}\,(cm/s^2)$



※相位

1.同相：兩正弦波在同一繩上行進，在某一時刻兩波的波峰同時抵達同一位置，我們稱此時兩波同相**(in phase)**。兩波同相干涉時有最大的振幅。

2.反相：兩正弦波在同一繩上行進，若兩波其中一波的波峰和另一波的波谷同時抵達同一位置，稱為反相**(out of phase)**。兩波反相干涉時，合成波的振幅最小，

3.加強性(建設性)干涉：如果合成波的振幅較原來每一個波的振幅大，稱為加強性干涉**(constructive interference)**。

4.相消性(破壞性)干涉：如果合成波的振幅較原來每一個波的振幅小，稱為相消性干涉**(destructive interference)**。

例9. 兩週期相同，波長相同的正弦波，沿同一繩上同方向行進而會合，其合成波 (A)仍為行進波 (B)波幅必增大 (C)波幅必減小 (D)若相角差 $\phi=\pi$ 時，波幅最小 (E)若相角差 $\phi=0$ 時，波幅最大。答：(A)(D)(E)

註：相角差 $\phi=0$，即相差 0 或稱同相，相角差 $\phi=\pi$，相差 P=1/2，即反相

類 1.兩脈動波相向進行而完全交會時，下列何者不真？ (A)若波形完全抵消時，質點振動速度最大 (B)若波形完全抵消時，波速為零 (C)若波形最大時，質點振動速度為零 (D)波動速度與合成波形無關 (E)質點振動速度與合成波形無關。答：(B)

類 2.設有相同頻率及波長的兩個波互相重疊，互相干涉，二波之振幅分別為 A 及 3A，則：

(a)二波之相位差為多少才能達到最大之合振幅？此時合振幅為多少？答：P=1 或 0，4A

(b)二波之相位差為多少才能達到最小之合振幅？此時合振幅為多少？答：P=0.5，2A

類 3.從前有位恃才傲物的縣太爺。這天，辦了一場鄉親聚會，愛現的他，便開口說：

「衙門兩邊開，縣爺坐中間；兵卒站兩旁，大告小告儘管來。」

有位和尚聽完，馬上也說：

「佛門兩邊開，佛祖放中間；和尚跪兩旁，大拜小拜請進來。」

在旁的 3 姑一聽，心想「哼！以為我不會啊！」馬上站起來說：

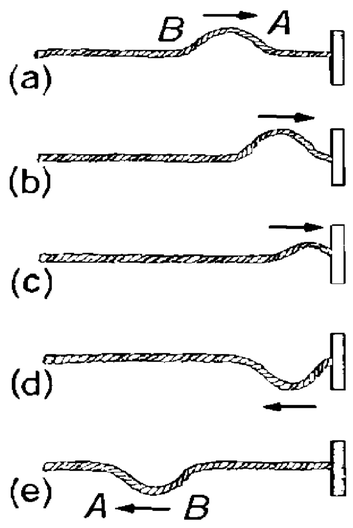
「大腿兩邊開，香穴在中間；雜草生兩旁，大枝小枝來來來。」

13-4 繩波的反射和透射

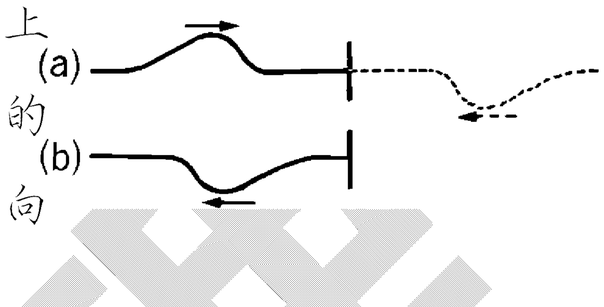
※固定端與自由端

1.固定端

繩波在固定端反射時，上下顛倒而左右相反。

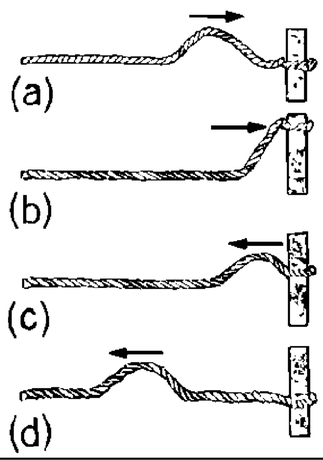


固定端反射的波，可想像從固定端之牆後，有一上下顛倒且左右相反的波，從固定端的後面反向行進而來。

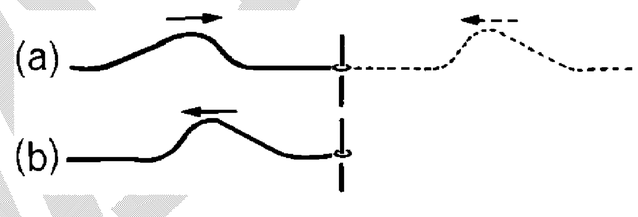


2.自由端

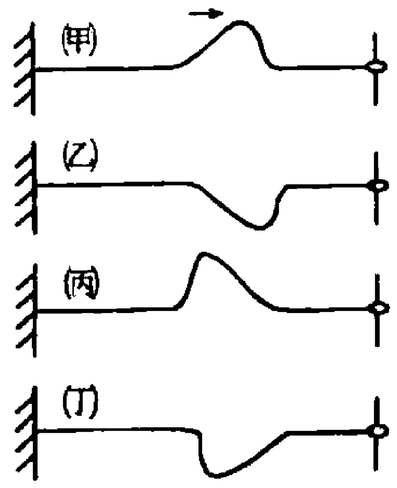
繩波在自由端反射時，上下不顛倒而左右相反。



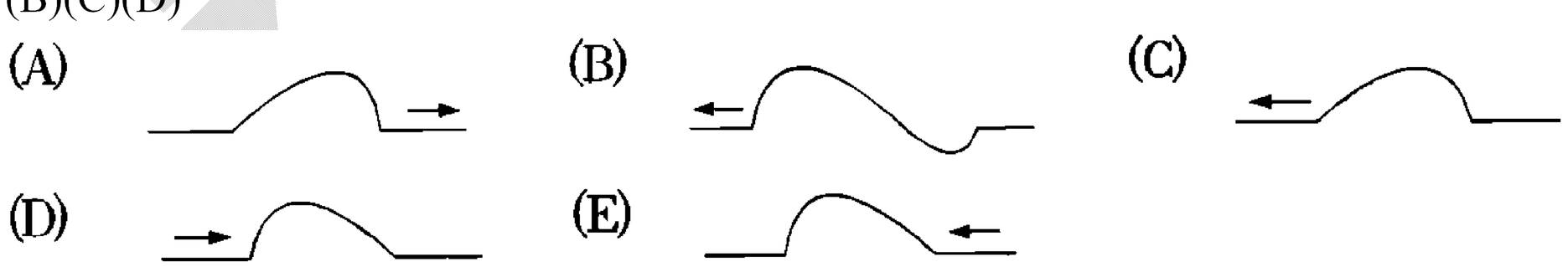
自由端反射的波，可想像從自由端之棒後，有一上下不顛倒而左右相反的波，從自由端的後面反向行進而來。



例10. 一弦左端固定，右端可自由上下滑動。在 t=0 時，一波向右行進如(甲)圖所示。則 t>0 以後，由於波在兩端點的反射，下列(乙)、(丙)及(丁)各波形首次出現的先後順序為：(A)(乙)(丙)(丁) (B)(乙)(丁)(丙) (C)(丙)(乙)(丁) (D)(丙)(丁)(乙) (E)(丁)(乙)(丙) 。【80 大學】答：(C)



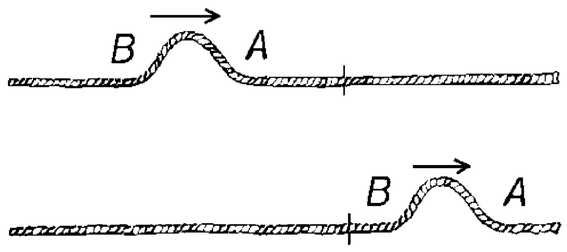
類 1.如右圖所示之脈動波發生於一繩上，稍後即觀察到繩上有一反射脈動波折返通過。所示各脈動波，何者不可能是原來脈動波之反射波？答：(B)(C)(D)



小表妹到丫寶家玩，第一次和男生洗澡，小表妹對丫寶的"ㄨㄨ"十分好奇，一直伸手要抓，丫寶很生氣的說：「不可以給你玩，你把自己的都玩丟了，我的不可以給你玩。」

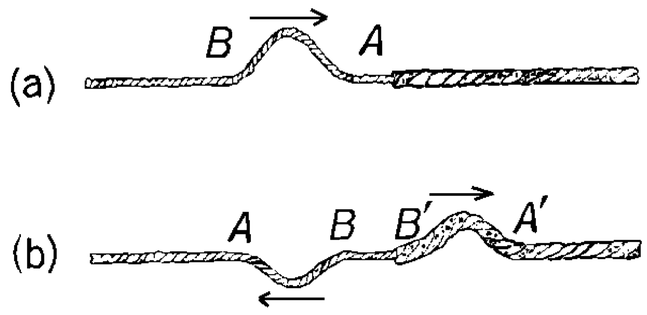
※輕繩與重繩的透射波與反射波

1.兩繩一樣粗



若兩繩粗細完全一樣，脈波全部透射而無反射。

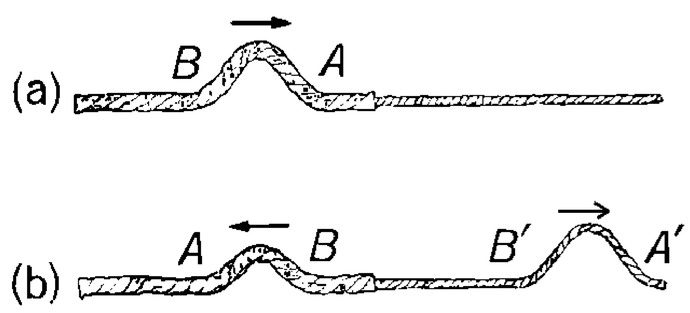
2.輕繩→重繩



圖(a)：脈動由線密度較大的繩進入線密度小者。

圖(b)：反射脈動上下顛倒，左右相反；透射脈動則上下不顛倒，波幅減小。

3.重繩→輕繩



圖(a)：脈動由線密度較小的繩進入線密度大者。

圖(b)：反射脈動上下不顛倒，左右相反；透射脈動則上下不顛倒，波幅增大。

媽媽甄慧生有八個女兒，在同一天出嫁了。

第三天歸寧，媽媽將女兒們找來，問每個人新婚之夜的『感受』…

大女兒說：「就像麥斯威爾咖啡一樣！」

二女兒說：「嗯…就像復興航空一樣。」

三女兒說：「好像那 **Nokia** 手機！」

四女兒沮喪的說：「唉…就像那比爾蓋茲…」

五女兒狀似嬌羞的說：「就像那 **M&M** 巧克力一樣！」

六女兒興奮的說：「啊！就像那凱迪拉克一般～」

七女兒不爽的說：「簡直跟 **MotorolaCall** 機一樣！」

八女兒則打死也不說…

好奇的甄媽媽急著問女兒們是什麼意思？

大女兒：「像麥斯威爾咖啡──滴滴香醇，意猶未盡。」

二女兒：「就像復興航空『每五分鐘直達一班』」

三女兒：「好像 **Nokia** 手機『一機在手，樂趣無窮』」

四女兒：「啊就比爾蓋茲──『**Microsoft** 微軟』」

五女兒：「就像那 **M&M** 巧克力『只溶你手，不溶你口』」

六女兒：「就像那凱迪拉克『長長的感覺，舒服極了』」

七女兒：「就像 **MotorolaCall** 機『良機在握，一觸即發』」

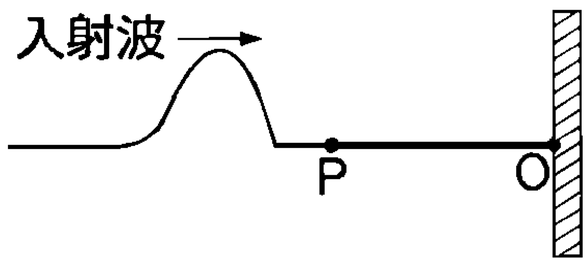
八女兒無耐的說：「就像儷仕洗髮乳『輕輕一撥，就回覆原來的樣子…』」

女兒們反問丫母 **30** 餘年感想。

丫母沉吟：「麒麟一級棒啤酒～～呼乾啦！」

※透射波與反射波的波形

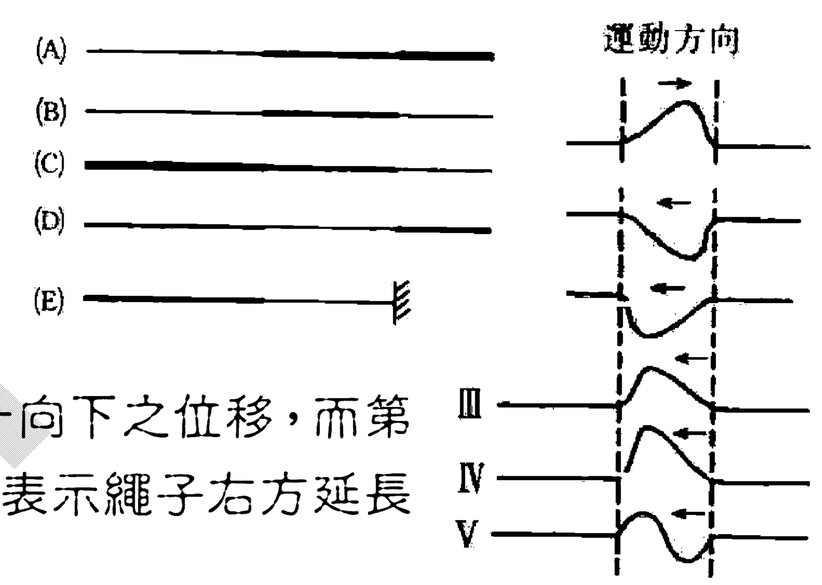
例11. 一線密度較小的輕繩上，有一向右傳遠，向上振動之入射脈波(如右圖所示)。在輕繩與線密度較大之重繩之交接處(P點)，脈波產生第一次反射與透射。第一次透射波傳遞至牆壁上O點反射而回，至P點時再產生第二次之反射與透射。則下列有關脈波在P點之透射波與反射波之敘述，何者為正確？ (A)第一次透射波為向上振動的脈波 (B)第二次透射波為向上振動的脈波 (C)第一次反射波與第二次反射波均為向下振動的脈波 (D)第二次透射波的振幅較入射波為小 (E)第一次透射波與第二次透射波的波速相同。【89 日大】答：(A)(C)(D)



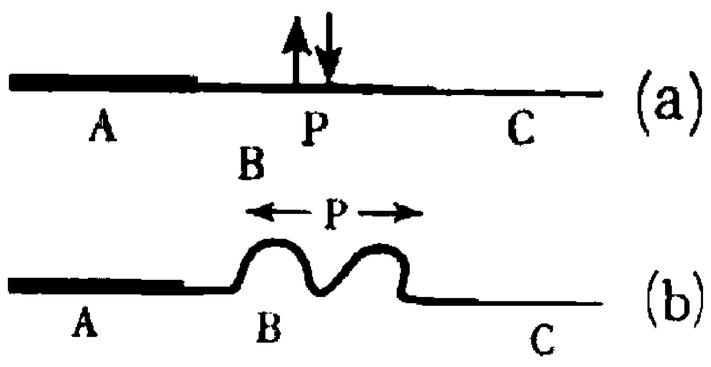
類 1.右圖之脈動波發生於一繩上，稍後即觀察到繩上有一反射脈動波折返通過。

(1)右示各脈動波何者不可能是原來脈動波之反射波？ (A)Ⅰ與Ⅱ (B)Ⅰ與Ⅲ (C)Ⅰ、Ⅳ與Ⅴ (D)Ⅱ、Ⅳ與Ⅴ (E)Ⅲ、Ⅳ與Ⅴ。答：(C)

(2)假設所觀察到的第一個反射脈動波沿繩折回時有一向下之位移，而第二個反射脈動波則有一向上之位移，則下列各圖何者表示繩子右方延長部分之情況？答：(B)



類 2.有A、B、C三繩其線密度是$\mu_A > \mu_B > \mu_C$，今如圖(a)將P點提起放下產生如圖(b)的二個脈動，則當二個脈動在BA與BC接觸端反射回到P點時，在A、B、C上之脈動各如何？



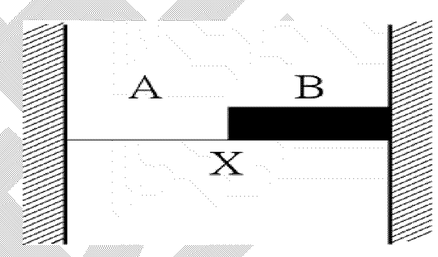
類 3.在繩上振動波之反射及透射問題上，下列敘述何者正確？ (A)若繩之一端繫於牆上，則自牆反射之波與入射波振動方向相反 (B)若繩之一端繫於一質量可忽略的小環，小環套在一細長光滑棒上，則自環反射之波與入射波振動方向相同 (C)若甲繩之一端連接另一線密度較小之乙繩，則在交接處甲繩上之入射波與反射波振動方向相反 (D)甲繩之一端連接另一線密度較大之乙繩，則在交接處甲繩上之入射波與反射波振動方向相同 (E)不論相接的兩繩其線密度大小如何，在交接處入射波與透射波振動方向恆相反。【85 日大】答：(A)(B)

類 4.當脈動沿第一彈簧通過接點傳到第二彈簧時，如第二彈簧的重與第一彈簧相比小得可以忽略時，則反射脈動較原有入射脈動 (A)幅度變爲極小，且形狀上下相同 (B)幅度變爲極小，但形狀上下顛倒 (C)幅度大爲增加，且形狀上下相同 (D)幅度大約相等，但形狀上下顛倒 (E)幅度大約相等，且形狀上下相同。【62 日大】答：(E)

※輕繩與重繩的波速

例12.A、B 兩弦線長均 1 米，質量分別為 2 克及 8 克；今連結成一線如圖；今由 A 弦的左端產生一正弦波，則正弦波在連結處部分反射，部分透射後，反射波的波長 $\lambda_{反}$ 與透射波的波長 $\lambda_{透}$ 的比值 $\lambda_{反}/\lambda_{透}$ =_____。答：2

類 1.A、B 兩等長之繩子如圖相接於 X 點而跨於兩牆間長皆為 ℓ，在連接點 X 處振動，同時產生脈動，一經 A 繩遇左牆反射，一經 B 繩遇右牆反射，第一次在離 X 點 a 米處之 B 繩上相遇，則(1)脈動在 A、B 兩繩上之速率比為？(2)脈動在 A、B 兩繩上之波長比為何？(3)A、B 兩繩之質量比為何？答：(1) ℓ ：(ℓ －a)；(2) ℓ ：(ℓ －a)；(3) $(\ell-a)^2$ ： ℓ^2



類 2.長度比為 1：2 的 A、B 兩弦，聯結成一線，其線密度的比為 1：4，如 A 弦上有一脈波在前進，則 A、B 弦上波速比為： (A)2：1 (B)2$\sqrt{2}$ ：1 (C)4：1 (D)1：2 (E)1：2$\sqrt{2}$ 。答：(A)

類 3.長各為 12 米之輕重不同之兩彈簧相連接，今在輕彈簧之外端以 2 次/秒之頻率振動，經 5 秒鐘波傳至重彈簧外端，已知波在輕重兩彈簧中速率之比為 3：2，試求：(A)波在輕重兩彈簧之速率各為若干？ (B)在兩彈簧上之波長為若干？ (C)兩彈簧之頻率各為若干？

答：(A) $V_{輕}=6m/s$ ； $V_{重}=4m/s$ (B) $\lambda_{輕}=3m$ ； $\lambda_{重}=2m$ (C)均為 2Hz

類 4.甲、乙兩等長之彈性繩連結在一起，今一脈動自甲進入乙，測得通過甲繩歷時 5 秒，通過乙繩歷時 3 秒。則 (a)脈動在甲、乙兩繩上之速度比？ (b)其波長之比？ (C)反射脈動與透射者質點位移方向是否相同？答：(a)3：5；(b)3：5；(c)是

類 5.寶斗里掃黃，鶯鶯燕燕都散了，獨留一隻鸚鵡掛在廊簷下，沒人敢要，一位恩客見它鮮艷可愛，想帶回家飼養。

老鴇勸阻無效就告戒他要先用黑布將鸚鵡遮起來三個月，三個月後再教它說些好話，以免有礙。

恩客謹記老鴇教訓，回家便找了塊黑布將鸚鵡遮起來，家中的母親，妻子，女兒都很納悶，但又問不個所以然來。

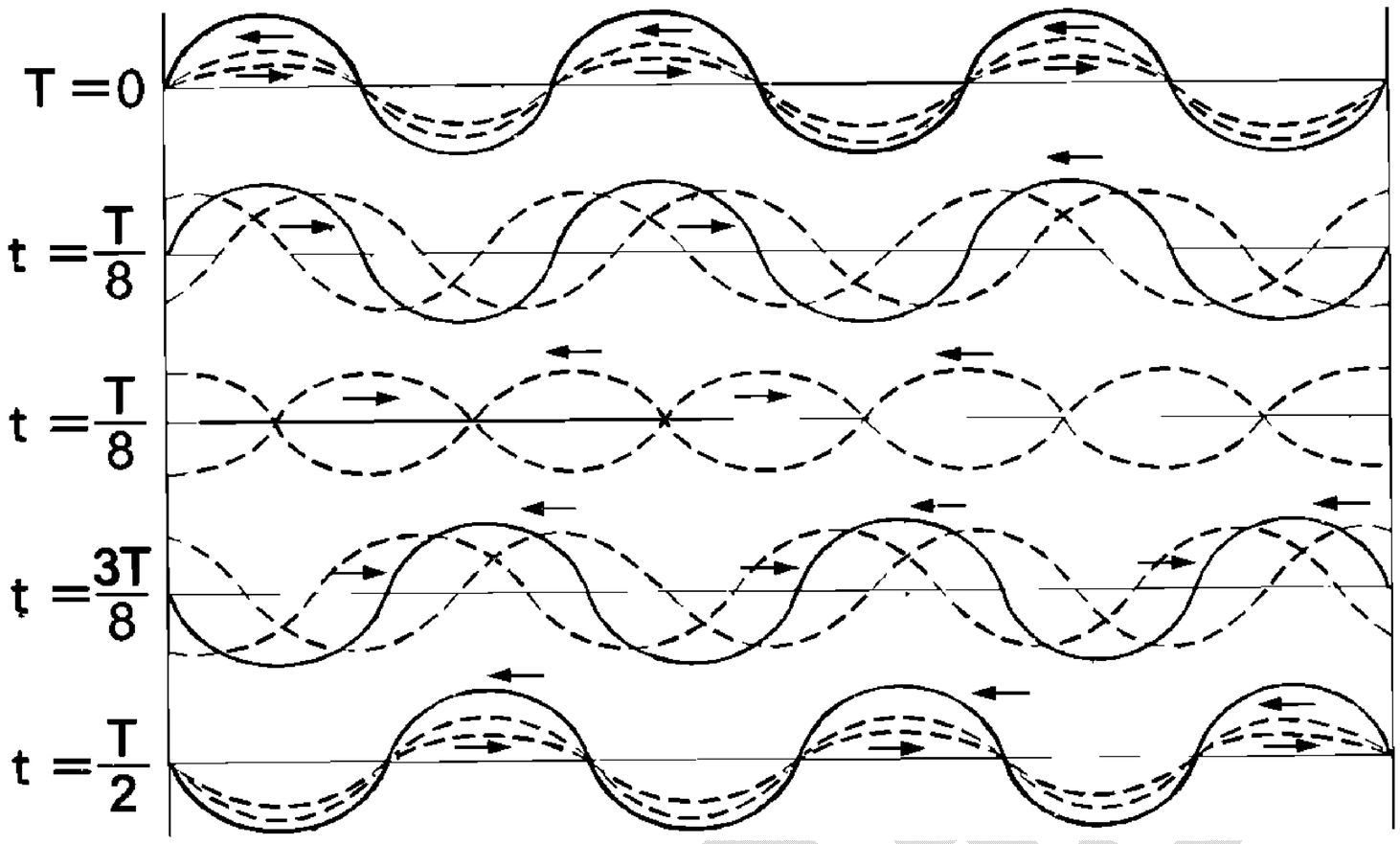
三個月後黑布揭開，鸚鵡重見天日，開心得唱起歌來，看到恩客，很得意的說：「嗯，恩客還在」。

看到他的母親，妻子，女兒，就興奮地大喊：「唉喲，小姐都換了呀？ 」。

13-5 駐波

1.駐波的形成：

振幅、波長、頻率相同，但反向進行的兩個週期波，會合而成的合成波。波形不見前進，僅在波腹及波節間作週期性的漲落，稱為駐波。利用波的重疊原理畫出兩波的合成波，如圖所示。



2.駐波的性質：

(1)介質上永遠靜止不動、位移恆為零的點，稱為波節或節點，相鄰節點間的距離為 $\frac{\lambda}{2}$。

(2)兩相鄰節點的中點位置、其振動幅度最大，稱為波腹或腹點，相鄰波腹間的距離為 $\frac{\lambda}{2}$。

(3)除節點外，介質上各點均在原處上下作 **S.H.M.**，其振幅則隨各質點之位置而異，腹點振幅最大，愈近節點處則愈小。

(4)合成波(駐波)的振幅為行進波振幅的兩倍。

(5)駐波在節點與節點間作週期性的漲落，波形不前進。其中節點的振幅永遠為零，因此振動動能無法經由節點傳播到另一處，所以這種波的能量被限制在某一特定區，故稱駐波。此時能量在兩波節間，以動能及位能的形式來回互換。

3.弦與空氣柱的駐波→兩端皆為固定端：

弦的兩端皆為節點。

$$\lambda=\frac{2L}{n}$$

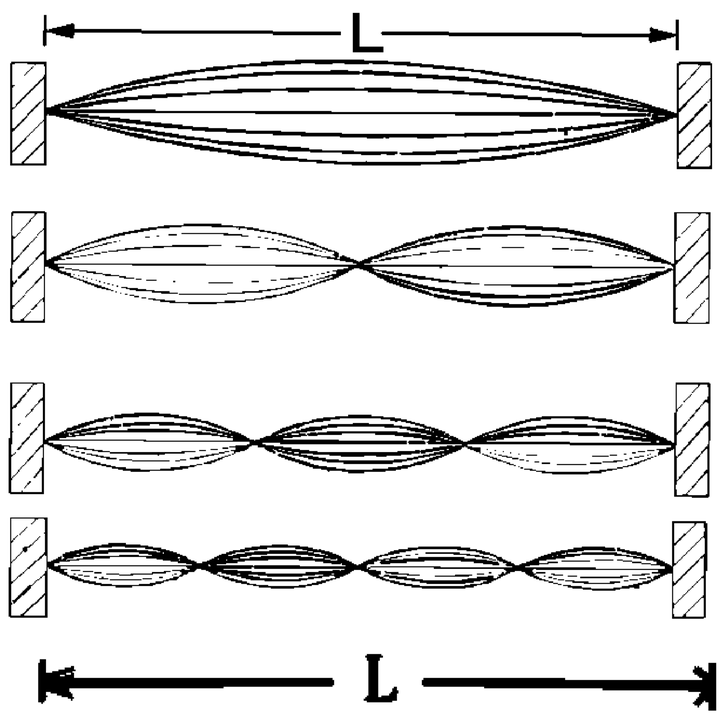
$$f=\frac{nv}{2L}$$

n=1，$1\times\frac{\lambda_1}{2}=L$，$f_1=\frac{v}{2L}$

n=2，$2\times\frac{\lambda_2}{2}=L$，$f_2=\frac{2v}{2L}$

n=3，$3\times\frac{\lambda_3}{2}=L$，$f_3=\frac{3v}{2L}$

n=4，$4\times\frac{\lambda_4}{2}=L$，$f_4=\frac{4v}{2L}$



4.弦與空氣柱的駐波→兩端皆為自由端：

弦的兩端皆為波腹。

$$\lambda=\frac{2L}{n}$$

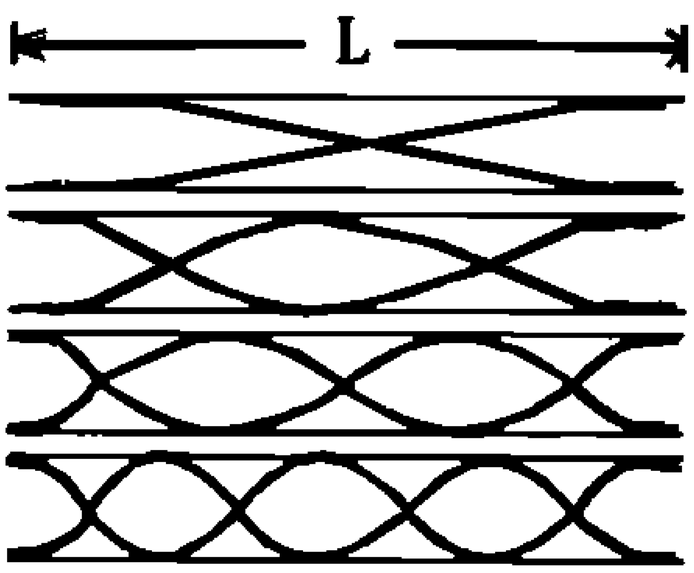
$$f=\frac{nv}{2L}$$

n=1，$\frac{\lambda_1}{4}+\frac{\lambda_1}{4}=L$，$f_1=\frac{v}{2L}$

n=2，$\frac{\lambda_2}{4}+\frac{\lambda_2}{2}+\frac{\lambda_2}{4}=L$，$f_2=\frac{2v}{2L}$

n=3，$\frac{\lambda_3}{4}+2\times\frac{\lambda_3}{2}+\frac{\lambda_3}{4}=L$，$f_3=\frac{3v}{2L}$

n=4，$\frac{\lambda_4}{4}+3\times\frac{\lambda_4}{2}+\frac{\lambda_4}{4}=L$，$f_4=\frac{4v}{2L}$



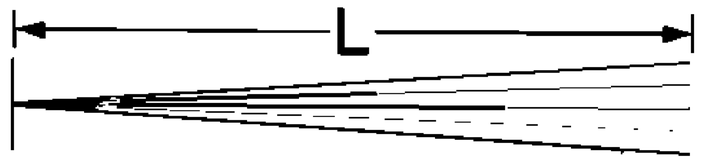
4.弦與空氣柱的駐波→一端為固定端，另一端為自由端：

固定端為節點，自由端為波腹。

$$\lambda = \frac{4L}{2n-1}$$

$$f = \frac{(2n-1)v}{4L}$$

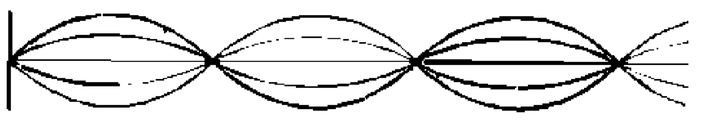
n=1，$\frac{\lambda_1}{4} = L$，$f_1 = \frac{v}{4L}$



n=2，$\frac{\lambda_2}{2} + \frac{\lambda_2}{4} = L$，$f_2 = \frac{3v}{4L}$

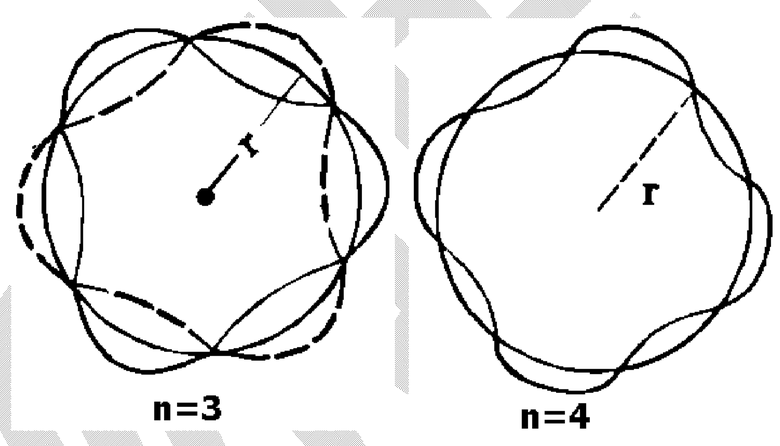
n=3，$2\times\frac{\lambda_3}{2} + \frac{\lambda_3}{4} = L$，$f_3 = \frac{5v}{4L}$

n=4，$3\times\frac{\lambda_4}{2} + \frac{\lambda_4}{4} = L$，$f_4 = \frac{7v}{4L}$



6.圓周上的駐波

$$2\pi r = n\lambda$$



小明回家跟正在煮菜的媽媽說：「媽，我今天迷路了耶！」

媽媽很緊張的說：「乖寶貝，後來呢？」

有幾個拿著皮鞭的漂亮阿姨叫我進她們的店裏去玩，說算

我便宜一點，我就被拉進去了。

媽媽氣急敗壞的說：「死小孩！媽媽平時怎麼教你的？後來呢？！」

小明笑嘻嘻的說：「那些阿姨想脫我的褲子，摸我的小雞雞，我就一直哭，她們也拿我沒辦法。」

這時媽媽才喘了口氣，誇小明說：「小明真乖，沒跟不正經的壞女人玩遊戲。」

她們好可怕，一直拿蠟燭滴一個人的背，用皮鞭打他，還叫他親她們尿尿的地方，最後把他壓在小狗的身上搖來搖去。

媽媽羞紅了臉：『真夭壽！！那你還不快點回家？』

小明理直氣壯的回答：「我也想啊！但是不認得路…。」

『那你怎麼回來的？』媽媽問。

小明回答：「我認出來那個騎小狗的是爸爸，他就載我回來了。」

※駐波的形成與性質

例13.對駐波之敘述，下列何者正確？ (A)等頻率、等振幅，在同介質中傳播之兩波，其合成波為駐波 (B)駐波中相鄰兩波節間距離，為兩行進波波長之半 (C)駐波中，節點保持靜止，不作振動 (D)駐波之波形，可由兩行進波，按重疊原理求出 (E)波為傳播能量的工具，駐波傳播能量最為理想。答：(B)(C)(D)

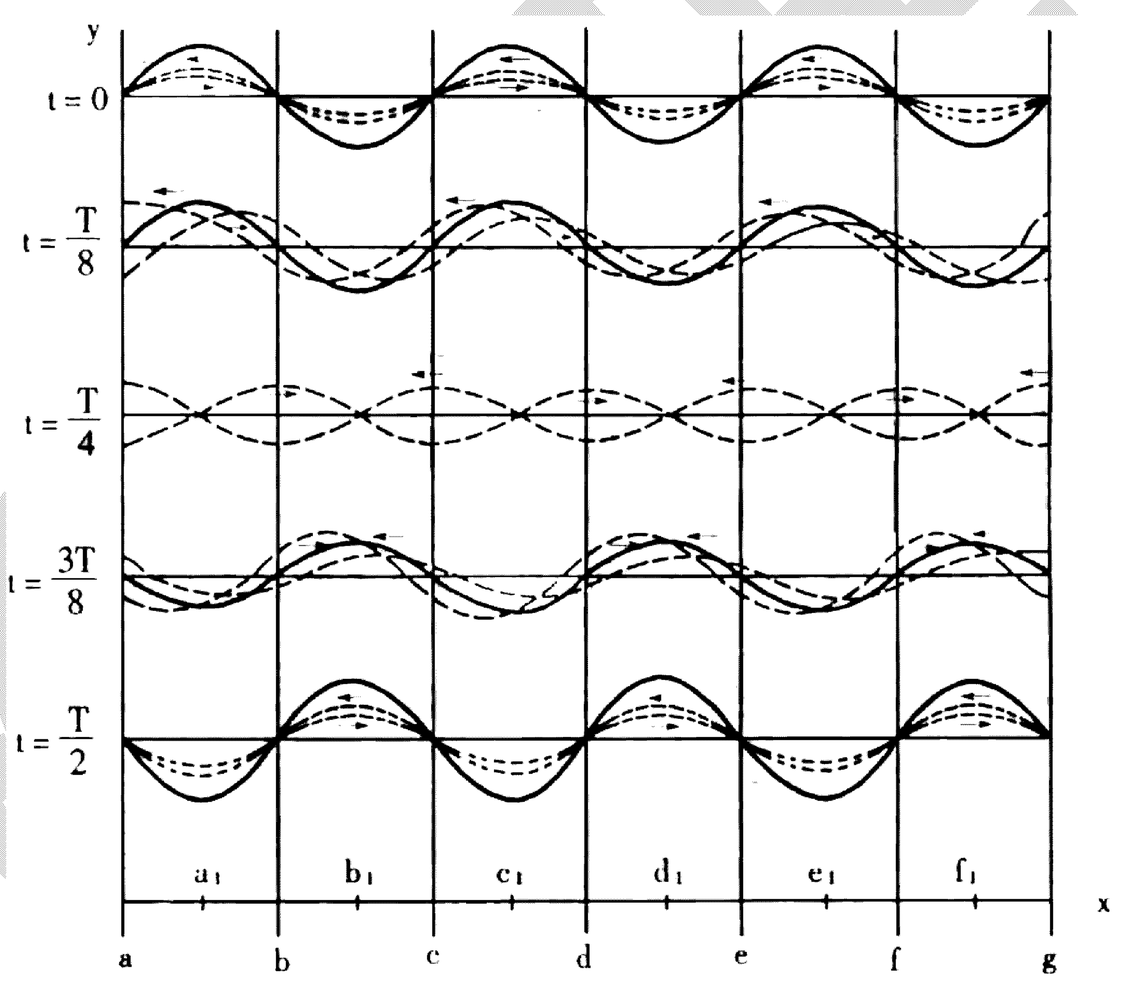
類 1.右圖為兩波相遇形成駐波則：

1.二個虛線波下列何者相等 (A)波長 (B)振幅 (C)波速 (D)週期 (E)頻率。答：(A)(B)(C)(D)(E)

2.兩個波進行方向可否同向？答：否

3.t =0 與 t=$\frac{T}{8}$之合成波 (A)總力學能相等 (B)波長相等 (C)振幅相等 (D)動能相等 (E)位能相等。答：(A)(B)

4.下列何者正確 (A)t=0 時位能最大 (B)t=$\frac{T}{4}$時動能最大 (C)t=0 時力學能最大 (D) t=$\frac{T}{4}$時動能為零 (E)t=0 與 t=$\frac{T}{2}$相差$\frac{1}{2}$ 。答：(A)(B)(E)



駐波(實線部)，a、b、c、d、e、f、g為波節，a_1、b_1、c_1、d_1、e_1、f_1為波腹。

類 2.彈性繩兩端發出同相週期波而形成駐波，若兩波源間距離為 d，下列情形可能使兩波源間的節點數目增加者為何？ (A)波長增大 (B)頻率增大 (C)距離 d 增大 (D)波長與距離 d 皆增倍 (E)波長與距離 d 的比值增大。答：(B)(C)

類 3.兩進行波在繩上形成駐波時，若相鄰兩波節間的距離為 L，則下列敘述何者正確？ (A)兩進行波的傳播方向必反向 (B)兩進行波的振幅大小必相等 (C)兩進行波的頻率大小必相等 (D)兩進行波的波長為 2L (E)兩進行波相遇時，介質的振動位移必須滿足重疊原理。答：全

類 4.兩同向行進之正弦週期波，其頻率及振幅相等，互相干涉，則下列敘述何者正確？ (A)合成波之振幅為原波振幅的二倍 (B)合成波之振幅不可能小於原波之振幅 (C)合成波之振幅可能為零 (D)均不可能產生駐波 (E)不可能產生節點。答：(C)(D)(E)

※弦與空氣柱的駐波⇨兩端皆為固定端

例14.把長 1 公尺的弦兩端固定，若一脈動從一端進行至另一端需時 0.05 秒，則此弦產生的振動的基音頻率為＿＿＿＿赫，第一泛音頻率為＿＿＿＿赫。答：10，20

類 1.把長 1 公尺的弦兩端固定。若一脈波從一端行進至另一端需時 0.05 秒，則此弦產生的振動的基音頻率為＿＿＿＿＿＿Hz。【82 年大學】答：10

類 2.一長為 2 公尺的弦線兩端固定，如在一端產生一脈動，發現此脈動需 0.1 秒才能由此端至他端來回反射一次，則此振動之可能頻率為 (A)10 赫 (B)15 赫 (C)20 赫 (D)25 赫 (E)30 赫。答：(A)(C)(E)

類 3.兩端固定的彈性弦長 80cm，若彈出基頻為 420 赫的聲音，則弦上的波速為 (A)210 (B)420 (C)528 (D)672 (E)820 m/s。答：(D)

類 4.有一小提琴，弦的兩固定點間的距離為 50cm，質量為 2g，不用手指壓弦時，撥弦發出 A 調(440Hz)，若欲發出 C 調(528Hz)，則手指應壓於何處？答：$\frac{25}{3}$ cm

類 5.長 ℓ 的繩兩端固定，產生駐波，中間有五個節點，若進行波的頻率為 f，則原進行的波：(A)波長為 $\frac{\ell}{3}$ (B)波速為 $\frac{f\ell}{3}$ (C)相鄰兩節點間的距離為 $\frac{\ell}{6}$ (D)兩固定端為節點 (E)共有 7 個節點。答：全

類 6.長為 ℓ 之彈簧兩端固定，則形成駐波之波長為：(A) $\frac{3\ell}{2}$ (B) ℓ (C) $\frac{2\ell}{3}$ (D) $\frac{\ell}{2}$ (E) 2ℓ。答：(B)(C)(D)(E)

類 7.有位小姐到鄉去旅行，看到一個小男孩滿身是汗地拉著一頭牛...

小姐：「你要把牛牽到那裡去？」

男孩：「到隔壁村去和母牛配種。」

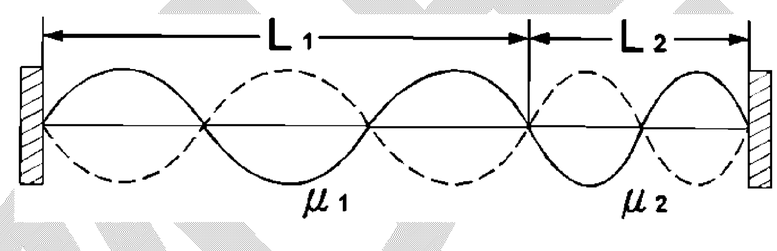
小姐：「難道這工作不能叫你父親做嗎？」

男孩：「不行！一定得叫公牛才行！」

※弦與空氣柱的駐波⇨兩端皆為固定端

例15.兩端固定的一條鋼琴線長 50 公分，質量為 5 公克，若線上之張力為 400 牛頓，則
(1)該鋼線之基音(亦稱第一諧音)的頻率為若干？答：200Hz
(2)若人之聽能力可達 10000 次/秒(赫)，則此人所能聽及之鋼線所生泛音，最高為第幾個泛音？【84 夜大】答：49

例16.線密度為 μ_1 與 μ_2 的兩理想彈性繩連起來，兩端固定，此系統讓它振盪並形成駐波，如右圖所示。如果 μ_1 ： μ_2 =4：5，求 L_1：L_2=？答：$3\sqrt{5}:4$



類 1.　1m 長之弦其質量為 10g，所受之張力為 100N，當兩端固定使其產生振動，求
(a)弦上之波速？答：100m/s
(b)使弦上產生一個、二個波腹時之波長？2m；1m
(c)此時之頻率是多少？50Hz；100Hz

類 2.長度 30cm 的鋼弦質量為 3g，當弦上張力為 36 牛頓時，使之振動形成駐波，則第三諧音的振動頻率為_____Hz。答：300

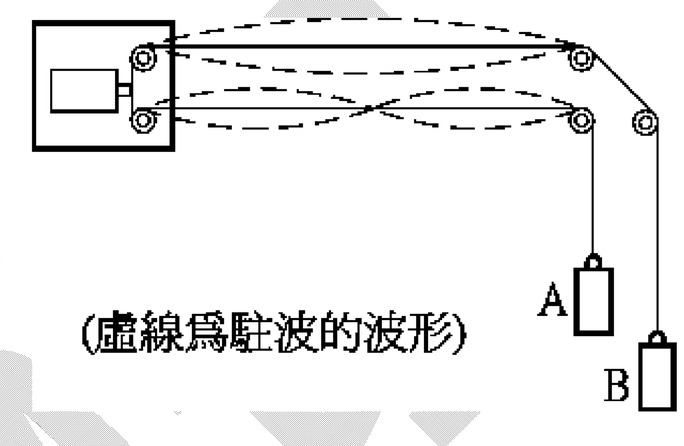
類 3.一弦長 1m 質量 40 克，兩端固定，張力為 100 N，則其發出基音的頻率＝__(1)__Hz。若欲使其基音頻率加倍，則張力應增為__(2)__N。答：(1)25；(2)400

類 4.質量 150 克，原長 1.2 m 之均勻橡皮筋，彈力常數為 12 N/m，拉長為 1.5 米，兩端固定，使它振動，形成駐波時，共有 16 個節點，則振動頻率為：(A)50Hz (B)40Hz (C)30Hz (D)25Hz (E)20Hz。答：(C)

類 5.一弦兩端固定，弦之線密度為 4 克／公尺，弦的張力為 8.1 牛頓。當弦線振動產生 n 及 n＋1 個波節的駐波時，所量得的波節間距分別為 18 公分及 15 公分。
(1)求弦線的長度。
(2)求基音的頻率。答：(1)90 公分；(2)25 赫茲

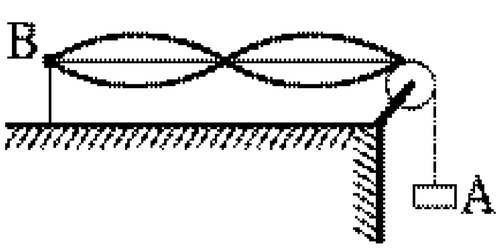
例17. 質料及張力均相同之二弦線，兩端均被固定，如一弦的基音頻率為另一弦第二泛音頻率的 3 倍，則二弦線的長度比為 (A)$\frac{1}{3}$ (B)$\frac{1}{6}$ (C)$\frac{1}{9}$ (D)$\frac{1}{12}$ (E)$\frac{1}{1}$ 。答：(C)

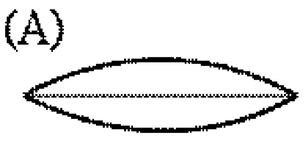
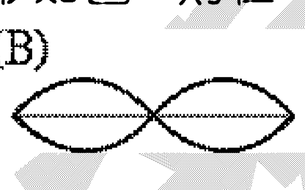
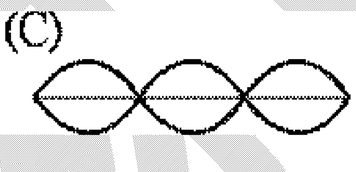
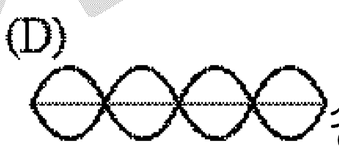
例18. 如圖所示，左邊為一振盪器，使上下兩線作同頻率的振動，若兩線的線密度相同，則右方懸掛的重物 A、B 之重量比為_____。答：1：4



類 1.一長度 30 cm，線密度 0.65 g/m 的小提琴絃，置於一頻率可改變的揚聲器旁，由揚聲器驅動小提琴的絃，當揚聲器頻率由 500 Hz 至 1500 Hz 之間連續變化時，此絃只能在 880 Hz 及 1320 Hz 兩頻率共振，則此絃的張力爲_____nt。答：45.3 N

類 2.如圖中 B 點接波源產生器，用細繩接到 A 點，若在 A 處吊一個砝碼，振動波形如圖，則在 A 點改吊四個相同砝碼，波形將爲何？

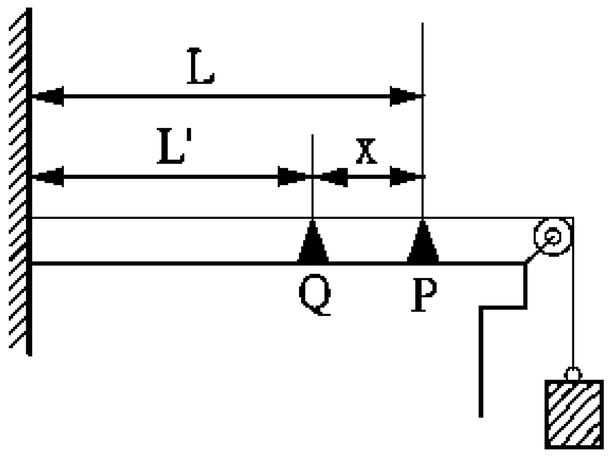


(A) 
(B) 
(C) 
(D) 
答：(A)

類 3.弦線 A 的長度爲 L，線密度爲 μ，張力爲 T，兩端固定。另一弦線 B，線密度爲 2μ，張力爲 3T，兩端也固定。欲使 B 弦的基頻與 A 弦第三諧音頻率相同，則 B 弦的長度應爲？

(A)$\frac{\sqrt{6}}{6}$ (B)$\frac{\sqrt{3}}{2}$ (C)$\frac{\sqrt{2}}{3}$ (D)$\frac{2}{3}$ (E)$\frac{3}{2}$ 。答：(A)

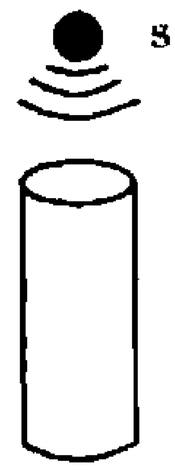
類 4.如圖所示，鋼弦下墊一個三角木楔，放在 P 點時，駐波分佈於 L 的長度內;放在 Q 點時，駐波分佈在 L　的長度內。若放在 P 點的第五諧音，和放在 Q 點時的第三諧音振動頻率相同，則木楔移動的距離 x 爲多少 L？答：$x=\frac{2}{5}L$



類 5.長 31.6 公分的提琴弦線密度爲 0.65 克/公尺，置於揚聲器附近，由可變頻率的聲頻振盪器饋入揚聲器。當振盪器的頻率在 500 至 1500 週/秒的範圍內連續改變時，發現只在 880 和 1320 週/秒兩頻率弦才生振盪，弦的張力爲何？答：50Nt

※開管

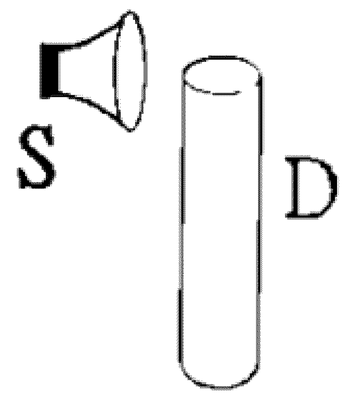
例19. 有一場聲器 S 發出頻率由 1000 至 2000 赫的聲音，將其置於兩端開口長 40cm 的柱形薄金屬管上方(如圖)，若空氣中聲速為 340m/sec，求能出現共振的頻率為若干？答：1275，1700



類 1.下列有關「開管」風琴管的敘述，何者正確？ (A)產生的駐波頻率為不連續的 (B)形成 2 個節點時的頻率是 1 個節點的 2 倍 (C)形成 3 個節點時的音頻稱為第三諧音 (D)形成 4 個節點時的波長是管長的$\frac{1}{4}$ (E)管口附近是駐波的腹點。答：(A)(B)(C)(E)

類 2.由兩端皆開啓的管子一端管口吹氣，使之發出聲音。下列敘述何者正確？ (A)兩開口皆應為波節 (B)管長必為所發出聲波半波長的整數倍 (C)最低音頻率為$\frac{v}{l}$，其中 v 為波速，l 為管長 (D)若將管子一端封閉，則基頻增大一倍。答：(B)

類 3.有一揚聲器 S 發出頻率由 1000 至 2000 赫的聲音，將其置於兩端開口長 45cm 的柱形薄金屬管 D 上方(如右圖)，若空氣中聲速為 339m/sec，求能出現共振的頻率為若干？答：1130Hz；1506Hz；1883Hz



類 4.話說硫酸潑潑男七歲時就會用竹筒來「打手槍」。
潑爸發現他有這壞習慣後，決定要好好地教訓他.....
於是，有一天潑爸趁硫酸潑潑男不在家時，抓了一隻蜈蚣放入竹筒內。
硫酸潑潑男回來後又拿了那竹筒來「打手槍」；
當他把他那玩意兒放進去之後，突然感到疼痛，他抽出他的「小弟弟」往筒裡一看，結果發現一隻大蜈蚣在筒裡，他嚇呆了！從此就不再手淫了。
時間一過就是十幾年，由於潑爸急著抱孫子，就幫他物色老婆。但婚後兩三年了，卻也沒生半個。
潑爸心想：「我兒子七歲會就會手淫一定知道該如何做呀！難到是我媳婦有問題？」
於是在次日的早晨，老爸對媳婦道：
日出東方一點紅，朝朝洗臉見芙蓉，遲遲未見結生果，枉廢我兒下盡工。
媳婦卻愁眉苦臉地說：
田是好水田，旱了好幾年，季季不下種，那有好時年。
潑爸很生氣，馬上跑去罵兒子，問他未何沒跟老婆做該做的事！
硫酸潑潑男回答：
還記幼時入竹筒，忽見洞裡有蜈蚣，如今洞邊叢草生，必有蟒蛇在其中

※開管

例20. 兩端開口的玻璃管，如以振動頻率為 600 至 1500 赫的聲波傳入管內，發現該管只有在 800 及 1200 赫時，產生共鳴，則該管的長度可能為多少公尺（聲速為 320 m/s）？ (A)0.3 (B)0.4 (C)0.6 (D)0.8 (E)1。答：(B)

類 1.在兩端皆開啓的管子的一端管口吹氣，使之發出聲音，下列敘述何者正確？ (A)兩開口端皆應爲波節 (B)管長必爲發出聲波半波長的整數倍 (C)最低音頻率爲 V/L，其中 V 爲波速，L 爲管長 (D)若將管子的一端封閉，則基頻增大一倍 。答：(B)

類 2.長 1 公尺的空心玻璃管，敲響一支 680Hz 的音叉接近管口，結果產生共鳴，則此頻率爲玻璃管的第幾諧音？(聲速爲 340m/s) (A)一 (B)二 (C)三 (D)四。答：(D)

類 3.長 ℓ 的開管使其發聲之波長，下列何者可能？ (A)4 ℓ (B) ℓ/6 (C) ℓ (D)2 ℓ/5 (E)3 ℓ。答：(B)(C)(D)

類 4. 2.1 公尺長開管空氣柱，某一諧音頻率爲 410Hz，下一諧音頻率爲 492Hz，則管中空氣速度爲_____m/s。(提示:相鄰兩諧音頻率便是基音頻率)答：344.4

類 5.一開口風琴管當氣溫爲 15℃時，其基音之頻率爲 261 次/秒，當空氣溫度爲 35℃時，其基音之頻率爲若干？管之膨脹不計。答：270.2Hz

類 6.某日,有三個青少年二男一女在河裡玩耍,被人抓到警察局去,罪名爲"妨害風化"
後來開庭審問,法官問第一個男孩子:你叫什麼名字?你知道你所犯何罪嗎?
那男孩子回答:我叫"大大".....,嗯,我不清楚.....,我只是在河裡游泳.戲水.玩泡泡...
法官接著問第二個男孩子同樣的問題
第二個男孩子回答說:我叫"寶寶".....,我不知道...,我也只是在河裡戲水.玩泡泡....
法官說:很.....好.....!那你呢?你叫什麼名字?
那女孩子低著頭,輕輕的說:我....我..叫..."泡泡"

※弦的駐波→一端為固定端，另一端為自由端

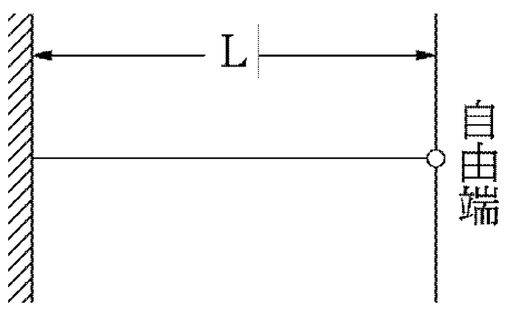
例21. 一弦線的一端固定，另一端則以一很輕的小環套在一細長且光滑的棒上。環的質量可不計：弦在靜止時與細棒垂直。若弦的長度為 0.5 公尺，線密度為 0.01 公斤/公尺，弦振動的基頻為 100 赫，則弦的張力為 (A)400 牛頓 (B)200 牛頓 (C)100 牛頓 (D)50 牛頓 (E)25 牛頓。【85 日大】答：(A)

類 1.一彈簧的一端固定，由另一端連續產生週期性波動，入射波與反射波會合而成駐波，若波長為 λ，則彈簧兩端點間的可能距離為 (A)$\frac{\lambda}{4}$ (B)$\frac{3\lambda}{2}$ (C)$\frac{3\lambda}{4}$ (D)2λ (E)6λ 。(注意：擾動端為波腹，而固定端為節點。)答：(A)(C)

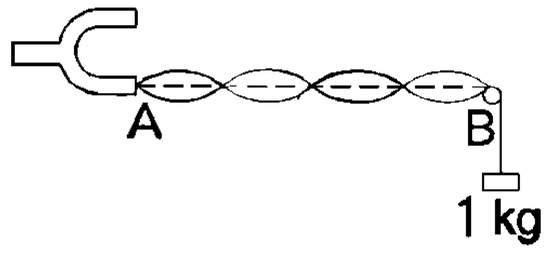
類 2.一彈性繩的一端固定，一端為自由端，在此彈性繩上有一駐波產生，駐波的波長為 12cm，則繩長可能為 (A)12 (B)15 (C)18 (D)21 (E)24cm。答：(B)(D)

類 3.週期性連續振動之繩上的波，波長為 λ，經繩的自由端反射，入射波與反射波形成駐波，則 (A)距自由端最近節點離自由端$\frac{\lambda}{4}$ (B)自由端算第二個節點離自由端為$\frac{3\lambda}{4}$ (C)每相鄰兩節點相距$\frac{\lambda}{2}$ (D)自由端為節點 (E)自反射端量起，節點的距離可衰成$\frac{(2n-1)\lambda}{4}$(n=1、2、3...)。答：(A)(B)(C)(E)

類 4.長度為 L 的彈性弦，如附圖，一端固定，另一端套一小環成自由端，若弦上波速為 v，則第五諧音(第二泛音)的共振頻率多少？(A)$\frac{3v}{2L}$ (B)$\frac{5v}{2L}$ (C)$\frac{5v}{4L}$ (D)$\frac{3v}{4L}$。答：(C)



類 5.一細線繫於一音叉 A 點後繞過定滑輪 B，另端繫一質量 1kg 的物體，今使音叉振動所生駐波圖形如右，若 A、B 距離為 80cm，且線長 1 公尺，質量為 4×10^{-3}kg，又 g=l0m/s^2，則此音叉頻率為 (A)150 (B)125 (C)100 (D)75 Hz。答：(B)



類 6.質量 2 公斤，長 1 公尺之彈性繩一端固定，另一端產生週期波，頻率為 5 次/秒，入射波與反射波會合形成節點，測得相鄰兩節點之距離為 10cm，則波速與繩張力各為若干？答：1m/s；2nt

※閉管⇒求頻率

例22. 在長 L=1.2m 的管子中有溫度 T=300K 的空氣，若管口一端封閉，則管中空氣柱能夠進行的振動基頻為＿＿＿＿＿＿Hz。【83.台北聯合】答：72.3Hz

例23. 一管長 1.0 公尺，一端封閉。張緊之線置於開端附近，線長 0.30 公尺，質量 0.010 公斤，兩端皆固定，並以其基音振動。由於共振，使管中 0℃的空氣柱以其基音頻率振動。求 (1)空氣柱的振盪頻率？(2)線的張力？答：(1)82.75Hz；(2)82.17Nt

類 1.一直笛長 0.25 公尺，一端封閉，一端開口，若聲速爲 344 公尺/秒，則聲波在笛中振動的第一泛音，其頻率爲若干？ (A)344 赫 (B)688 赫 (C)1032 赫 (D)1376 赫 (E)4125 赫。答：(C)

類 2.長爲 ℓ 的空氣柱管子，如果一端封閉，則下列敘述何者正確？ (A)在管內形成駐波的條件爲 $\ell=\frac{(2n-1)\lambda}{4}$ (λ 爲波長，n∈N) (B)所產生的頻率爲 $f=\frac{(2n-1)v}{4\ell}$ (v 爲波速，n∈N) (C)開管的一端爲波腹，閉管的一端爲波節 (D)最少波節數爲 1 個 (E)第 2 泛音的頻率爲 $f=\frac{5v}{4\ell}$。答：全

類 3.有一長 L 的閉管樂器，若聲速爲 v，則下列哪些是該樂器所能發出的共振頻率？

(A)$\frac{v}{4L}$ (B)$\frac{v}{2L}$ (C)$\frac{3v}{4L}$ (D)$\frac{5v}{2L}$ (E)$\frac{7v}{4L}$。答：(A)(C)(E)

※閉管⇒求管長

例24. 一內有空氣的長管子，下端封閉，上端開口。今測得管內空氣有 258 赫、430 赫、774 赫等振動頻率，但此三頻率均非空氣振動基頻。若空氣聲速為 344 公:尺/秒，則此管之可能管長為 (A)0.5 公尺 (B)1.0 公尺 (C)1.5 公尺 (D)2.0 公尺 (E)3 公尺。【89.台北聯合】
答：(B)(E)

類 1.一內有空氣的長管子，下端封閉，上端開口。今測得管內空氣有 258 赫、430 赫、602 赫等振動頻率，但此三頻率均非空氣振動基頻。若空氣聲速為 344 公尺/秒，則此管之最小管長為 (A)0.5 (B)1.0 (C)1.5 (D)2.0 (E)2.5 公尺。答：(B)

類 2.一內有空氣的長管子，下端封閉，上端開口。今測得管內空氣有 258 赫、430 赫、602 赫等振動頻率，但此三頻率均非空氣振動基頻。若空氣聲速為 344 公尺/秒，則此管之最小管長為 (A)0.5 公尺 (B)1.0 公尺 (C)1.5 公尺 (D)2.0 公尺 (E)2.5 公尺。【83 年大學】答：(B)

類 3.在一端封閉的直玻璃管口上，置一擴音器，逐漸將聲音的頻率調高。
(1)設當頻率為 100 赫時第一次共鳴，則第二次共鳴在頻率若干時產生？答：300Hz
(2)設當時的聲速為 340 公尺/秒，則該玻璃管的長度為若干？答：85cm【77 夜大】

類 4.長 x 的閉管，使其發聲之波長，下列何者為可能？ (A)$\frac{x}{4}$ (B)$\frac{2x}{5}$ (C)x (D)3x (E)4x。答：(E)

類 5.老王經營一個大型的農場，幾年下來，所配種出來的牛也為老王帶來了不少的財富。但隨著時間的流逝，種牛的身體狀況大不如前，終於有一次，老種牛因體力不支而在母牛欄裡暈倒。老王只好到鎮上買回一頭年輕又強壯的種牛來代替老種牛。
當天晚上，老王就將新種牛和老種牛暫時先關在一起。
想不到半夜，牛欄嗚嗚哭泣聲不斷。老王就起身到牛欄去看，一進了牛欄，就看到老種牛趴在地上哭得十分悽慘。
老王摸著牠的頭：
「牛啊、牛！我知道我買新牛回來是委屈你了，但好歹你也幫了我這麼多年。你放心，我不會殺你的，你就別再難過了。」
只見那老種牛用一雙哀怨的眼神望著老王：
「你到底有沒有告訴那個新來的小伙子，說我是公的... 」

※開管↔閉管⇒求頻率

例25. 一管子如兩端開口，可發出 500Hz 頻率(不一定為基音頻率)。今如將其一端封閉，則下列各種頻率何者為閉管所可能發出者？ (A)250Hz (B)375Hz (C)750Hz (D)1000Hz (E)1250Hz。答：(A)(B)(C)(E)

類 1.有一一端開口的空氣管，所能發出共鳴之第一泛音頻率為 450Hz（赫），若兩端均開口，則其所發出的第二諧音頻率為若干赫？ (A)150 (B)300 (C)450 (D)600 (E)750 Hz。答：(D)

類 2.閉口管空氣振動第一泛音頻率為 900 赫，相鄰兩腹點距離 55 公分，則管長_____公分，若此閉口管改為開口管，則其基音頻率為_____赫。答：82.5；600

類 3.一管子當 (1)兩端都打開 (2)封閉一端 (3)封閉兩端(假設仍有駐波)時，各最低頻率泛音之頻率比？(當然管內空氣溫度相同)答：4：3：4

類 4.一聲波在一長 0.5 公尺的管中傳播，管的一端封閉，試問

(1) 振動的基頻為何？（取波速為 344 公尺/秒）

(2) 如將閉端打開，其基頻又為何？答：(1)172 赫；(2)344 赫

類 5.長度皆為 ℓ 的開管風琴管和閉管風琴管，若聲速為 v，則兩者第三諧音的音頻差為多少？

(A)$\frac{3v}{2\ell}$ (B)$\frac{3v}{4\ell}$ (C)$\frac{v}{2\ell}$ (D)$\frac{v}{4\ell}$ (E)$\frac{v}{\ell}$。答：(B)

類 6.話說有一回～～大家期待以久的性教育課～

美美的老師問學生.....為什麼青少年人會想做愛呢？？請大家發表意見～

語畢～～學生討論聲連棉不斷，這時一位學生正經八百的學生出聲了：「因為"手"累了！！」

※開管↔閉管⇒求管長

例26. 一管子如兩端開口，使管內空氣振動，可發出頻率為 840Hz 的聲音，今如將其一端封閉，可發出 210 赫的聲音，若聲速 v 為 344 公尺/秒，此管的最小長度為多少公尺？ (A)0.41 (B)0.52 (C)0.63 (D)0.74 (E)0.85 。答：(A)

類 1.在一端封閉的直玻璃管開口上，置一擴音器，逐漸將聲音的頻率調高。
(1)設當頻率為 100 赫時第一次產生共鳴，則第二次共鳴在頻率若干時產生？答：300Hz
(2)設當時的聲速為 340 公尺/秒，則該玻璃管的長度為若干？【77 夜大】答：0.85 公尺

類 2.一開口管空氣振動頻率為 1200Hz 時，可形成駐波，相鄰兩腹點距離 15 公分，
(A)求波傳播速度？管長最少是多少？答：360m/s，7.5cm
(B)若改為開口管呢？360m/s，15cm

類 3.一管長 1.0 米一端封閉，張緊之線置於開端附近，線長為 0.30 米，質量為 0.010 仟克，兩端皆固定並以其基音振動，由共振而使管中空氣柱以線之基本頻率振動，求
(a)空氣柱之振盪頻率？答：82.75Hz
(b)線之張力？(聲速為 331m/s)答：82.17nt

類 4.小強：老爸啊！什麼是「Make Love」？
老爸：這個啊……，來！我示範給你看。
老爸就帶阿呆進房間指著躺在床上的媽說：
看到媽的洞沒？看好！
老爸就跳上床開始和媽「Make Love」……
這時小葉跑進房來……
小葉：老爸在做什麼？
小強：在和媽「Make Love」。
小葉：什麼是「Make Love」？
小強：看到爸的洞沒？看好！
於是，小強就跳上床往老爸的洞……

※開管↔閉管⇒求管長

例27. 一管兩端均為開口，產生聲音的頻率為 272Hz(不一定為基音)，如將一端封閉，可產生頻率為 204Hz 的聲音，設聲速為 340m/s，則管長可為若干米？ (A)0.5 (B)0.75 (C)1.00 (D)1.25 (E)1.5。【南一中】答：(D)

類 1.一管子如兩端開口，發現可發出 840 赫的頻率(不一定爲基音頻率)。今如將其一端封閉，發現可發出 210 赫的頻率，試問此管最短須若干才能滿足上述條件？(聲波之波速爲 344 公尺/秒)答：$\frac{43}{105}$公尺

類 2.一水管如兩端開口，發現可發出 840 赫的頻率(不一定爲基音頻率)。今如將其一端封閉，發現可發出 210 赫的頻率，試問：(1)此管最短須若干才能滿足上述條件？(設聲速爲 336m/s)。(2)承(1)，開管之第三諧音頻率爲何？答：(1) 0.4(m)；(2)1260(Hz)

類 3.一開口風琴管的基音頻率爲 300 振動/秒，開口風琴管的第一泛音與閉管的第一泛音頻率相同，各管多長？(聲速爲 331 公尺/秒)答：開口管管長 0.55 公尺；閉口管管長 0.41 公尺

類 4.一開口風琴管之基音頻率等於一閉口風琴管基音頻率的 4 倍，則二管管長之比爲：(A)1:1 (B)1:2 (C)1:4 (D)2:1 (E)4:1。答：(B)

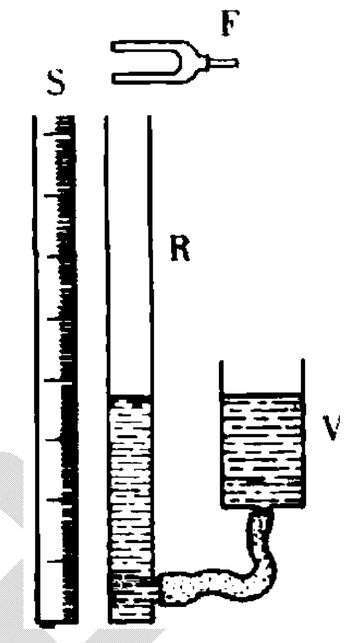
類 5.傳播速率爲 340m/s 之聲波，在一支兩端開口的管中傳播，其第二諧音頻率爲 340Hz，則管長爲_____米。若將此管一端封閉，並延長管長，使其基頻爲原來基頻的 1/8 倍，則管長增長了_____米。答：1；3

類 6.有一兩端開口的空管，吹氣時可發出 880Hz 的聲音（不一定爲基頻的頻率）。若將其一端封閉，發現可發出 220Hz 的聲音，則此管的長度至少應爲_____公尺。(聲速爲 352m/s)答：0.4

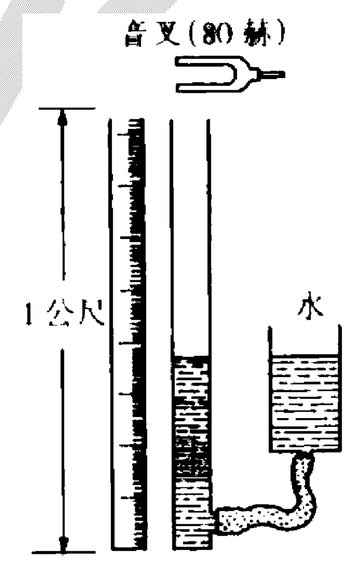
類 7.兩端開口的風琴管 A，另一風琴管 B 僅一端開口，已知 A 管的第二諧音頻率和 B 管的第五諧音的頻率相同，則 B 風琴管的長度爲 A 的_____倍。答：$\frac{5}{4}$

※共鳴空氣柱實驗

例28. 某生做「共鳴空氣柱」實驗時，測得玻璃管的長度為 0.80 公尺，今某生取音叉 A 做實驗，測得只有當空氣柱長為 0.50 公尺時，共鳴音量最大。再取音叉 B 做實驗，測得只有當空氣柱長為 0.30 公尺時，共鳴音量最大，則 A 音叉與 B 音叉頻率的比值為_____【80 年大學】答：$\frac{3}{5}$



類 1.右圖為一共鳴儀裝置，某生以此裝置測量頻率為 80 赫的音叉發聲時的波長，以求取聲音在空氣中的速度。但他經多次仔細的實驗，總是找不到共鳴空氣柱的長度。你認為問題出在哪裡呢？【76 年大學】



類 2.已知在室溫時，聲波在空氣中的速度是 343 公尺/秒。簡要說明利用空氣柱共鳴儀來測定音叉頻率之原理及其實驗方法。【79 年大學】

類 3.在「共鳴空氣柱」的實驗中，假定既使用的玻璃管長為 80 公分，音叉的頻率為 680 赫 o 實驗當時的聲速為 340 公尺/秒，則下列敘述何者正確？(A)做實驗時，音叉越貼近管口越好，距離必須小於 1 公分 (B)如果實驗情況良好，至少可找到 3 處共鳴點 (C)相同的儀器設備，在不同的時間作實驗，由於溫度變化的關係，共鳴點的位置會有改變 (D)由實驗得知，同一時間同一地點，不同儀器設備所測得的聲速相等。【77 年三專】答：(B)(C)(D)

類 4.(1)在「共鳴空氣柱」的實驗中，決定共鳴位置時，音叉振動的方向最好為何？為什麼？(2)若共鳴管的長度為 1.2 公尺，則所使用音叉的最低頻率為多少？(設聲速為 336 公尺/秒)【84 年大學】答：(1)振動方向與玻璃管平行；(2)70Hz

類 5.一對夫婦帶著小兒子到避暑盛地渡假，一家三口在海灘舒舒服服地享受著日光浴。不久，爸爸起身散步去，兒子則四處亂跑後，回來劈頭就對媽媽說：「媽咪，我看到好多女生的咪咪比妳大耶！」

「哼！咪咪愈大，表示她們愈笨！」媽媽說

不久，兒子又跑回來：「媽咪，我看到好多男生的鳥鳥比爸爸的大耶！」

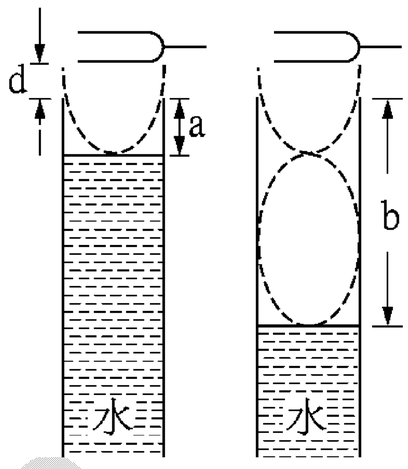
「哼！鳥鳥愈大...」媽媽答「表示他們愈笨。」

又過了一會兒，兒子又跑回來：「媽咪，我看到爸爸和一個我所見過最笨的女生說話喔！」

兒子繼續說「而且爸爸愈說變得愈笨耶！」

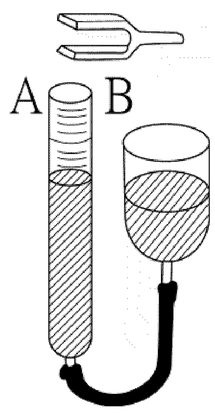
※共鳴空氣柱實驗

例29. 在進行空氣柱共鳴實驗時，管口端第 1 個波腹實際位置在管口上方一小段距離 d 處，由管口量到第 1 個共鳴位置距離是 a，到第 2 個共鳴位置距離是 b，音叉頻率為 f，當時聲速為 v，若 d 為定值，則下列敘述不正確的是 (A)聲音波長 $\lambda=2(b-a)$ (B)$d=\frac{1}{3}(b-2a)$ (C)以不同頻率 f 之音叉作實驗，得到不同的 a 值，則 $a-\frac{1}{f}$ 之關係圖為一直線 (D)承(C)，該圖之斜率為 $\frac{v}{3}$ (E)承(C)，該圖之縱軸截距為 d。答：(B)(D)(E)



類 1.已知在室溫時，聲波在空氣中的速度是 343 公尺/秒。簡要說明利用空氣柱共鳴儀來測定音叉頻率之(1)原理(2)實驗方法。答：(1)實驗原理：利用音叉與空氣柱內聲波之共振（即共鳴空氣柱實驗）測量氣柱內聲波波長，由已知波速可得音叉頻率。

(2)實驗方法：圖中敲擊音叉使其振動方向平行管中水面，並距管口約 2 cm，調整 B 杯使改變氣柱 A 中水位，測得氣柱長度分別為 ℓ_1、ℓ_2 及 ℓ_3 時，聲音響度最大（發生共鳴）。故聲波波長為 $\lambda=2(\ell_3-\ell_2)$；音叉頻率為 $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{2(\ell_3-\ell_2)}$（其中 v=343 米/秒）



類 2.在「共鳴空氣柱」的實驗中，所使用的共鳴儀為：長 100 公分附有刻度的玻璃管，底側開口以橡皮軟管連接蓄水器。實驗時可提高或降低蓄水器的位置，來調整玻璃管內空氣的長度，找到共鳴點，請回答下列問題：

(1)若實驗當時的溫度為 15℃，則所使用的音叉的最低頻率為若干？

(2)音叉的振動方向必須與空氣柱互相平行還是互相垂直？為什麼？

(3)若利用甲音叉來實驗，共鳴時水面位置的實驗數據依序為：17.0 公分、51.5 公分、87.0 公分，則此音叉所發出聲音的波長應記為若干公分？

(4)承上題(3)，已知甲音叉頻率為 500 赫，現在利用乙音叉來實驗，測得乙音叉所發出聲音的波長為 50 公分，則乙音叉的頻率為多少赫？答：(1)85Hz；(2)平行，∵聲音為縱波；(3)70cm；(4)700Hz

類 3.將一長度為 100cm 的長玻璃管鉛直豎立，管內的水面高度可以任意調整。現將一振動中的音叉（頻率為 100Hz），靠近管口邊，則水面高度為_____公分時，會有共鳴的聲音。（聲速為 340m/s）答：15

※共鳴空氣柱實驗

例30. 某生作「共鳴空氣柱」實驗，共鳴管之長度為100cm，當空氣柱的長度由 0 逐漸增加，測得共鳴時空氣柱的長度如表所示，已知甲音叉之頻率為400Hz，則：

	第一共鳴點	第二共鳴點
甲音叉	20cm	62cm
乙音叉	12cm	38cm

(1)乙音叉之頻率為_____Hz。答：646

(2)實驗時的溫度為_____℃。答：8.3

(3)此共鳴管所能產生共鳴的音叉之最低頻率為_____Hz。答：83.17

類 1.一音叉置於垂直開管的上端，管中盛水，當水面距管的頂口爲 8 公分及 28 公分時，即成最強的共鳴，別無其他位置生成強共鳴。若在室內空氣中的聲速爲 330 公尺/秒，則音叉頻率多少？答：825Hz

類 2.在共鳴空氣柱的實驗中，若共鳴管管長 105cm，聲速 335m/s，一音叉以頻率 670 赫在管口振動，則產生共鳴時，管內水面與管口的最小距離爲 Xcm，最大距離爲 Ycm，則 X+Y= cm。答：100

類 3.垂直玻璃管的長度是 1.0 公尺，管中水面可以調任何位置。持音叉恰在管頂端開口之上，音叉以 660 次/秒振動，則有共鳴時水面在何位置？(設聲速爲 330 公尺/秒)答：距管口$\frac{1}{8}$公尺、$\frac{3}{8}$公尺、$\frac{5}{8}$公尺、$\frac{7}{8}$公尺

類 4.某生做共鳴空氣柱實驗，所使用的音叉頻率爲 64 赫，若聲速爲 320 公尺/秒，則能產生共鳴之最小管長爲_____米。【85 台北聯合】答：1.25

類 5.使音叉在管長可以調節之一端閉口，另一端開口的管口振動，測得連續兩次共振時，管長之差爲 34cm，若當時氣溫 15℃，則音叉的頻率應爲多少 Hz？ (A)400Hz (B)500Hz (C)600Hz (D)800Hz (E)1000Hz。答：(B)

類 6.在「共鳴空氣柱」實驗中，下列敘述何者爲不正確？ (A)蓄水器注水時，應把蓄水器置於最高位置，將蓄水器充滿水 (B)實驗時，音叉要輕觸透明管之管口 (C)判斷空氣柱是否產生共鳴的方法，是觀察水面是否產生劇烈振盪 (D)改用頻率較高的音叉做實驗時，共鳴點的個數可能增多，不可能減少 (E)對於同一頻率的音叉，測得的共鳴點位置應與實驗室溫度無關。答：(A)(B)(C)(E)

14-1 聲波的傳播

一、聲波的性質

(1)聲波屬於力學波(或稱為機械波)的一種，必須靠介質的擾動來傳遞能量。

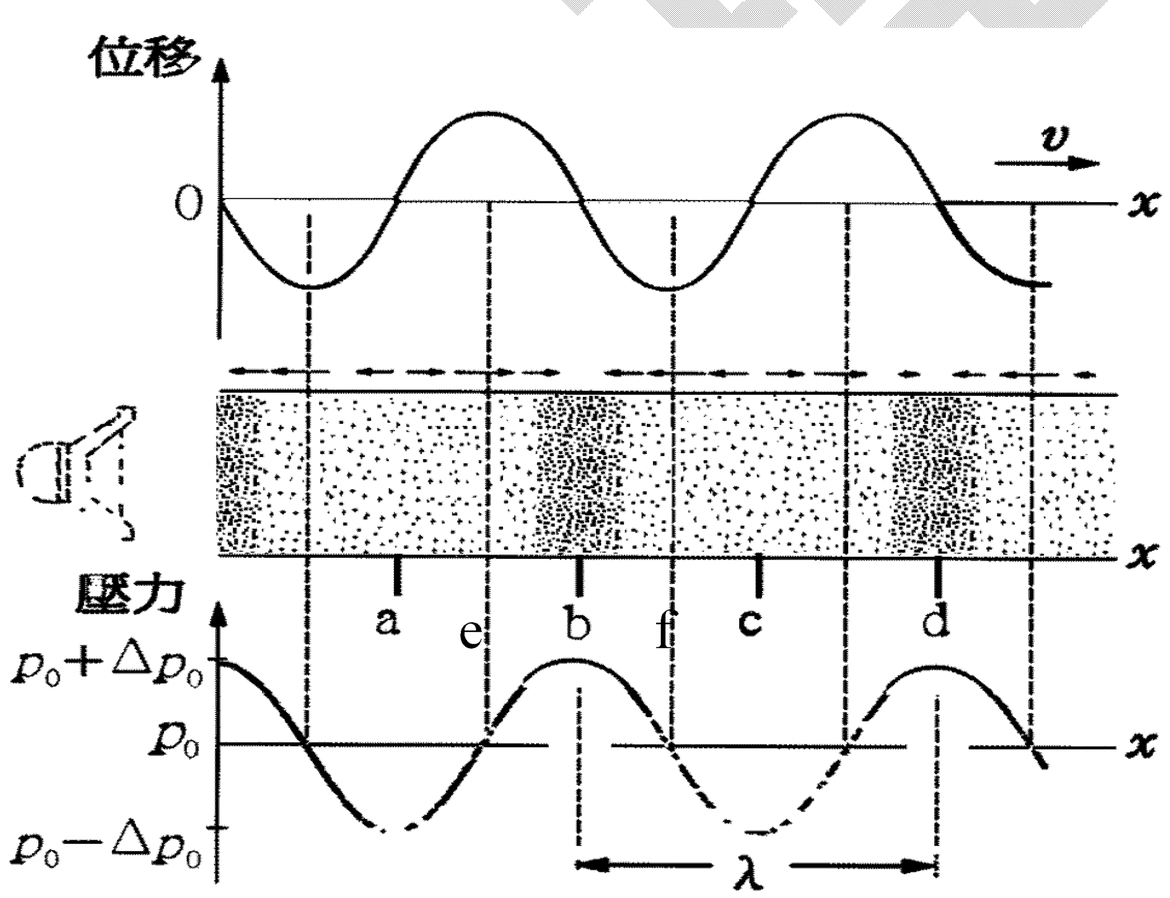
(2)聲波在固體中傳播時，可以縱波或橫波的形式傳播，但波速不同。如玻璃中的縱波波速為 **3200m/s**；橫波波速為 **3000m/s**。

(3)聲波在流體中(液體或氣體)傳播時，只可以縱波的形式傳播，無法以橫波的形式傳播。

(4)聲波在乾燥無風的空氣中傳播時，以縱波的形式傳播，其速率 **v** 與攝氏溫度 **t**℃有關；聲速 **v=331+0.6t(m/s)**。

二、聲波在空氣中的傳播

如右圖所示，當聲波沿 **x** 軸傳播時，一小群空氣分子的縱向位移和壓力隨位置變化的關係圖。



(1)最上方的圖代表空氣分子的縱向位移大小，正值代表向右移動，負值代表向左移動。

(2)中央的圖假設在左端放置一揚聲器，空氣形成疏密波，小箭頭代表空氣分子移動的大小及方向，恰與上方的位移圖對應。

(3)下方的圖代表壓力與疏密波對應的情形。p_o代表大氣壓力，Δp_o代表壓力差。

(4)a 點：密度最小，位移**=0**，分子振動速度最大。

b 點：密度最大，位移**=0**，分子振動速度最大。

e 點：密度不變，位移最大，分子振動速度**=0**。

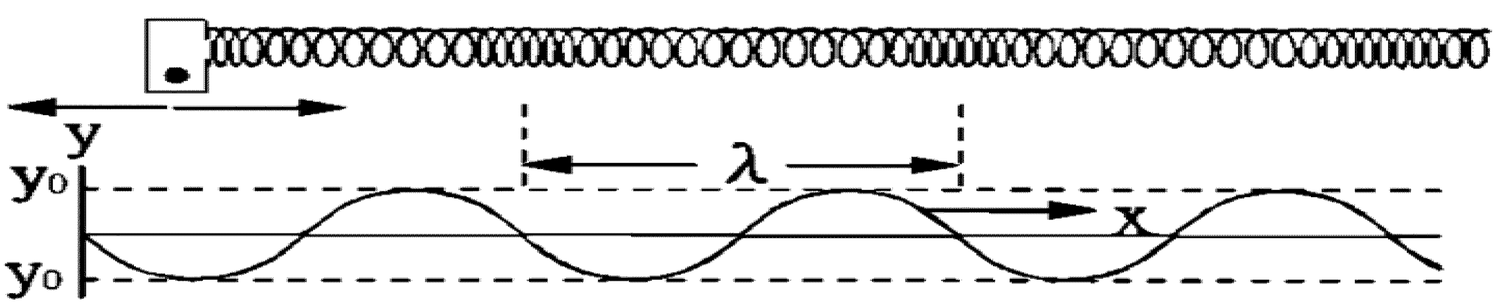
f 點：密度不變，位移最大，分子振動速度**=0**。

(5)相鄰兩密部或疏部中央之間的距離即為波長**λ**。

(6)當聲波傳播時，疏部和密部，都以相同的速率前進。但是聲波只是傳送空氣的擾動(即偏離平衡狀態的位移)，而不是帶走空氣分子。空氣分子僅在其原平衡位置前後作來回振動而已，當聲波通過後，即恢復常態。

三、彈簧上的縱波

如上圖所示，為彈簧疏密與位移的對應圖。



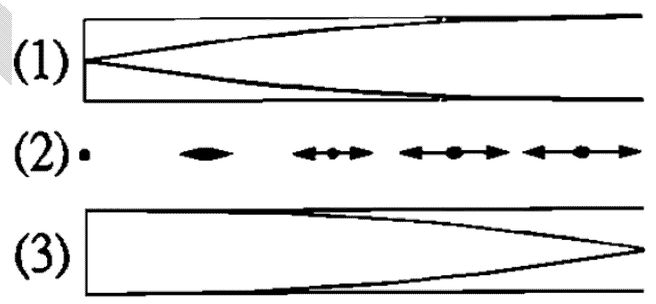
14-2 聲音的駐波—基音和諧音

一、閉管與開管

1.閉管：一端封閉，另一端開口的空管。例如：單簧管。
2.開管：兩端皆端開口的空管。例如：橫笛。

二、聲波的反射及特性

1.當聲波到達封閉端時，其反射波的特性與繩波在固定端的反射相同。反射波和入射波具有相同的頻率和振幅，但波形相反。
2.當聲波到達開口端時，其反射波的特性與繩波在自由端的反射相同。反射波和入射波具有相同的頻率和振幅，但波形相同。
3.閉口端的空氣受阻無法移動，故壓力的變化(Δp_o)最大，此處的氣體分子其振動位移為零，形成波節。**(**參考 **14-1)**
4.開口端的空氣壓力與大氣壓力相等，故壓力的變化(Δp_o)為零，此處的氣體分子位移為最大值，形成波腹。**(**參考 **14-1)**
5.空氣柱振動時所產生的基音駐波
(1)圖：為不同位置氣體分子的振幅，可看出閉口端為節點，開口端為腹點。
(2)圖：黑點與箭矢長度代表氣體分子實際震動方向與振幅。
(3)圖：表示不同位置的氣體壓力，閉口端的壓力變化為極大，開口端的壓力變化為零。



三、閉管&開管空氣柱的駐波

1.閉管的駐波及頻率：

$$\lambda = \frac{4L}{2n-1}$$

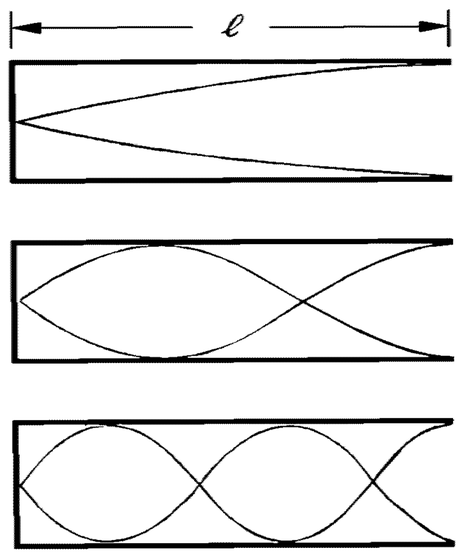
$$f = \frac{(2n-1)v}{4L}$$

固定長度的閉管所能發出的共振頻率是其基頻**(**最低頻率**)**的奇數倍，即各共振頻率的比值為 **1**：**3**：**5**：**.....**。

n=1，$\frac{\lambda_1}{4} = L$，$f_1 = \frac{v}{4L}$

n=2，$\frac{\lambda_2}{2} + \frac{\lambda_2}{4} = L$，$f_2 = \frac{3v}{4L}$

n=3，$2\times\frac{\lambda_3}{2} + \frac{\lambda_3}{4} = L$，$f_3 = \frac{5v}{4L}$



2.開管的駐波及頻率：

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

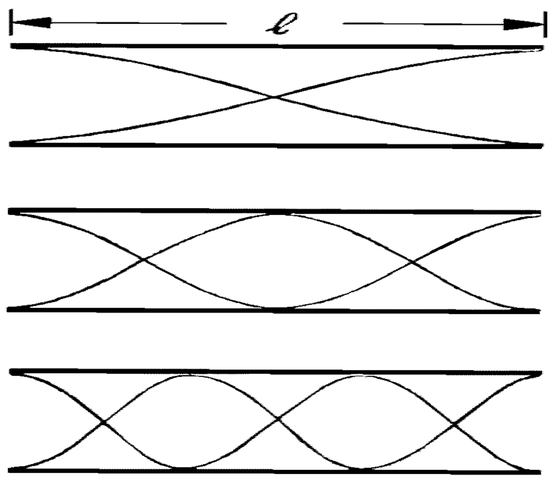
$$f = \frac{nv}{2L}$$

固定長度的開管所能發出的共振頻率是其基頻**(**最低頻率**)**的整數倍，即各共振頻率的比值為 1：2：3：.....。

n=1，$\frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} = L$，$f_1 = \frac{v}{2L}$

n=2，$\frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{2} + \frac{\lambda_2}{4} = L$，$f_2 = \frac{2v}{2L}$

n=3，$\frac{\lambda_3}{4} + 2\times\frac{\lambda_3}{2} + \frac{\lambda_3}{4} = L$，$f_3 = \frac{3v}{2L}$



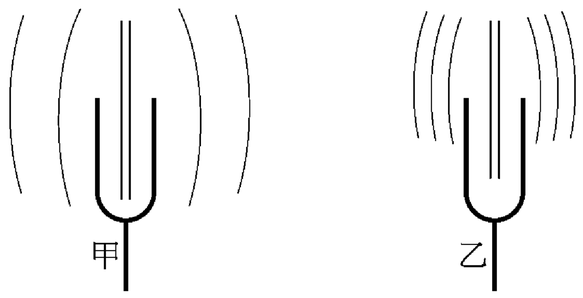
※聲波的性質

例31. 乙兩音叉在空氣中連續振動，使周圍的空氣形成疏密相間的連續波形如圖所示。問：

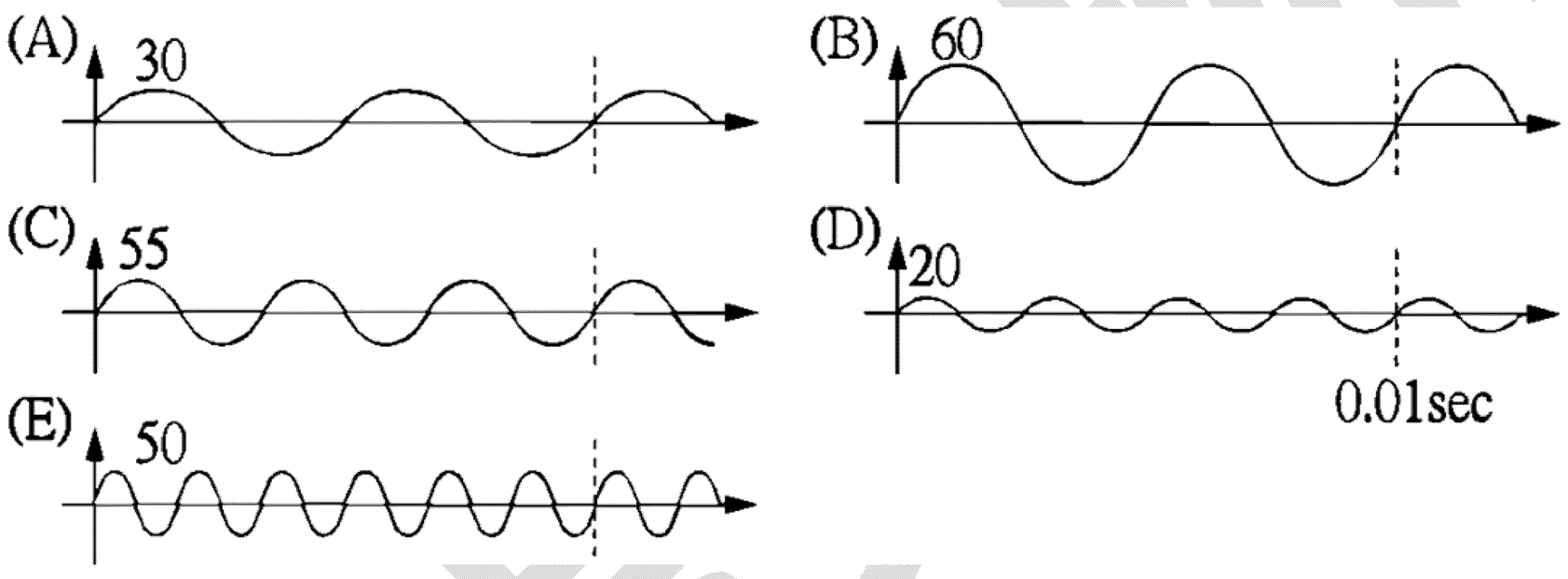
(1) 甲、乙音叉何者頻率較高？

(2) 甲、乙音叉所發出的聲音，在空氣中的傳播速率何者較快？

答：(1)乙；(2)一樣快



類 1.以下為 5 支音叉振動發聲空氣分子的位移與時間關係圖，何者所產生的聲音頻率最高？（數字代表位移，單位為公尺）【86.大考中心題庫】



答：(E)

類 2.頻率 686Hz 的音叉，在 20℃的環境下，所產生的聲波波長為多少？ (A)40 公分 (B)50 公分(C)60 公分 (D)80 公分。答：(B)

類 3.當氣溫升高時，一振動體在空氣中傳播的聲波，其 (A)波速變大 (B)頻率變大 (C)振幅變大 (D)波長變短　(E)波長變長。答：(A)(E)

類 4.空氣中： (A)聲音愈強，聲速愈大 (B)振幅愈大，聲音愈強 (C)聲音愈高，聲速愈大 (D)波速與介質振動速率無關 (E)溫度愈高，聲速愈大。答：(B)(D)(E)

類 5.下列有關「聲波」的敘述，何者正確？ (A)聲音只能依靠空氣分子傳遞 (B)介質振動頻率變大，聲速變快 (C)聲波波長變長，聲速變快 (D)夏天裡傳聲比冬天裡傳聲快 (E)溼度大的空氣中傳聲比溼度小的空氣中傳聲快。答：(D)(E)

類 6.下列關於超聲波的敘述，何者正確？ (A)超聲波是波速高於一般聲音的聲波 (B)超聲波是強度高於一般聲音的聲波 (C)超聲波是振幅大於一般聲音的聲波 (D)超聲波是頻率高於一般聲音的聲波 (E)超聲波是能量高於一般聲音的聲波。答：(D)

※聲波的反射、折射、繞射

例32. 聲波在空氣中的速率為 340m/sec，在水中為 1470m/sec，當聲波由空氣進入水中時： (A)波長不變 (B)波速不變 (C)頻率變大 (D)波長變為 4.33 倍 (E)波長變成 0.23 倍。答：(D)

例33. 一人於兩峭壁 A、B 間某點鳴槍，經 1.5 秒後聞得回聲，再經 1 秒又聞得另一回聲，則兩峭壁間的距離為_____m。答：680

類 1.在兩峭壁間鳴槍，聽到兩回聲的時間間隔爲 2 秒，若聲速爲 340m/s，則兩峭壁的水平距離爲多少？(已知離較近的峭壁 650 公尺) (A)1260 公尺 (B)1320 公尺 (C)1640 公尺 (D)1850 公尺。答：(C)

類 2.聲音在空氣中行進的速度爲每秒 330 公尺。若落石下井，三秒鐘後聽到聲音，則井的深度 h 約爲： (A)330 公尺 (B)110 公尺 (C)80 公尺 (D)64 公尺 (E)44 公尺。答：(E)

類 3.人耳分辨回聲的時距是 0.1 秒以上。若一聽者站在光滑牆壁前，則至少必須相距_____公尺，方能辨認出反射一次後的回聲。（若聲速爲 340m/s）答：17

類 4.聲波在空氣中的速率爲 340m/sec，在水中爲 1470m/sec，則聲波由空氣進入水的折射率爲： (A)4.33 (B)3.33 (C)0.23 (D)1.23 (E)1.00。答：(C)

類 5.聲波從空氣中傳進水中時，必定： (A)速度變慢 (B)頻率變大 (C)頻率變小 (D)波長變長 (E)無法傳播。答：(D)

類 6.聲音從空氣傳至玻璃時： (A)聲音不會進入玻璃，只會反射 (B)聲音在空氣中的波長比在玻璃中爲長 (C)聲音在空氣中的波長比在玻璃中爲短 (D)聲音在兩者中波長一樣 (E)聲音在玻璃中的波長與玻璃厚度有關。答：(C)

類 7.在街頭轉角處，人無法看見轉角另一側的人，卻可聽見對方，是因爲 (A)光速甚大於聲速 (B)聲波藉空氣傳播，而光波則否 (C)聲波的波長甚長，而光波則甚短 (D)聲波是縱波，而光波是橫波 (E)人可發聲，卻不發光。答：(C)

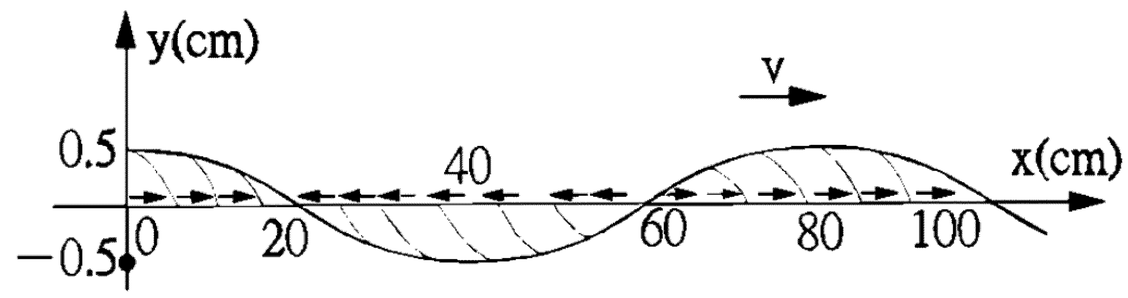
※聲波的位移、壓力、振動速率

例34. 一縱波沿 x 軸(向右)行進，質點振動位移 y。向右為正，向左為負，在時刻 t=0 的 $y = y(x,0)$ 函數圖如圖所示，波速為 50cm/s。

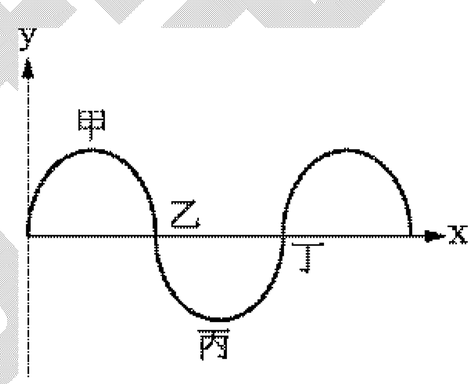
(1)圖上哪些位置是密部？疏部？

答：密部 x=20；疏部 x=60

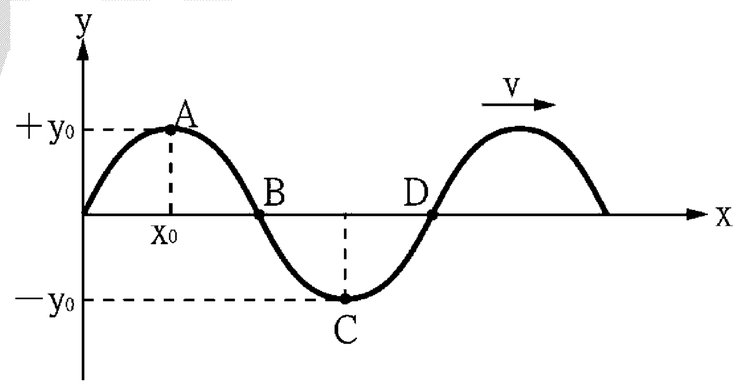
(2)求此行進波的頻率？答：0.625Hz



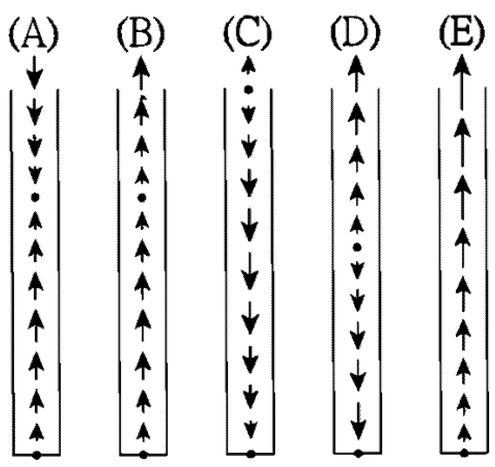
類 1.如圖為某一時刻空氣柱中縱波的振動位移 y 與位置 x 的函數圖，空氣分子的位移 y 向右為正、向左為負，下列敘述正確的是： (A)位置甲為密部 (B)位置乙的空氣密度最小 (C)位置丙為疏部 (D)位置丁空氣分子振動的速度為零 (E)位置丁為疏部。答：(E)



類 2.如附圖，一縱波向右行進，將各介質質點離平衡點的位移記為 y，並假設向右為正，得質點位移 y 對位置 x 的函數圖，則下列敘述何者正確？ (A)此縱波的振幅為 y_0 (B)此縱波的波長為 $4x_0$ (C)圖中 A 點為壓力變化極大的位置 (D)圖中 B 點為壓力變化為零的位置 (E)圖中 D 點為疏部。答：(A)B)(E)



類 3.如圖，下列各選項的圖中，箭頭代表聲波空氣分子於空氣柱中的振動位移向量，則哪一圖為空氣柱內產生駐波的示意圖？



類 4.以活塞自有空氣的長管中之左端來回作簡諧運動時，可形成聲波，則下列敘述何者正確？(A)相鄰疏部與密部間的距離為波長 (B)疏部的中央為質點振動速度最大之處 (C)密部的中央為質點位移最大之所在 (D)密部和疏部在管中傳播之速率均相同 (E)不論右端為開敢或閉塞，均可在管內產生駐波。答：(B)(D)(E)

類 5.有關聲波之敘述，下列那些是正確的？(A)是縱波 (B)介質之質點在疏部之位移最大 (C)密部之位移最大 (D)疏部之速率最大 (E)密部之速率最大。答：(A)(D)(E)

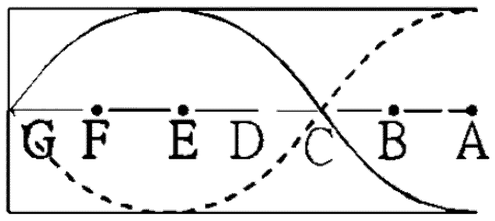
類 6.下列有關樂器的敘述何者正確？ (甲)長笛是運用空氣柱振動的原理設計而成 (B)弦樂器如吉他，弦愈短，頻率愈低 (丙)每一種樂器音色不同，是因其發出的波形不同 (丁)音調是由樂器所產生的波的振幅來決定 (戊)鋼琴與口琴皆屬於弦樂器 (A)甲乙 (B)乙丙 (C)甲丙(D)丙丁 (E)甲戊 (F)乙戊 (G)甲丙戊。答：(C)

※閉管的性質

例35.如右圖，管的一端封閉，而空氣在管中形成駐波，圖中各點，何者

(1)空氣密度變化最大之處？答：(C)(G)

(2)分子振動位移最大之處？答：(A)(E)



類 1.在閉管駐波中，第五諧音的節點數有多少個？ (A)1 個 (B)3 個 (C)5 個 (D)4 個。答：(B)

類 2.下列有關「閉管」風琴管的敘述，何者正確？ (A)所產生的駐波頻率爲不連續的 (B)形成 2 個節點時的頻率是 1 個節點的 2 倍 (C)形成 3 個節點時的音頻稱爲第三諧音 (D)形成 4 個節點時的波長是管長的$\frac{1}{4}$ (E)管口附近是駐波的腹點。答：(A)(E)

類 3.設聲速爲 330(m/s)，音叉頻率爲 f=330(Hz)，把音叉放在距離 3 米的地方，設牆爲良好聲波反射面，除了牆以外無聲波反射，當音叉發聲時，音叉與牆之間形成____個腹點。答：6

類 4.小明的爸爸從小就告訴小明不可以去看牛肉場，並騙他說：「如果你去看牛肉場的話，就會變成石頭人」小明謹記於心。

有天，小明偷偷跑去看牛肉場，看到一半忽然大叫且跑出牛肉場.牛肉場的主人趕快跑出去看發生了什麼事。

小明就跟老闆說了老爸的叮嚀，老闆就說你沒有變成石頭人啊，小明很認真的說：「但是我身上已經有一部份開始變成石頭了啊..！」

14-3 聲音的共鳴

一、自然頻率

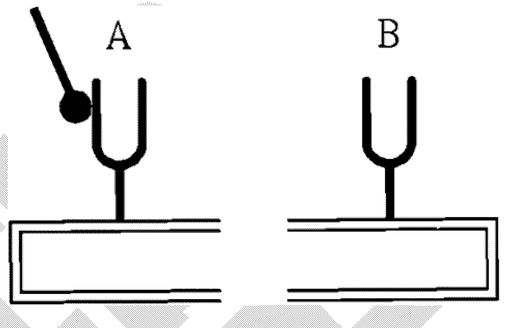
定義：所有能振動的物體振動時，會形成駐波。這些駐波有其特定的頻率，通稱為振動體的自然頻率。(駐波頻率有無限多個，自然頻率也有無限多個)

1.一維振動：張緊的弦有特定頻率的駐波；空管中的空氣柱有特定頻率的駐波。

2.二維振動：鼓面的皮膜。

3.三維振動：提琴音箱的振動。

二、共鳴或共振

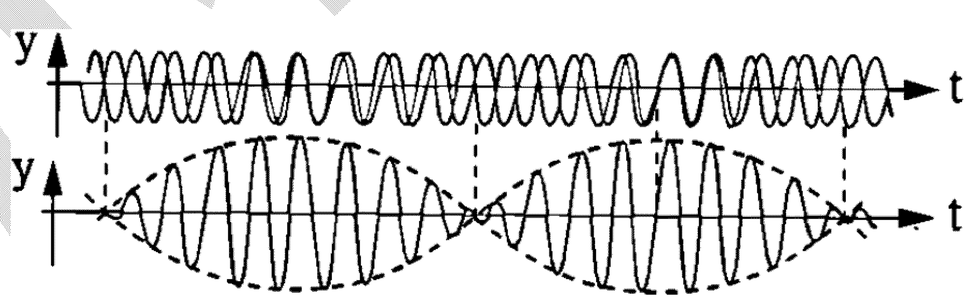


1.共鳴的定義：外界傳入的振動頻率恰等於物體的自然振動頻率之一，就能引發共鳴，使物體由靜止而振動的現象。如固定於音箱上的音叉，當音叉頻率等於音箱的自然頻率之一，音箱也會產生振動。

2.共鳴的作用：將物體的振動能量有效的轉換為聲波的能量，當音叉頻率等於音箱的自然頻率之一，則將產生較大振幅的駐波，使箱板的振動幅度加大，造成更大的聲響，如圖所示。

三、拍音(Beat)

1.意義：當同一方向進行的兩聲波，其頻率相差不多時，則其干涉作用，時而加強，時而減弱，彼此交替，極有規律，此種現象稱為拍音。

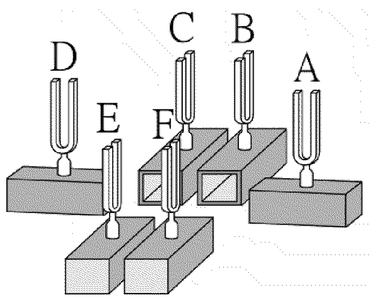


2.頻率；設兩波的頻率分別為 f_1 與 f_2，且 f_1 略大於 f_2，則拍音的頻率為 $\Delta f = f_1 - f_2$

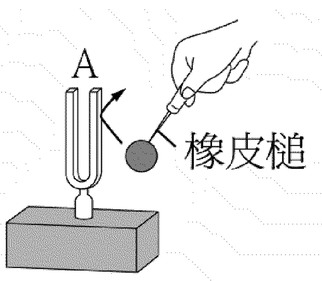
例36. 有六支音叉如圖(一)所示排放做共鳴實驗，每一支音叉的振動頻率如下：A＝90 赫，B＝100 赫，C＝110 赫，D＝90 赫，E＝130 赫，F＝100 赫，試回答問題：

(1) 以橡皮槌敲擊 A 音叉後，再用手按住音叉兩股（如圖(二)及圖(三)所示），則_____音叉可產生共鳴，此因_____之故。

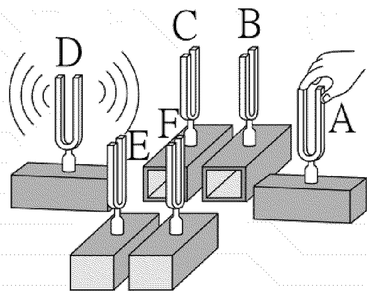
(2) 承(1)，敲擊 B 音叉，則_____音叉可產生共鳴。答：(1)D，頻率相同；(2)F



圖(一)



圖(二)

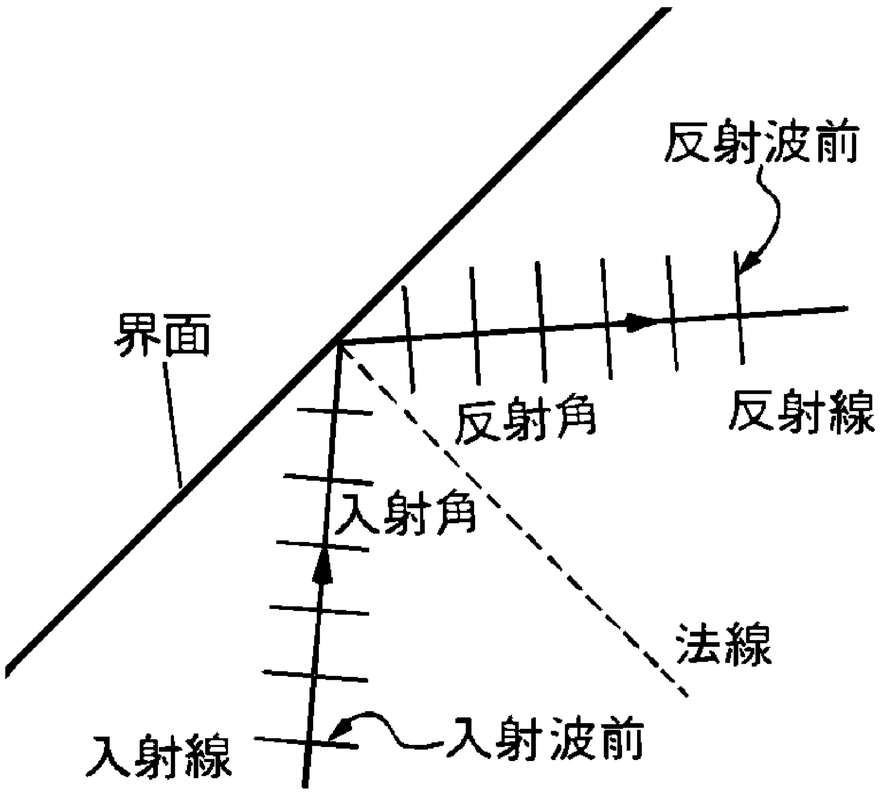


圖(三)

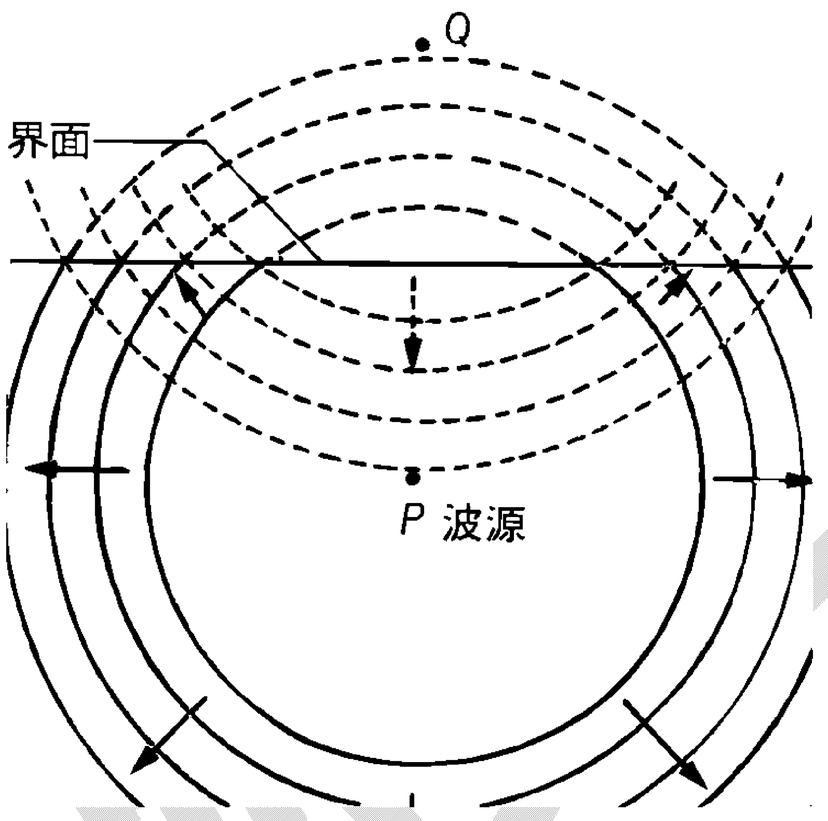
類 1.下列敘述何者正確？ (A)大部分的樂器都有共鳴箱，其目的在藉箱內空氣的共鳴，增強聲音的強度 (B)在同一介質中，改變聲音的頻率，則波速亦改變 (C)聲音在空氣中傳播時，其傳播方向是朝單一方向(D)兩發音體要發生共鳴現象必須兩者振動幅度相同 (E)轉動收音機的調諧盤時，可收到某一電台的播音，這是應用電波的共鳴。答：(A)(E)

13-6 水波的反射和折射

※水波的反射



水波遇到障礙物反射，水波反射的分析圖，由圖可得反射角和入射角相等。

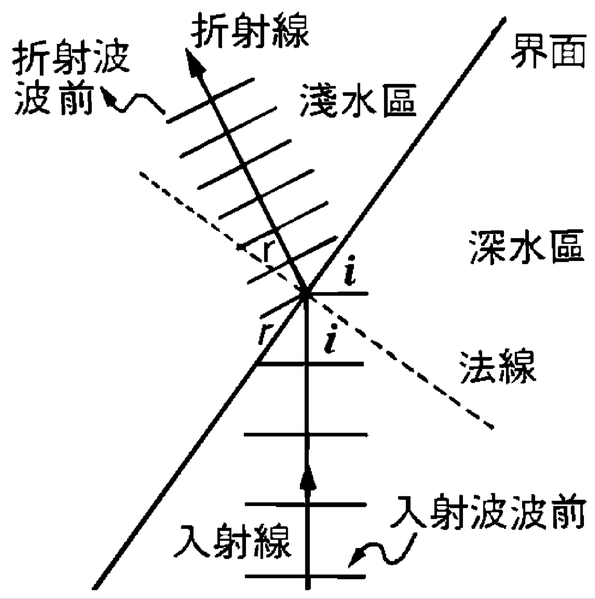


點波源發出的圓形水波遇到障礙物的反射波仍為同心圓形波，由圖中可以看出反射的同心圓形波好像是從Q點發出，Q與界面的距離等於波源P至界面的距離，Q可視為P的像。

※水波的折射

水波由深水區進入淺水區，水波進入淺水區中行進的方向偏向法線。入射線和法線所成的角為入射角i，折射線和法線所成的角為折射角r。改變入射角i，測得折射角r，由實驗結果可知入射角i和折射角r的關係如下：

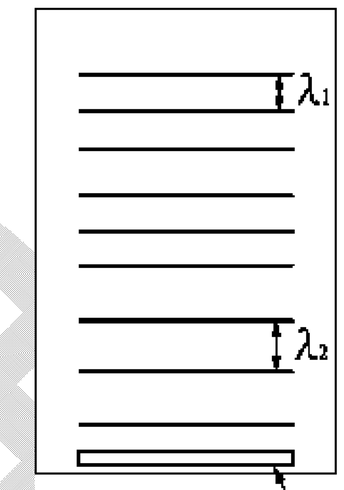
$\frac{\sin i}{\sin r}$ = 常數　此為波的折射定律。



例37. 在「水波槽實驗」中，水波的速率 v 可視為和水深 h 的平方根成正比，即 $v \propto \sqrt{gh}$。設一水波槽中，有水深比為 2：1 的深、淺兩區域(境界為直線)，並以一定頻率的起波器由淺區向深區送入直線波，則下列敘述何者正確？ (A)深、淺兩區域內的水波波速比為 $\sqrt{2}:1$ (B)深、淺兩區域內的水波波長比為 $1:\sqrt{2}$ (C)淺區對深區的水波折射率為 $\sqrt{2}$ (D)淺區相當於光學的「疏」介質，深區相當於「密」介質 (E)當入射角(在淺區內)為 30^o 時，折射角(在深區內)為 45^o。【73 夜大】答：(A)(C)(E)

類 1.一人在水波槽中做水波的實驗，發現在深水中波長 3 公分的波進入淺水後成爲 2 公分。設深水中的頻率爲 10 次/秒，則 (A)深水中波速爲 30 公分/秒 (B)淺水中波速爲 20 公分/秒 (C)淺水對深水的折射率爲 3/2 (D)淺水中頻率爲 10 次/秒 (E)淺水中頻率爲 15 次/秒。【72 日大】答：(A)(B)(C)(D)

類 2.如圖，爲水波槽實驗的結果，下列敘述何者正確？ (A)若頻率不變，則水波由深水區進入淺水區 (B)若頻率不變，則水波由淺水區進入深水區 (C)若水深不變，則頻率變大 (D)若水深不變，則頻率變小 (E)在水波槽邊緣的海棉條，主要的目的是吸收入射至邊緣的波，以減少因反射的干擾。答：(B)(D)(E)



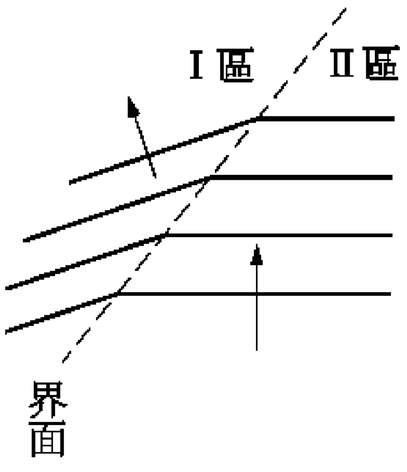
類 3.水波遇障礙物反射後： (A)滿足反射定律 (B)波速不變 (C)相位不變 (D)波長改變 (E)行進方向改變。答：(A)(B)(C)(D)

類 4.在「波之折射」實驗中，下列敘述何者爲正確？ (A)水槽中之玻璃板將水槽分爲淺水區及深水區，淺水區波速較大 (B)對驗證司乃耳折射定律而言，水波實驗不如光折射實驗來得準確 (C)起波器之頻率應保持在每秒 60 次 (D)水槽下白紙上所呈現之波長即爲水波真正之波長 (E)爲得清晰均勻之波像，應適當調節水槽上光源之高度。答：(B)(E)

類 5.使用水波槽做波動實驗時，下列的敘述中何者爲正確？ (A)欲得到障礙物較明顯之影時，波長應遠小於障礙物 (B)紙幕上之亮帶相當於水波之波谷 (C)做「波之折射」實驗時使用密度不同的兩種液體 (D)在「週期波」實驗中起波器必須保持一定頻率 (E)在紙幕上測得之波長等於實際水波之波長。答：(A)(D)

類 6.在水波槽中，水波在深水中波長$\lambda_1=2cm$，在淺水中，波長爲 1.2cm，起波器之頻率爲 12 次/秒，則： (A)水波在深水中之速率爲 24cm/s (B)水波在淺水中之速率爲 14.4cm/s (C)深水對淺水中的折射率爲$\frac{5}{3}$ (D)如水波從深水區以入射角 30° 傳到交界線，則折射角爲$\sin^{-1}\frac{3}{10}$ (E)水波在兩水區之速率比等於其波長之比。答：(A)(B)(D)(E)

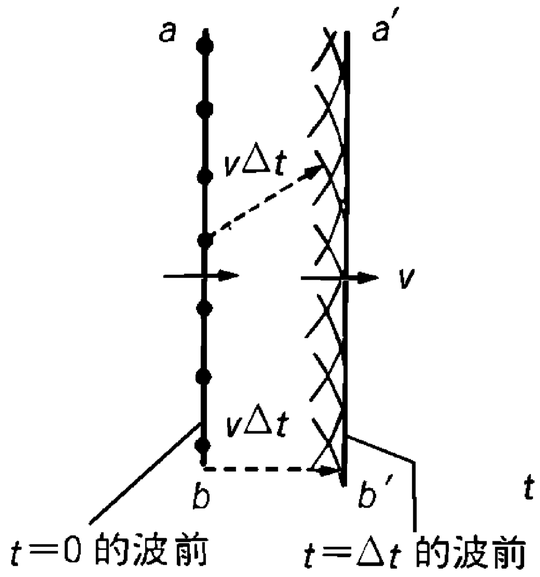
類 7.如圖爲水波槽實驗中的一部分，水波由 II 區傳向水深不同的 I 區，則下列敘述何者正確？ (A)在第 I 區的頻率比第 II 區大 (B)在第 I 區的波速比第 II 區大 (C)第 I 區水深比第 II 區深 (D)入射角大於折射角 (E)若入射角爲 i，折射角爲 r，則$\frac{\sin i}{\sin r}$=常數。答：(D)(E)

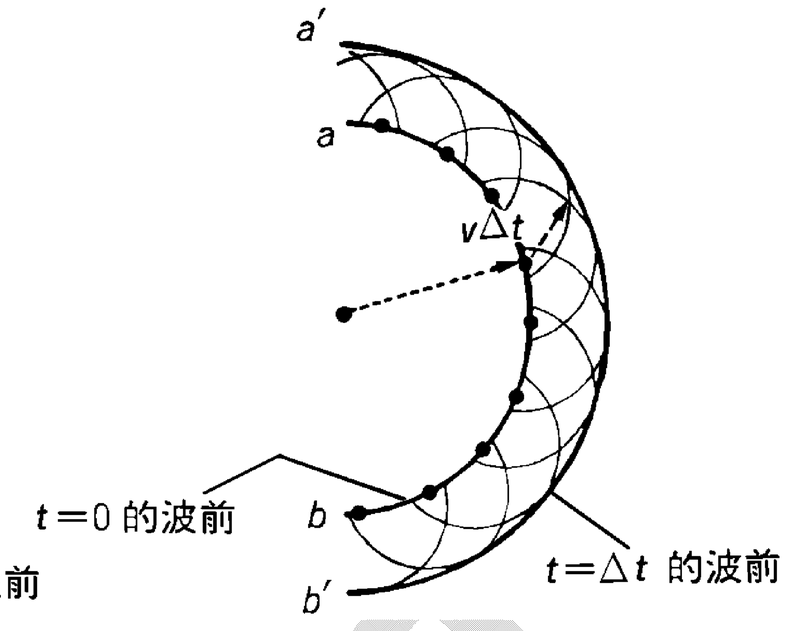


類 8.於水波槽中，波自深水區傳至淺水區，其入射角爲 45°，於深淺兩區之波長分別爲 1.4 cm 及 1.0 cm，則(1)於淺水區之折射角爲__(1)__；(2)在深水中之波速爲 28 $cm/\sec$，則在淺水中之波速爲__(2)__cm／s。答：20

13-7 海更士波前原理

荷蘭人海更士**(Christiaan Huygens，1629-1695)**認為波行進時，波前上的每一點都可視為新的點波源，各自發出球面波，在某一時刻和這些球面波相切的線或面**(**稱為包絡線或包絡面 **envelope)**，形成新的波前，此稱為海更士原理**(Huygen's principle)**，可用以解釋波的反射和折射等現象。



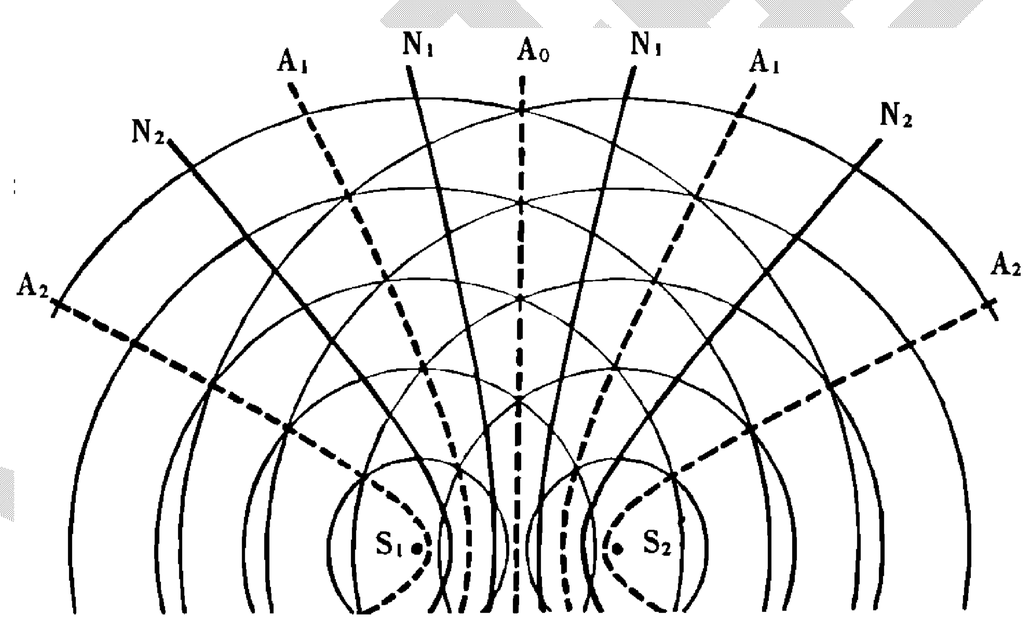


13-8 水波的干涉與繞射

1.腹線：如右圖中，A_0 線上各處到兩波源均等距，此時 A_0 上任一點到兩波源之波程差為 **0**，表示由 S_1 與 S_2 波到此均處相同振動態，故均加強，變為雙倍波峰或雙倍波谷，此線稱為腹線。同理 A_1，A_2 也都是加強線。A_1 上一點到兩波源之波程差 λ，A_2 上一點到兩波源之波程差 2λ。依此類推，腹線上一點 **P** 到兩波源之波程差

$PS_1 - PS_2 = n\lambda$　**n=0，1，2.....**為 S_2 邊腹線

$PS_2 - PS_1 = n\lambda$　**n=0，1，2.....**為 S_1 邊腹線



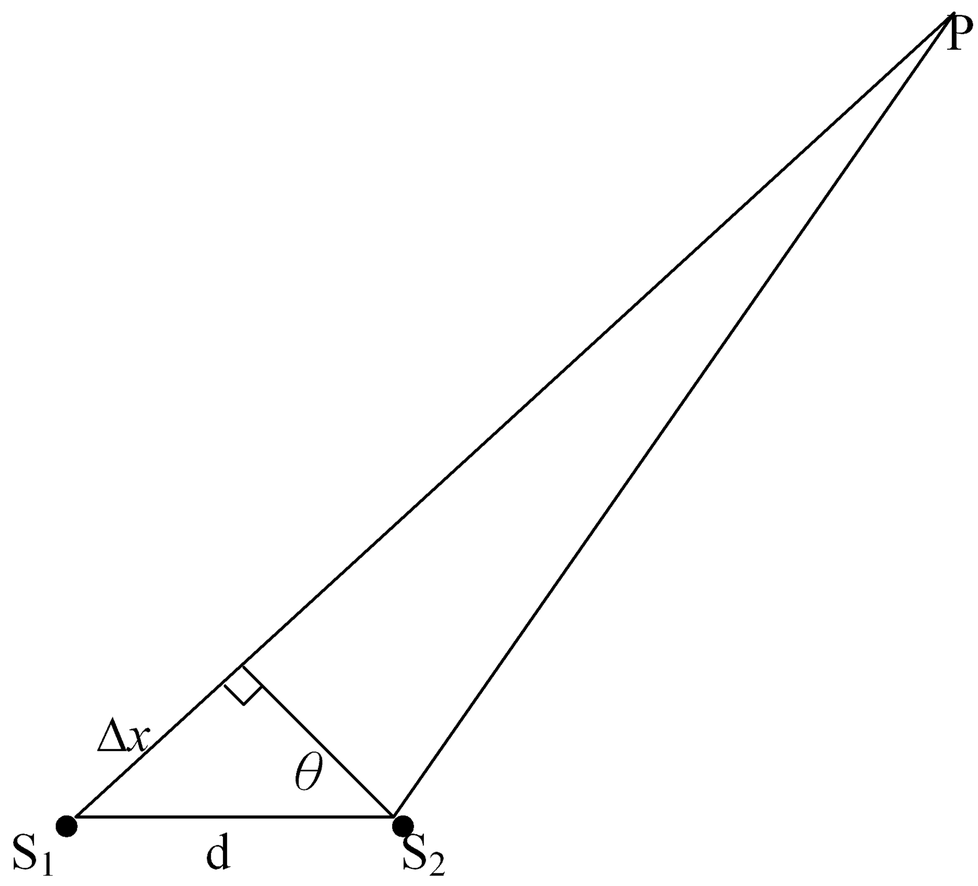
兩振源的水面波，虛線表振動位移最大處，實線表位移最小處

2.節線：在右上圖中，N_1 線，N_2 線均為節線。N_1 線上一點到波源之波程差為 $\frac{\lambda}{2}$，N_2 線上一點到兩波源之波程差為 $\frac{3}{2}\lambda$。可見節線上一點 **P** 到兩波源之波程差

$PS_1 - PS_2 = (n - \frac{1}{2})\lambda$　**n=1，2.....**為 S_2 邊節線

$PS_2 - PS_1 = (n - \frac{1}{2})\lambda$　**n=1，2.....**為 S_1 邊節線

同相位兩點波源所形成節線或腹線為雙曲線，對中垂線對稱(中央線之腹線除外)。



3.節線與腹線的數目

a.節線

$$\left|PS_1 - PS_2\right| = \Delta x = d\sin\theta = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

$$(n-\frac{1}{2})\lambda \le d$$

$$n \le \frac{d}{\lambda}+\frac{1}{2}$$

因節線對稱於中垂線，故總數為 **2n**

b.腹線

$$\left|PS_1 - PS_2\right| = \Delta x = d\sin\theta = m\lambda$$

$$m\lambda \le d$$

$$m \le \frac{d}{\lambda}$$

中央線為腹線，其餘腹線對稱於中垂線，故總數為 **2m+1**

c.直覺解法：先找出中央腹線，再依腹線與節線相距 $\frac{\lambda}{4}$，將腹線與節線標出來。

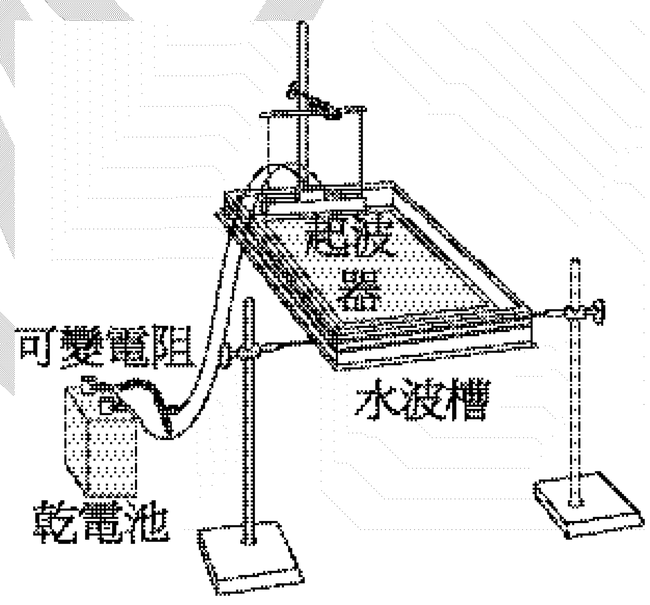
唐伯虎與祝枝山是好朋友，唐伯虎非常喜歡和祝枝山談論有關泡妞的事。
唐伯虎家中有八個老婆，所以他以此自豪，常說天下沒有他搞不定的女人，祝枝山半信半疑。
有一天，祝枝山告訴唐伯虎：「後山住著一個寡婦，守寡三年，把貞節視為生命，只養了一隻老鷹相依為命。如果你能搞定這名女子，那我祝枝山對你五體投地。」
唐伯虎想一想，便要祝枝山過幾天再來聽消息。
過了兩天，下起傾盆大雨。半夜，唐伯虎爬上了後山，到了寡婦家門口。唐伯虎敲了敲門，問道：「能不能讓我避避雨？」
寡婦開了門，原來是江南才子唐伯虎，連忙讓他進屋。唐伯虎進了門，連連道謝，接著又問道：「可不可以將濕的衣服脫掉？」
寡婦一看衣服全濕了，連忙把衣服那到灶上烘乾。這時，唐伯虎又問：「大嫂，我口渴了，借我一口瓢，讓我喝口水行嗎？」
寡婦連忙拿了一口瓢給唐伯虎。唐伯虎喝完了水，看看很晚了，問寡婦：「大嫂能否讓我在這裡過一夜？」
寡婦想了想，屋外雨下得正大，也就答應了，將唐伯虎領至客房，唐伯虎進了客房，也不客氣，倒頭便睡。
第二天天亮，唐伯虎起得早，悄悄走進院子，果然看見那隻相依為命的老鷹。唐 伯虎抓住老鷹，把毛都拔了下來；然後，也沒和寡婦打聲招呼，就回了家。
過了幾天，唐伯虎和祝枝山在家下棋，聽見有人敲門。祝枝山開了門，原來是那寡婦，寡婦一看見唐伯虎就破口大罵：
「唐伯虎啊唐伯虎！你是江南文人，一代才子，為何做出這種齷齪事來？那天我看你挺可憐，好心開門讓你進來。你要避雨，我就讓你避雨；你要脫，我就讓你脫；你要瓢，我就給你瓢；你要過夜，我就讓你過夜。你說！你為什麼把我的鷹毛都拔光了？」
祝枝山在旁聽得目瞪口呆...

※水波槽的干涉

例38. 做『水波槽實驗』時，同相、同頻率的兩點波源，產生同振幅的圓形波，會合後產生節線，則 (A)節線為雙曲線 (B)節線上任一點到兩波源的波程差為半個波長整數倍 (C)節線上任一點都是波峰與波谷恰相會的點 (D)節線上，水質點是恆不振動 (E)水波槽下方白紙幕上節線整條為暗線。答：(A)

類 1.在水波槽的實驗中，兩同相點波源干涉所形成的節線，在數學上是何種曲線？ (A)拋物線 (B)橢圓 C)雙曲線 D)圓。答：(C)

類 2.在「水波槽實驗」中，除已裝置好的儀器（如圖示）外，還有石蠟、阻波器、玻璃板及支持物、水、白紙等。



(1)試問還缺哪一樣必須器材？

(2)電路中串接可變通電阻之目的何在？

(3)在觀察水波通過狹縫的繞射現象時，會因石蠟條所形成的狹縫略爲過寬而無法清楚顯示，試問在不改變石蠟狹縫寬度及水深的前提下，應如何做才能讓繞射現象清楚顯示出來。

答：(1)水波槽正上方需有強光源，使水波能投影在水平地面之白紙上

(2)可以調整起波器振動的頻率，造成不同的波長

(3)調整可變電阻大小，以改變起波器的振動頻率，使水波波長比石蠟狹縫寬度大

類 3.以水波槽做波動性質實驗時，下列敘述中哪些是正確的？ A)水波之節線在紙幕上形成最暗帶 B)紙幕上顯示之波長即爲水波真實波長的一半 C)爲求能觀察到較清晰之障礙物繞射效果，梯形小石臘塊較長的一邊應面向起波器 D)在做水波干涉實驗時，起波器應與水波槽底相接觸，以獲得較好的起波效果 E)起波器之邊緣應保持光滑，以得到較清晰之波形。答：(C)(E)

類 4.不良醫生要求漂亮的女病患脫衣服，好幫她做檢查

這位小姐輕聲的說：「醫生，我不敢在你面前脫衣服。」

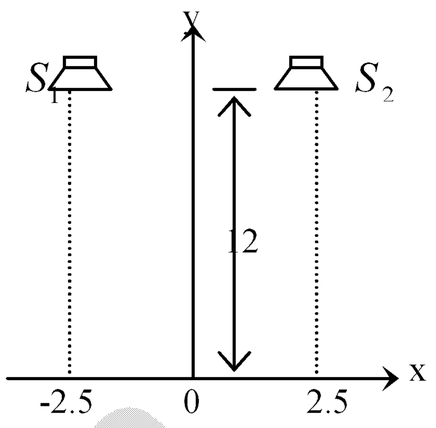
不良醫生說：「好吧，那我先把電燈關掉，妳衣服脫好後再告訴我。」

一分鐘後，小姐在黑暗中輕聲地說：「我脫好了！衣服要擺哪裡？」

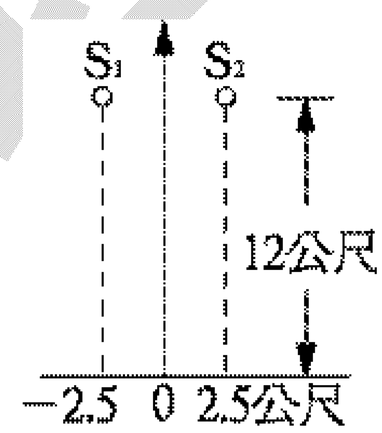
不良醫生說：「就放在這好了！放在我的衣服上。」

※ $\left|PS_1 - PS_2\right| = \Delta x = d\sin\theta = (n - \frac{1}{2})\lambda$

例39. S_1、S_2 5 兩個喇叭，分別置於 y=12 公尺，x=±2.5 公尺處(如圖所示)，由同一電源驅動發出相同的單頻聲音。一觀測者在 x 軸的不同位置上可聽到音量有大小起伏的變化。已知音量在原點時最大，往右移則音量漸小，當移到 x=2.5 公尺處時，音量最小。若聲速為 344 公尺/秒，則喇叭之音頻為 (A)158 赫 (B)172 赫 (C)316 赫 (D)344 赫 (E)502 赫。【85 年大學】答：(B)



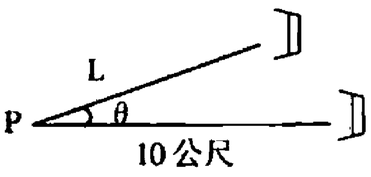
類 1. S_1、S_2 兩個喇叭，分別置於 y＝12 公尺，x＝±2.5 公尺處（如圖所示），由同一電源驅動發出相同的單頻聲音。一觀測者在 x 軸的不同位置上可聽到音量有大小起伏的變化。已知音量在原點時最大，往右移則音量漸小，當移至 x＝2.5 公尺處時，音量最小。若聲速為 344 公尺／秒，則喇叭之音頻為何？答：34.4，103.2，172……



類 2.兩只喇叭安放的位置如右圖所示，圖中的θ角很小，將它們接在頻率為 100 赫的音頻振盪榜上，聲速為 340 公尺/秒。P 點的觀察者

(1)收聽到最強的聲響，L 可為＿＿＿＿＿公尺(請利用整數 n)。

(2)收聽到最弱的聲響，L 可為＿＿＿＿＿公尺(請利用整數 m)。



答：(1) $\left|L-10\right| = 3.4\times n$ ；(2) $\left|L-10\right| = 3.4\times(m-\frac{1}{2})$

類 3. S_1、S_2 兩個喇叭相距 2.5 公尺，發出同相位且相同波長為 1 公尺的聲波，則沿著距兩波源中心 4 公尺的圓周繞一圈，可聽到音量有大小起伏的變化，其中共有＿＿＿＿＿處有音量極小值出現。答：10

類 4.一人沿一圓周散步，該圓周內包含二同相聲源，共經過 16 處無聲點，則該二聲源所形成之節線數為若干？答：8 條

類 5. A、B 二揚聲器相距 20 米，同相播出波長為 10 米的聲波，則在 AB 連線間距 A 若干米處可測得之聲音極弱？ (A)16 米 (B)14 米 (C)12.5 米 (D)11 米 (E)8.5 米。答：(C)

類 6.先生回家看到老婆與人偷情，老婆先發制人說：

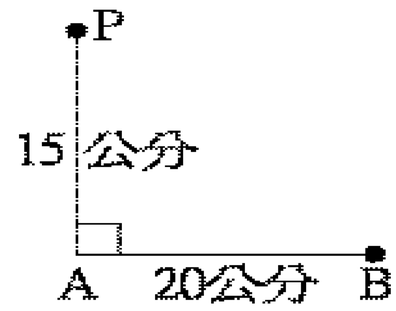
「你半夜四點才回來，去那兒了？」

老公怒道：「這個男人是誰？」

太太說：「你不要改變話題。」

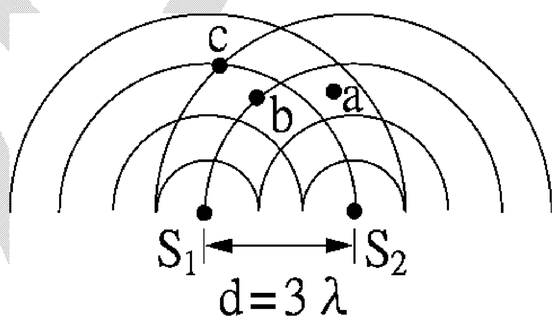
※ $\left|PS_1 - PS_2\right| = \Delta x = d\sin\theta = (n-\frac{1}{2})\lambda$

例40.如圖 A、B 為水波槽中兩個同相振動的點波源，發出水波的波長為 4 公分：(1)圖中 P 點是第_____條_____線（填：節線或腹線）上的點；(2)一共有_____條節線。答：(1)三節；(2)10



類 1.如圖，水波槽內有 S_1，S_2 兩同相點波源，相距 4λ(λ為波長)，沿 $\overrightarrow{S_2A}$ 方向前進，第一次見節線的位置距 S_2 多遠？答：$y=\frac{15}{28}\lambda$

類 2.在水波槽實驗中兩同相點波源相距 d=3λ(λ：波長)，如圖所示為某瞬時之干涉狀態，下列敘述何者正確？ (A)a 點的波程差為λ (B)b 點在節線上，a，c 兩點的腹線上 (C)S_1，S_2 間有 6 條節線 (D)若兩波源相位差為 $\frac{1}{2}$，則 b 點在腹線上，a，c 兩點在節線上 (E)若兩波源仍同相，但頻率均加倍，則 a，b，c 三點均在腹線。答：(A)(B)(C)(D)(E)



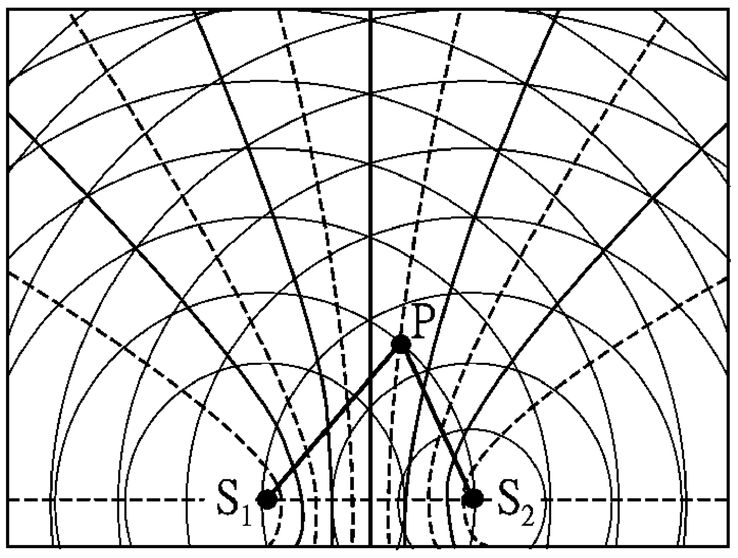
類 3.如圖是水波槽中 S_1 與 S_2 兩個點波源發出水面波產生干涉的現象，圖中的實線表示腹腺，即質點振動位移最大；兩實線間的虛線表節線，即質點的振動位移為零，則

(1)S_1 與 S_2 的相位差為_____。

(2)若水波的波長為λ，則 PS_1 與 PS_2 的波程差為_____λ。

(3)若 S_1 與 S_2 間的距離是 d，則 d/λ 的範圍是_____。答：

(1)0；(2) $\frac{1}{2}\lambda$；(3) $\frac{5}{2}<\frac{d}{\lambda}<3$



類 4.一名美女衝進一家西藥房，著急的問老板：「老板！有沒有治　妙方？快告訴我！」

老板見這美女頗有姿色，便想佔她便宜，便說：「有啊！只要打　的人把腿張開，讓我舔一舔，那她的打　就可以不藥而癒了！」

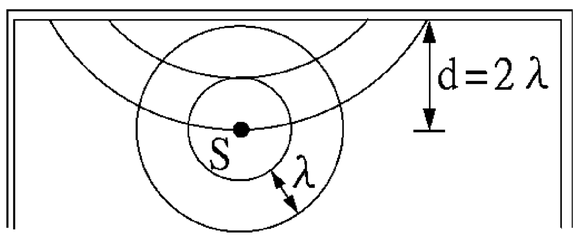
女郎興奮的說：「真的嗎？那太好了！能跟我到車上來嗎？我男朋友打　了好久，他快難過死了，你快來幫他舔一舔吧！」

※節線&腹線的數目

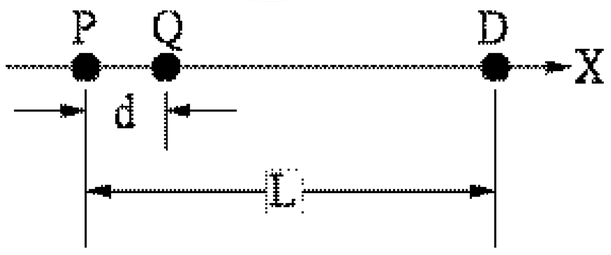
例41.水波槽內有兩個振源，相距為 d，同時發出同相的水面波，其波長為 λ；當 $d=\frac{3}{2}\lambda$ 時，則介於此二振源之間，可以見到的節線(即水波振動位移最小處)為_____條。【79年大學】答：2

例42.水波槽中兩同相點波源相距 d，水波波長 λ，在水波槽中產生 4 條節線，則 d 與 λ 之關係為何？ (A)$\frac{2}{5}d\geq\lambda>\frac{2}{7}d$ (B)$\frac{2}{5}d>\lambda\geq\frac{2}{7}d$ (C)$\frac{2}{3}d\geq\lambda>\frac{2}{5}d$ (D)$\frac{2}{3}d>\lambda\geq\frac{2}{5}d$ (E)以上皆非。答：(C)

類 1.水波槽實驗：一點波源產生水波波長爲 λ，距反射面 $d=2\lambda$，則入射波與反射波重疊產生干涉節線爲幾條？答：4



類 2.兩點波源 P、Q 在等深水面上，產生同相且完全相同波長爲 λ 的週期波，在兩波源連線上的 D 點處爲完全相消性時，d 最小＝_____λ。答:1/2



類 3.在水波干涉實驗中，欲使節線數增加，其方法有： (A)使用波長較短之水波 (B)使用頻率較小之水波 (C)使兩波源距離增加 (D)使兩波源振幅增加 (E)使用較大的水波槽。答：(A)(C)

類 4.水波槽中二點波源相距 7.2cm，作振幅、相位、頻率皆相同的週期性振盪，所發出之水面波波長同爲 2cm。則

(1)最靠近中央線的節線上的點至兩波源的距離差？答：1cm

(2)距中央線最遠的腹線上的點至兩波源的距離差？答：6cm

類 5.水波槽內有兩個振源，相距爲 d，同相的水面波，其波長爲 λ；當 $d=\frac{3\lambda}{2}$ 時，介於此二振源之間，可見到的節線（即水波振動位移最小處）爲_____條。答：2

※ $\left|PS_1 - PS_2\right| = \Delta x = d\sin\theta = (n-\frac{1}{2})\lambda$

例43. 同相二點波源相距 8 厘米，已知第 3 節線角為 30°，試求：

(A)二波波長為若干厘米？答：1.6cm

(B)節線之總條數？答：10 條

(C)如波之傳播速率為 32 厘米/秒，則二波源之振動週期 T 為何？0.05 秒

類 1.於水波槽內同相的兩點波源相距 6 cm，兩波源每秒振動 8 次，經測量第 2 條節線角為 30°，則兩波發出的週期波之波速為_____cm／s。答：16

類 2.兩相同點波源相距 6cm，產生波長 2cm 之水波，當在中央線右邊第 2 條節線上某一點距左邊波源 8cm 時，距右邊波源有若干 cm？答：5cm

類 3.兩點波源作用相振動，波長均為 4 cm，則中央線右側第 4 條節線上任一點至兩波源之距離差為_____cm。答：14

類 4.在水波干涉現象中，S_1 與 S_2 為二同相點波源，S_1S_2＝3 cm，波源頻率為 5 次／秒，若水波波長為 2 cm，則下列敘述何者正確？ (A)二波源連線之外側為節線 (B)若 P 為 S_1 側之第二節線上的某點，且 $\overline{PS_1}$＝10 cm，則 $\overline{PS_2}$＝11 cm (C)節線數共有 2 條 (D)若波源振動頻率改為 2 次／秒，則無節線產生 (E)節線上各點之振動位移及振動速度均為零。答：(A)(D)(E)

類 5.下列有關水波波動現象的陳述中，何者正確？ (A)發生全反射時，反射波與入射波為反相 (B)水波可傳遞動量 (C)水波槽中二點波源各發出波後，所生節線一定可以看到 (D)承(C)，節線上一點到二點波源之距離差為（n－1/2）λ，λ為水波波長（n∈N） (E)干涉現象可以重疊原理說明。答：(D)(E)

類 6.在「水波槽實驗」中，下列敘述何者有誤？ (A)作反射實驗時入射之波峰（明紋）遇障礙時仍以波峰（明紋）反射而出，此現象類似弦波遇自由端而反射 (B)水波由深水進入淺水之相對折射應小於 1 (C)水波在淺水傳入深水時可生全反射，且入射波在深淺水交界處以明紋入射時，全反射波亦以明紋反射而出 (D)水波槽中二點波源發出等波長之水波，若水波波長為λ，則其所生節線上一點 P 到二點波源 S，S_i 之距離差應為 $(n-\frac{1}{2})\lambda$，n∈N (E)水波遇小障礙物所生之繞射現象可用海更士原理說明。答：(B)(D)(E)

14-4 都卜勒效應

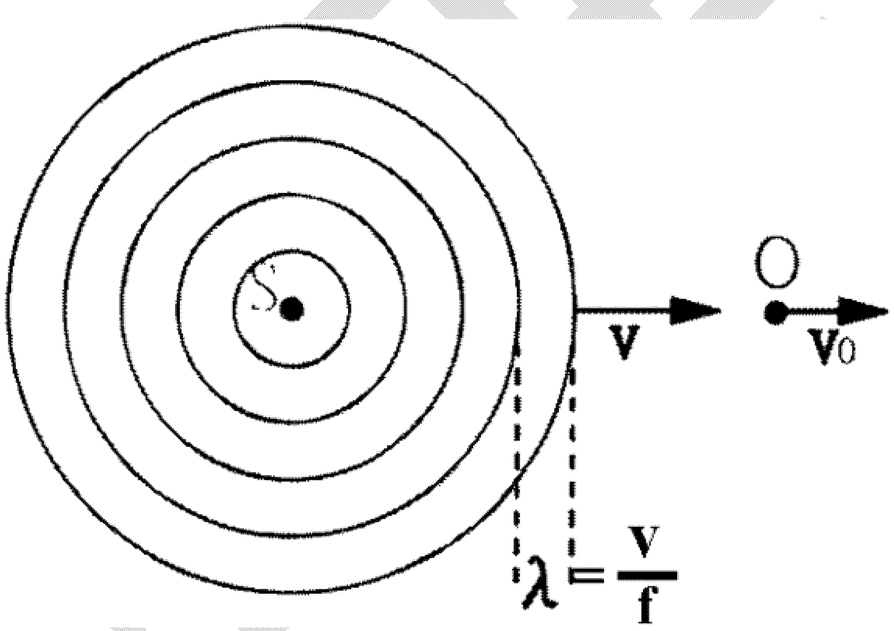
一、定義：

當聲源與觀察者間連線上有相對速度，觀察者所測得之頻率(稱為視頻)產生高低變化的現象。

二、常見的都卜勒效應：

1.星球若遠離地球，可測得其光譜的波長變長(紅位移)。
2.鳴著警笛的救火車從遠處急駛而來，又從眼前呼嘯而去，會覺得音調有高低變化。
3.火車駛近車站又遠離，車站上的人覺得其汽笛聲的音調由低變高，又由高變低。
4.聲源(S)與觀察者(O)接近時，頻率增加而變高；聲源與觀察者遠離時，頻率減少而變低。

三、公式：$f' = \dfrac{v \pm v_o}{v \mp v_S} f$



(1)觀察者以v_o接近波源

①波與觀察者之相對速度

$v' = v + v_o$

②觀察者所見波長

$$\lambda' = \lambda = \frac{v}{f}$$

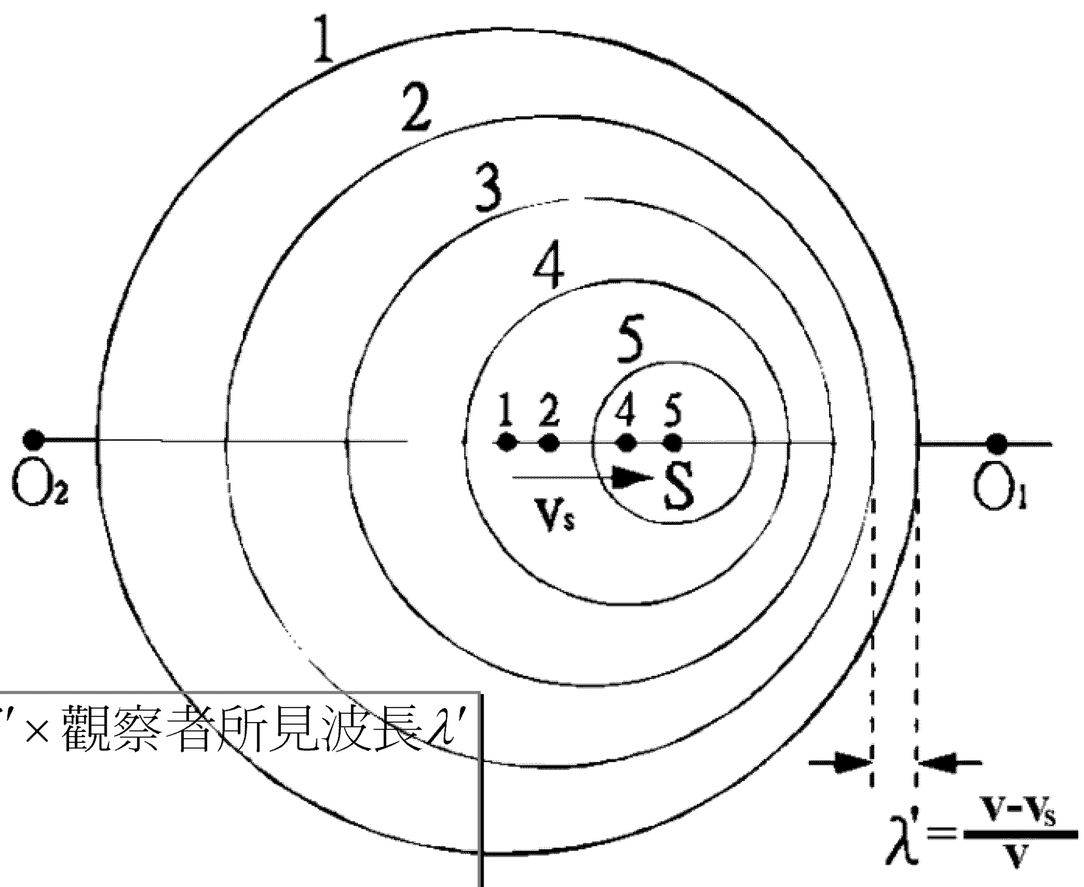
觀察者所見速度v'＝觀察者所見頻率f'×觀察者所見波長λ'

$$\Rightarrow v + v_o = f' \times \frac{v}{f}$$

$$f' = \frac{v + v_o}{v} \times f$$

同理，當觀察者以v_o離開波源

$$f' = \frac{v - v_o}{v} \times f$$



(2)波源以v_S接近觀察者

①波與觀察者之相對速度

$v' = v$

②觀察者所見波長

$$\lambda' = \frac{v - v_S}{f}$$

觀察者所見速度v'＝觀察者所見頻率f'×觀察者所見波長λ'

$$\Rightarrow v = f' \times \frac{v - v_S}{f}$$

$$f' = \frac{v}{v - v_S} \times f$$

同理，當波源以v_S離開觀察者

$$f' = \frac{v}{v + v_S} \times f$$

(3)觀察者以v_o接近波源且波源以v_S接近觀察者

①波與觀察者之<u>相對速度</u>

$$v' = v + v_o$$

②觀察者所見波長

$$\lambda' = \frac{v - v_S}{f}$$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{array}{l}\text{觀察者所見速度}v' = \text{觀察者所見頻率}f' \times \text{觀察者所見波長}\lambda' \\ v + v_o = f' \times \dfrac{v - v_S}{f} \\ f' = \dfrac{v + v_o}{v - v_S} \times f\end{array}}$$

同理，當觀察者以v_o離開波源且波源以v_S離開觀察者

$$f' = \frac{v - v_o}{v + v_S} \times f$$

四、討論

(1)速度

1.波速只受介質影響。

2.當觀察者向波源接近時，波與觀察者之<u>相對速度</u>改變，但波對地的實際速度不變。

3.波源移動時，波速不變。

(2)波長

1.靜止聲源所發出的聲波在各方向所量得的波長皆相同。

2.當聲源移動時，在行進方向所量得的波長變小；在其後方的波長變大。

(3)頻率

1.聲源與觀察者兩者接近時，頻率增加。

2.聲源與觀察者兩者遠離時，頻率減少。

五、哈伯定律

1929年，哈伯**(Edvin Hubb1e)**在加州威爾遜山的觀測，證實了宇宙不是靜止的，而且是擴張的**!**他觀測了**18**個星系的光譜譜線偏移量與星系距離後，發現<u>譜線都往光譜的紅端偏移</u>，而且<u>偏移的量與距離成正比</u>。這就是我們所知的哈伯定律。根據都卜勒效應，以速度**v**遠離我們的星系，其速度與波長偏移的關係如下：$\frac{v}{C} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$，因而$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \times C$，這說明了波長偏移量與速度成正比。而哈伯定律為$v = H_o \times d$其中**v**為星系遠離速度，**d**為距離，$H_o$為哈伯常數，哈伯常數右下角的符號表示其為現今的值，這是因為宇宙的擴張速度是隨時間而改變的。

哈伯的發現，對宇宙學的發展有十分重要的意義**:**

1.證實了傳統牛頓力學中所認知的靜止的宇宙是錯誤的。

2.哈伯定律符合宇宙論基本原則均質、均向的要求。

3.哈伯定律提供了宇宙年齡計算的一個途徑。

※紅位移

例44. 天體中之星球，若向著地球運動，我們在其光譜中發現 (A)光波波長變短 (B)光波波長變長 (C)光波頻率變小 (D)光波頻率不變。答：(A)

類 1.觀測極遠的星球光譜，發現其波長有增長之現象，其主要原因為 (A)光線經遠距離傳播之必然現象 (B)光線經大氣折射 (C)光線經大氣散射 (D)此星球正接近地球 (E)此星球正遠離地球。答：(E)

類 2.根據都卜勒定律，我們觀測到的天體運動可以顯現光譜的藍移或紅移現象。由觀測知道遙遠的星系光譜都呈現紅移，則這些星系是如何運動的？ (A)靜止不動 (B)向我們接近 (C)離我們遠去 (D)無常規可尋。答：(C)【87 推甄】

類 3.觀測極遠的星球光譜，發現其有波長增長的現象，其主要原因為 (A)星球離地球太遠 (B)發出的光線經大氣折射的關係 (C)此星球正在接近地球 (D)此星球正在遠離地球 (E)資料不足，無法確定。答：(D)

類 4.一位爸爸的小孩剛滿一歲，但卻好奇小孩的髮色怎跟他不一樣？於是跑去問醫生...

『醫生，我和我太太都是黑髮，爲什麼生下的小孩會是褐色頭髮呢？』

『你們每天都作愛嗎？』

『不。』

『每週作愛？』

『也不。』

『每月作愛嗎？』

『不是。』

『半年一次？』

『也不是。』

『一年只有一次？』

『差不多。』

『那就對了，你的寶貝生銹了，所以小孩的頭髮才會是褐色的。』

※觀察者移動

【觀念&公式】

1.觀察者移動改變相對速度

2. $v' = f' \times \lambda' \Rightarrow v \pm v_o = f' \times \frac{v}{f} \Rightarrow f' = \frac{v \pm v_o}{v} f$

例45. 一停靠在路旁的 A 車正鳴著喇叭，B 車以固定速度從 A 車近旁駛過，B 車上一旅客測得 A 車喇叭頻率在接近它時為 700 赫，離開它時為 660 赫。若在靜止空氣中之聲速度為 340 公尺/秒，則 A 車喇叭發出之真正頻率為_____赫，B 車之速率為_____公尺/秒。【78 大學】答：680；10

類 1.一輛汽車於時間 t=0 秒從靜止狀態起動，以等加速度沿直線駛向一靜止的聲源。若空氣中聲速爲 330 公尺/秒，靜止聲源發出 440 赫的聲波，而汽車上的乘客在 t=3 秒時，聽到聲波的頻率爲 480 赫，則汽車的加速度約爲 (A)8 (B)9 (C)10 (D)11 (E)12 m/s^2。【87 日大】答：(C)

類 2.一靜止停在路邊的汽車因小偷光顧，正發出頻率 1980 赫的警報聲，車主聽到之後以 30 m/s 的速率，沿直線全速趕來，若當時聲速爲 330 m/s，則車主所聽到的警報聲頻率爲多少赫？(A) 1800 赫 (B) 1815 赫 (C) 2160 赫 (D) 2178 赫 (E) 2010 赫。答：(C)

類 3.天堂門口小葉、銘銘、阿鵬三人在此相遇。

一位天使問他們說：你們三位是怎樣死的？

小葉就說：

我那天起床太晚，衣服也沒穿好，就急急忙忙下樓準備招輛計程車要上班...可是他媽的！有夠倒楣！天上竟掉下一個電冰箱！我就這樣死了.....

銘銘說：

偶那天加班，但提早想給我老婆一個驚喜，沒想到在門外竟聽到男人的聲音！於是我偶就很生氣的衝進去。但屋裡只有偶老婆一人，偶往窗外一看，發現樓下一個衣服不整的人想搭車逃逸！偶一發火，就把冰箱丟下樓把他砸死，而偶就被槍斃了.....。

阿鵬嘆著氣說：

唉～！我才冤哩！我正在和我新泡上的妹妹玩火車過山洞，好死不死，他老公回來了！一時情急下，我就躲在電冰箱裡。沒想到，轟的一聲！我就在這了.....。

※波源移動

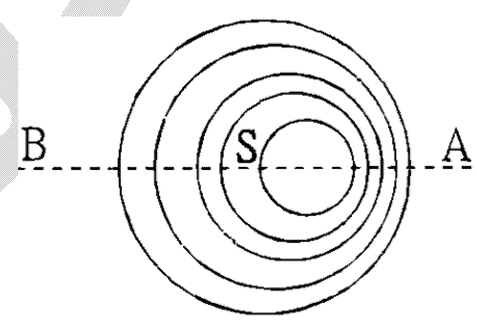
【觀念&公式】

1.波源移動改變波長

2. $\lambda' = \frac{v \mp v_s}{f} = \frac{v \mp v_s}{v}\lambda$

例46. 在水波槽中水波傳播速率為 32cm/s，有一點波源以 20 次/秒振動。今若振源以 8cm/s 之速度運動，試求：(1)在振源正前方波長若干？ (2)在振源正後方波長若干？答：(1)1.2cm；(2)2cm

類 1.如右圖所示之水波槽，波源 S 之振動頻率為 f，水波的速率為 v，今若振源 S 以 v_S 之速度向 A 點運動，則 (A)在 SA 之間之水波長為 $\frac{v-v_S}{f}$ (B)在 SB 之間的水波波長為 $\frac{v+v_S}{f}$ (C)站在 A 點之觀察者，見水波頻率為 $\frac{v}{v-v_S}\cdot f$ (D)站在 B 點觀察者，見水波頻率為 $\frac{v}{v+v_S}\cdot f$ (E)在 A 點的觀察者，見水波的速率為 v。答：(A)(B)(C)(D)(E)



類 2.以每秒相同滴數，滴水入水波槽，以產生圓形波，其波長為 1.2 厘米，如波源自水波槽中央等速向東移動，而在東邊量得水波波長 0.8cm，求：(1)波速與波源移動速率的比？ (2)在西邊量得水波之波長？答：(1)3：1；(2)1.6cm

類 3.一馬達船等速自南岸駛向北岸，若船速為波速的 1/9，則在北岸測得水波長為 4(m)時，在南岸測得之水波長為_____m。答：5

類 4.在水波槽中水波速率為 32cm/sec，有一點波源以每秒 20 次振動，今若振源以 8cm/sec 的速度運動，則

(a)在振源正前方波長若干？答：1.2cm

(b)在振源後方波長若干？答：2cm

(c)吾人在波源正前方所見視頻若干？答：$\frac{80}{3}$Hz

(d)吾人站在波源正後方所見視頻若干？答：16Hz

(e)若吾人在振源前方以 4cm/sec 向振源運動，此時視頻若干？答：30Hz

(f)若吾人在振源後方以 4cm/sec 的速率向振源連動，所見視頻若干？答：18Hz

※波源移動

【觀念&公式】

$$v' = f' \times \lambda' \Rightarrow v = f' \times \frac{v \mp v_s}{f} \Rightarrow f' = \frac{v}{v \mp v_s} f$$

例47. 一頻率為 4000 赫的聲源，在一周長為 20 公尺的水平圓形軌道上，以每秒繞一圈的等速率旋轉。假設聲速為 340 公尺/秒，則位於同一水平面上遠處的靜止觀察者，聽到的最高頻率約為 (A)4500 赫 (B)4250 赫 (C)3778 赫 (D)3765 赫 (E)3555 赫。【81 年大學】答：(B)

類 1.聲波速率為 330 m/s，聲源以速度 v 向右移動，位於聲源右方及左方之靜止觀察者所測得聲波頻率比為 6：5，則 v 之值為多少 m/s？ (A)20 (B)25 (C)30 (D)35 (E)40。答：(C)

類 2.一列等速行駛中的火車速度為 v，當時聲波的傳播速率 V，則在火車通過前後，路邊站立者所聽到火車汽笛聲之頻率比與聲調變化為 (A)(V+v)：(V-v)，高→低 (B)(V-v)：(V+v)，低→高 (C)V：(V － v)，高→低 (D)v：(V+v)，低→高。答：(A)

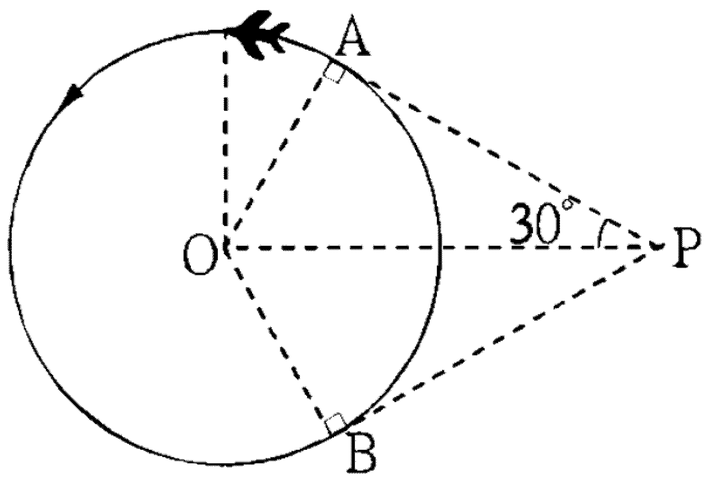
類 3.甲、乙兩車所發出的喇叭頻率各為 1000 赫，空氣中的聲速為 332 公尺/秒。若甲車靜止，乙車以 20 公尺/秒速率向甲車駛去。

(1)如乙車按喇叭則甲車聽到乙車喇叭的頻率為何？答：1064Hz

(2)若甲車按喇叭則乙車聽到甲車喇叭的頻率為何？答：1060Hz

類 4.聲源發出固定頻率，若聲源由靜止以 2 m/s^2 之等加速度向靜止的聽者接近，則經過若干秒，將使聽者聽到的頻率變成原頻率的 2 倍？(聲速為 336 m/s) (A)42 (B)63 (C)84 (D)105 (E)136。答：(C)

類 5.模型飛機在水平面上繞 O 點作等速率圓周運動(如右圖)，在與軌道同平面之 P 點置一聲音接收器，此接收器所收到由模型飛機引擎所發出聲音之頻率最高為 630Hz，最低為 594Hz，且最高聲頻至最低聲頻之時間 1 間隔為 3 秒，飛機和 P 點連線與 OP 之最大夾角為30°。若聲速為 340m/s，則下列何者正確？ (A)接收器所測得最低頻至最高頻之時間間隔亦為 3 秒 (B)飛機的速率為 $10\,m/s$ (C)圓周半徑為 $\frac{45}{\pi}$ 公尺 (D)飛機引擎聲音的頻率為 600Hz (E)OP 距離為 $\frac{90}{\pi}$ 公尺。答：(B)(C)(E)



※觀察者&波源皆移動

例48. 有甲、乙二車在高速公路上同向競駛，乙車速率為 25 公尺/秒，甲車為 30 公尺/秒。最初甲車在乙車後面追趕並按喇叭，以 1000 赫頻率發出(假設空氣聲速 344 公尺/秒)。試問：

(1)當甲車未趕上乙車時，乙車所聽到的喇叭頻率為何？答：1016Hz

(2)當甲車趕過乙車時，乙車所聽到的喇叭頻率為何？答：987Hz

類 1.甲、乙兩車所發出的喇叭頻率均為 1000 赫，聲速為 340m/s，若甲靜止，乙以 30m/s 速率向甲駛去，求：(1)甲聽到乙車喇叭頻率為何？ (2)乙聽到甲車喇叭頻率為何？ (3)如甲、乙均為 20m/s 速率相向而行，則甲、乙兩車各聽到對方喇叭的頻率為何？答：(1)1097Hz；(2)1088Hz；(3)1125Hz

類 2.長鳴汽笛之火車以定速率向鐵軌旁之觀察者接近時，觀察者所聽到汽笛聲波頻率為 3060 次/秒，又以定速率運動之汽車上觀察者，當汽車向火車接近時，所聽汽笛聲波頻率為 3132 次/秒，而遠離火車且與火車反向運動時所聽汽笛聲波頻率為 2656 次/秒。設大氣中聲速為 340 米/秒，試求汽笛聲頻率及火車與汽車之速率。答：2880Hz；20m/s；8m/s

類 3.靜止的時候，甲車喇叭發出的頻率為 2f，乙車喇叭發出的頻率為 f。現在讓甲乙兩車以 v 的速率相向運動；令聲速為 V。如果甲車所聽到乙車喇叭的頻率，與甲車自己喇叭的頻率相同，則乙車所聽到甲車喇叭的頻率為 f 的_____倍。【82 年大學】答：4

類 4.起初靜止的聽者測得的靜止聲源頻率為 f，後來測得的聲音頻率為 3f，當時的聲速為 v，則下列那些為可能情形？ (A)聲源以 2v/3 接近聽者 (B)聲源以 v/3 離開聽者 (C)聽者以 2v 接近聲源 (D)聲源與聽者各以 v/2 互相接近 (E)聽者以 v 離開聲源。答：(A)(C)(D)

類 5.聲源速度為聲速的 $\frac{1}{10}$，觀察者速度為聲速的 $\frac{1}{20}$，聲源與觀察者同方向運動。當聲源在正前方時，觀察者所測之頻率為聲源在正後方時的_____倍。答：$\frac{189}{209}$

類 6.一救火車以 10m/s 的速度向一站在路旁的靜止觀察者接近，該觀察者聽到的警笛聲頻率為 1000Hz，若觀察者以 5m/s 的速度跑向救火車，則所聽到的警笛聲頻率約為多少？（已知聲速為 350m/s） (A)1014Hz (B)1025Hz (C)1120Hz (D)1080Hz。答：(A)

※反射面不動

【觀念&公式】

1.第一次以反射面為觀察者

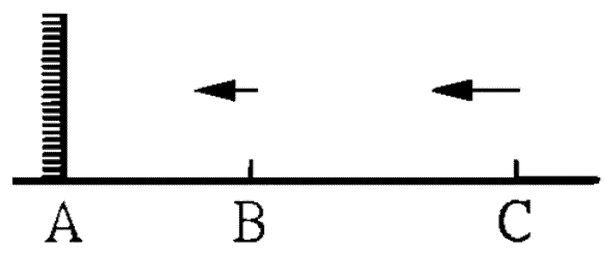
2.第二次以反射面為波源

例49.蝙蝠在洞穴中飛翔，用超聲波脈波(發射持續時間短至千分之一秒以上，每秒鐘重複發射多次)非常有效地引導航向。假設蝙蝠的聲音發射頻率是 39000 週/秒，當一次快速正對平坦牆面衝去時，若蝙蝠的速率是空氣中聲速的 1/40，求它所聽到由牆壁反射聲波的頻率？答：41000Hz

類 1.一火車速率為空氣中聲速的$\frac{1}{10}$，在進入山洞以前鳴笛。笛聲頻率為 900 赫，而靜立於火車後之鐵道旁的人聽到兩次聲音，則第二聲頻率為 (A)810 赫 (B)900 赫 (C)990 赫 (D)1000 赫。【81 夜大】答：(D)

類 2.一火車以 20 m/s 的速度朝向一平滑山壁的隧道口行駛，並鳴放汽笛。已知在火車靜止時的汽笛聲頻率為 1500Hz，則火車上的旅客可能聽到的汽笛聲頻率為何？答：1686（Hz）

類 3.右圖所示，有一聲源以 30m/s 的速度向左方運動，經過 C 時發出頻率 300Hz 的聲音，A 處為一反射壁，一人位於 B 處以 10m/s 的速度亦向左運動，則此人聽到前後二次聲音之頻率比為(聲速=340m/s) (A)33：33 (B)35：33 (C)1：1 (D)33×34：31×35 (E)35：34。答：(A)



類 4.某聲波，頻率為 1600Hz，在空氣中以 340m/s 傳播，若聲源以 20m/s 向聽者接近，則：(1)聽者所聽到的頻率為何？ (2)若聲源以 20m/s 向一直立的光滑大平面接近，則隨聲源運動者聽到的反射波頻率為若干？答：(1)1700Hz；(2)1800Hz

類 5.觀察者攜帶一聲波波源，以 20 公尺/秒的速率接近一靜止之光滑反射面，若此波源發出之聲波頻率為 1600 赫，當時之聲速為 340 公尺/秒，則在觀察者測得自反射面所反射之聲波，其頻率為_____赫。答：1800

※反射面移動

【觀念&公式】

1.第一次以反射面為觀察者

2.第二次以反射面為波源

例50.反射器以 15 公尺/秒的速度接近一個靜止聲源，聲源發出頻率為 550 赫的聲波。設空氣中的聲速為 345 公尺/秒，則在聲源處聽到的反射波頻率為_____赫。【84 大學】答：600

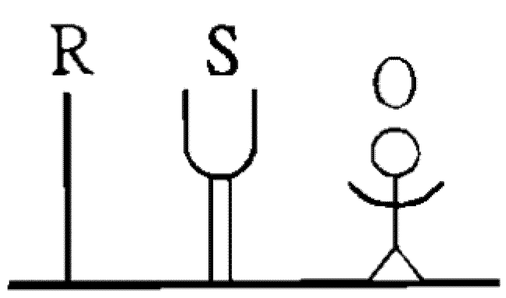
例51.有一蝙蝠和一小虫，各以相對於空氣 8m/s 及 3m/s 之速率相向而飛，此蝙蝠可發出一探測音波 50KHz，則蝙蝠接收到經由昆蟲反射回來之探測波的頻率為多少？(聲速 325m/s)【84 台北區物理競試】答：53.5KHz

類 1.一靜止聲源，發出頻率為 550 赫的聲波，有一汽車以 v 的速度靠近此聲源，若空氣中的聲速為 336 公尺/秒，且在聲源處聽到的反射波頻率為 605 赫，則汽車速度為米/秒。【85 台北聯合】答：16

類 2.一靜止的聲源，發出固定頻率的聲波，有一光滑反射面朝聲源等速接近，若在聲源處靜止的觀察者聽到反射波的頻率為原固定頻率的 n 倍，則反射面的速度是聲速的多少倍？

(A)$\frac{n-1}{n+1}$ (B)$\frac{1}{n-1}$ (C)$\frac{1}{n+1}$ (D)$\frac{n+1}{n-1}$。答：(A)

類 3.如右圖頻率為 1000 赫之 S 聲源右方有一觀察者 O，而聲源 S 之左方有一反射面 R。設聲速為 330m/s。下列各題中，求觀察者所聽反射聲波之頻率。



(1)R 與 O 均呈靜止，而 S 以 30m/s 之速率向右方移動？答：917Hz

(2)S 與 O 均呈靜止，而 R 以 30m/s 之速率向右方移動？答：1200Hz

(3)S 呈靜止，而 R 與 O 各以 30m/s 與 10m/s 之速率均向右方移動？答：1164Hz

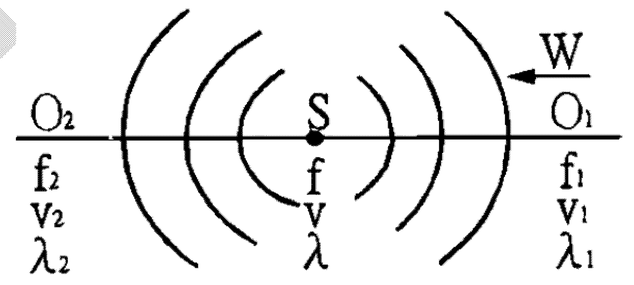
※風

例52. 火車以 100 公尺/秒向東等速行駛並鳴笛，笛的頻率 10^4 赫，聲速 340 公尺/秒，小胖以 10 公尺/秒之速度追逐火車，此時若有風從東邊吹來，風速 20 公尺/秒，則小胖聽到笛聲頻率應為多少赫？ (A)7608 (B)7674 (C)8043 (D)13642 (E)14230。答：(C)

類 1.一靜止聲源發出之聲波頻率為 2000 赫，波速為 330 公尺/秒。若有速率為 10 公尺/秒的風從聲源西邊吹向東邊，且聽者位於聲源西邊，則靜止聽者所聽到的頻率為 (A)1943 赫 (B)2000 赫 (C)2057 赫 (D)2080 赫。【78 年三專】答：(B)

類 2.一靜止聲源發出 10000Hz 的聲波，波速為 344m/sec。如有速率為 20m/sec 的風從聲源東邊吹向西邊，(1)如聽者位於聲源東邊，(2)如聽者位於聲源西邊，試求靜止聽者所聽到的頻率？答：(1)10000Hz；(2)10000Hz

類 3.如右圖，一靜止聲源 S 發出頻率 f、波長 λ、波速 v 的聲波。靜止聽者各在聲源的東、西方，如有速度 W 的風從聲源的東邊吹向西邊，O_1、O_2 測到的聲波頻率、波長、波速各為 f_1、λ_1、v_1 與 f_2、λ_2、v_2，則 (A) $f_1 > f > f_2$ (B) $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$ (C) $v_1 = v = v_2$ (D) $\lambda_1 + \lambda_2 = 2\lambda$ (E) $f_1 = f = f_2$。答：(B)(D)(E)



類 4.設無風時的聲速為 340m/s，今吹東風，風速為 20m/s，一發聲頻率為 330Hz 的聲源，以 10m/s 的速度等速向西移動。一觀察者在聲源的正東方，以 5m/s 的速度等速度向東移動，則此觀察者所測聲波的頻率為若干 Hz？ (A)310 (B)315 (C)320 (D)325 (E)340。答：(B)

類 5.聲源在觀察者之正西方，兩者各以 v_S 及 v_0 向正東移動（$v_S < v_0$），設有風自西方吹向東方，風速為 v_M，若聲速為 v，則觀察者聽得頻率為實際頻率之幾倍？

(A) $\frac{v+v_0-v_M}{v-v_S+v_M}$ (B) $\frac{v-v_0+v_M}{v+v_S+v_M}$ (C) $\frac{v-v_0+v_M}{v-v_S+v_M}$ (D) $\frac{v+v_0+v_M}{v-v_S+v_M}$ (E) $\frac{v+v_0-v_M}{v+v_S+v_M}$ 。答：(C)

類 6.有甲、乙二列車相向行駛，甲車速度為 15m/s，乙車速度為 20m/s，若甲車發出頻率 650Hz 的汽笛聲，而聲速為 340m/s，求：

(1) 無風時，乙車上聽到汽笛聲音的頻率＝_____Hz。(2) 波長＝_____m。

(3) 若風速為 10m/s，由甲車吹向乙車，則會車以後，乙車上聽到汽笛聲音的頻率＝_____Hz。答：(1)720；(2)0.5；(3)584.1

※相對速度與兩者之連線不平行

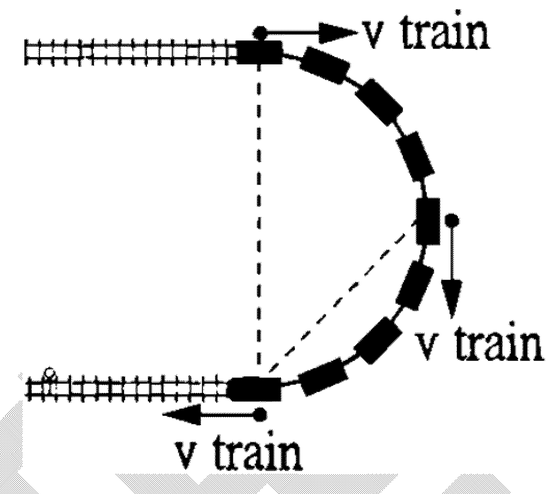
例53. 右圖所示有一 U 型鐵道，彎形部份恰為半圓，一列火車走到圖中位置，火車頭與最後一節車廂剛好分別在半圓彎道的兩端。火車車速為 $20\,m/s$，火車司機看鐵路前方站著一個人，於是鳴笛示警，笛音頻率為 200Hz，已知聲速為 $340\,m/s$。下列各人聽到笛音的頻率是多少？

(1)鐵道上的人？答：213Hz

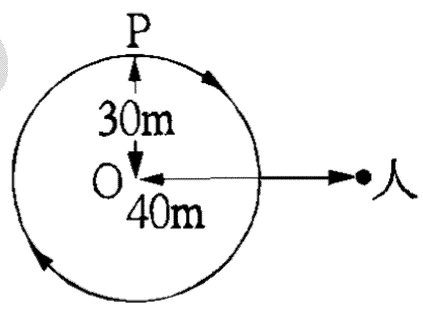
(2)火車司機(就在笛的旁邊)？答：200Hz

(3)最後一節車廂的車掌？答：200Hz

(4)整列火車最中央的人？答：200Hz



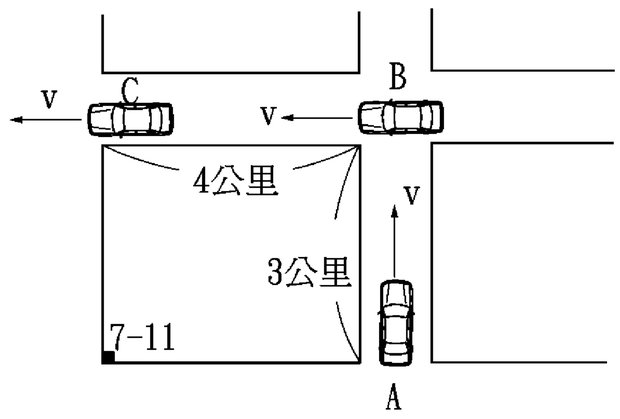
類 1.有一模型飛機以 $25\,m/s$ 之速率在水平面上作半徑為 30m 之等速率圓周運動，引擎轉動發出 640Hz 的頻率的聲音，有一人離此圓心 40m 且與飛機同平面，當飛機在 P 位置時，此人所聽到引擎聲音的頻率為 Hz(設聲速為 $340\,m/s$)。答：680



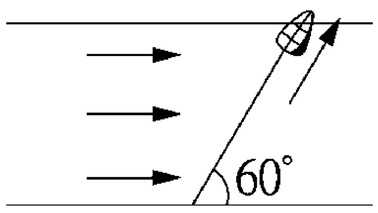
類 2.設聲源在 xy 面上之原點，發聲頻率 300 赫，一人在 x＝100m、y＝0 處以 v＝$10\,m/s$ 與 x 軸夾 60° 方向運動時，聽到之頻率為何？(設聲速 $300\,m/s$)

(A)290 赫 (B)295 赫 (C)300 赫 (D)310 赫 (E)320 赫。答：(B)

類 3.一部警車追逐歹徒由路口 A 開始鳴起頻率 1000Hz 的警笛，並以 30m/s 的速率分別通過路口 B 和路口 C，如右圖所示，若聲速為 344m/s，忽略建築物的障礙，則對在 7-11 門口的觀察者而言，下列何者正確？ (A)在路口 A 聽到頻率為 1000Hz B)在路口 B 聽到頻率為 1075Hz (C)在路口 C 聽到頻率為 1045Hz (D)在路口 A 沒有都卜勒效應 (E)在路口 C 要考慮都卜勒效應。答：(A)(B)(D)

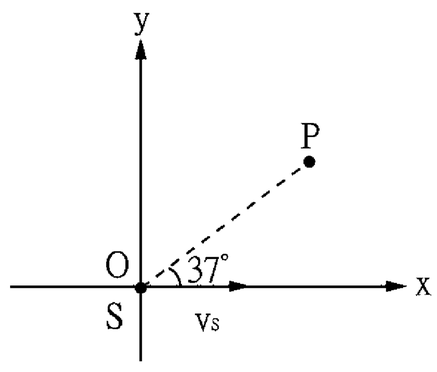


類 4.直線形水波波速 $10\,m/s$(向東)，小船速度 $10\,m/s$(向東偏北 60°)。若水波波動到船弦側之週期為 10 秒，則水波之週期為＿＿＿＿秒。答：5



類 5.如附圖，有一聲源 S 自 O 點沿＋x 軸方向以速度 v_S 移動，若聲速為 v，波長為 λ，則在 P 點靜止的觀察者測得之波長為＿＿＿＿ λ。答：

$$1-\frac{4v_S}{5v}$$

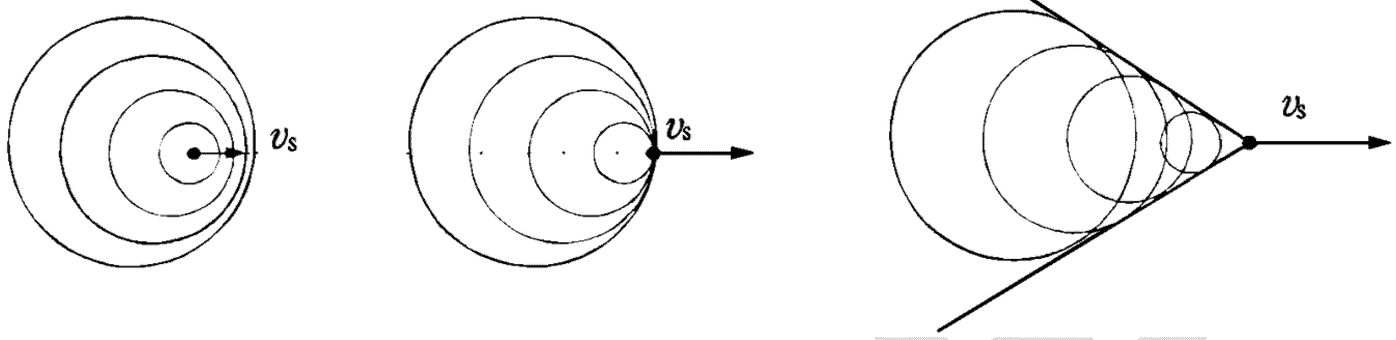


14-5 音爆

1.馬赫：聲源速度(v_S)與聲速(v)的比值。

$$\text{馬赫數}=\frac{\text{聲源速度}v_S}{\text{聲速}v}$$

2.聲源以 **1** 馬赫前進時，因為聲源速度與聲速相同，後發生的波前追及前面發出的波前，堆疊在聲源的前進方向上。

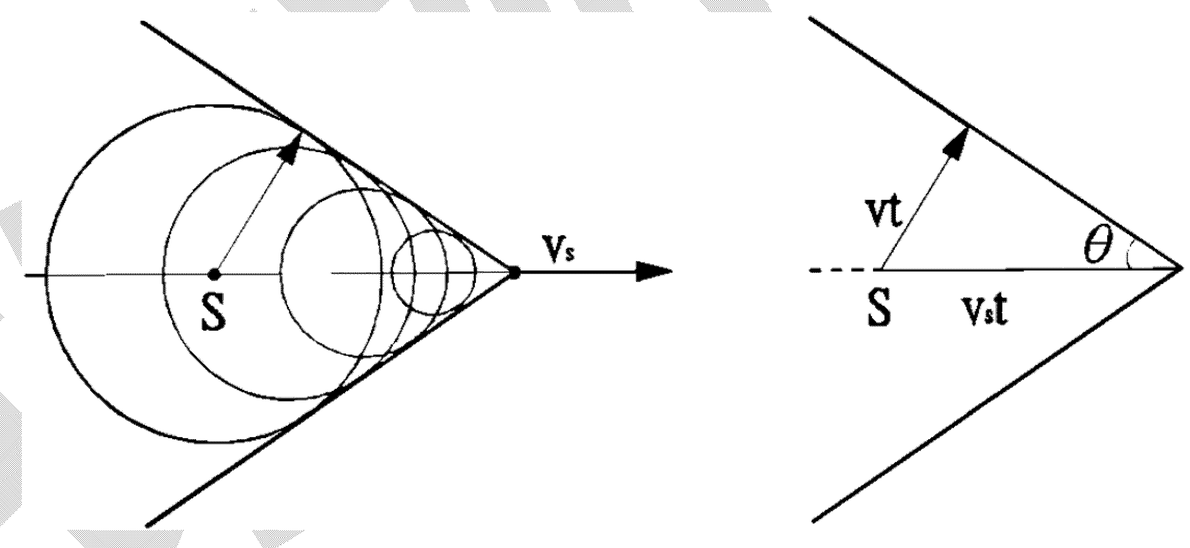


3.超音速**(supersonic speed)**：聲源速度大於聲速，後發生的波前超越前面發出的波前，各波堆疊形成圓錐面的波前。

(1)震波(衝擊波)**(shock wave)**：超音速的聲源使空氣擠壓在圓錐面的前沿，使該處壓力陡升後陡降，此處空氣壓力的急速變化稱為衝擊波。

(2)音爆**(sonic boom)**：超音速聲源所形成的衝擊波傳至地面的觀察者時，會聽到爆裂般的巨響。

(3)馬赫角θ：衝擊波的圓錐面和其中心軸的夾角。



如圖，$\sin\theta=\dfrac{v\cdot t}{v_S\cdot t}=\dfrac{v(\text{球面波波速})}{v_S(\text{波源速率})}$

※震波

例54. 當聲源在空氣中的速度超過聲速時，會產生一圓錐形的＿＿＿＿波或＿＿＿＿波。此種波觸及地面時，會產生爆裂般的巨響，稱為＿＿＿＿。答：衝擊，震，音爆

類 1.下列有關聲波的敘述，何者正確？ (A)一般聲波的傳遞必須要有介質，超音波則不需介質 (B)頻率相同的音叉才可產生共振 (C)在空氣中傳音，當聲源的速度小於聲速時，有可能發生都卜勒效應 (D)在空氣中傳音，當聲源的速度大於聲速時，會產生音爆 (E)兩端開口的玻璃管無法產生駐波。答：(B)(C)(D)

※馬赫角

例55. 有一飛機以$\frac{5}{3}$馬赫數的速率，在水平面上方沿一直線飛行，恰從地面上一位觀察者的頭頂上方飛過，當飛機由該觀察者的頭頂飛過一分鐘，觀察者才聽到音爆聲，則此飛機飛行的高度為多少 m？（設當時在空氣中的聲速為 330m/s） (A)24750 (B)25750 (C) 27450 (D)23750 (E)27000。答：(A)

類 1.一架噴射飛機於 5000 公尺的高度，以 1.5 馬赫的速度水平飛行，當時聲速為 331 公尺/秒，試求：(1)馬赫角？(2)飛機自地面觀測者的正上方飛過後多久，觀測者才能聽到聲音？答：(1) 42° ；(2)11.2 秒

類 2.一架超音速飛機從觀察者的正上方掠過，當聽到音爆時，飛機的高度為 1.5 公里，離觀察者的水平距離為 2.0 公里，當時聲速為 330 公尺/秒，試求：(1)馬赫角 (2)飛機的飛行速度為多少馬赫？答：(1)37° ；(2)$\frac{5}{3}$

類 3.一協和客機在離地 5000 公尺的高空，以 2 馬赫直線水平飛行，當它飛越地面上觀察者正上方後，經過_____秒會聽到巨響。（已知聲速 350m/s）答：$\frac{50\sqrt{3}}{7}$

類 4.一協和客機在離地 5000 m 高的空中，以 2.0 馬赫的超音速在水平面上沿一直線飛行，試求：(1)馬赫角為何？(2)若飛機恰好從地面上一位觀察者的頭頂正上方飛越，則飛機從頭頂飛過後多久時間，該觀察者會聽到音爆的響聲？（設當時的聲速為 331m/s）答：(1) 30° ；(2) 13 秒

類 5.馬赫角為 37° 的戰鬥機，其飛行速度為_____馬赫。若聲速為 342 m/s，則其速度為_____m/s。答：$\frac{5}{3}$，570

類 6.一般快艇於湖面上快速行駛時，艇尾水波(水花)張開角為 60° ，若水波速度為 10 米/秒，快艇速度為 (A)10 (B)15 (C)20 (D)30 (E)40 米/秒。答：(C)

類 7.一快艇於湖面上快速行駛時，艇尾水波之張角為 θ，若快艇速率為 v，則水波速率應為_____。答：$v\sin\frac{\theta}{2}$