

第十三章：波動

§13-1 波動的產生與傳播

- 一、波動的特性：波動是傳遞能量、擾動的現象，介質不隨波前進
- 二、力學波：波前進時需由介質傳播稱之。例：水波、聲波
非力學波：不需介質傳播的波稱之。例：電磁波
- 三、橫波：波行進方向與介質運動方向
縱波：波行進方向與介質運動方向

例題：

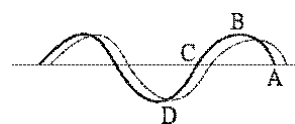
1. 下列有關波動現象中，哪些正確的？ (A)傳遞介質的質量 (B)傳遞能量 (C)有干涉現象 (D)密度大的介質中傳遞的速度亦大 (E)在介質界面可能產生部分反射與部分折射

BCE

2. 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，同一介質中波動為等速運動 (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

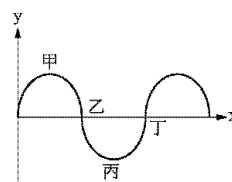
ACDE

3. 有一正弦波在一彈性繩上進行時，其介質質點的振動情形為：
(A)變加速度運動 (B)波峰處振動速率最大 (C)波谷處振動速率最大 (D)平衡點處的振動速率最大 (E)振動方向與波前進的方向平行



AD

4. 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



E

§13-2 週期波

一、一連續週期波的名詞注釋：

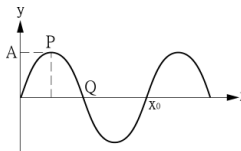
振幅	波峰與波谷
頻率	週期
波長	
波速	

例題：

1. 一頻率 40Hz 、振幅 12cm 、波速為 20m/s 的繩波其波長為何？

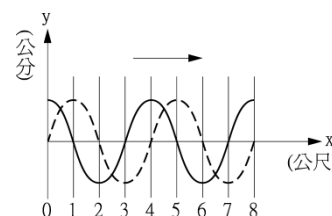
2.在台灣，收音機的調頻波段的範圍為 88MHz 至 108MHz，若電磁波的速率為 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，則對應的波長範圍為_____m。 3.4~2.7

3.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 $x_0/4$ (B)此連續週期波的振幅為 A (C)頻率增倍，則 P、Q 兩點的水平距離變為 $x_0/2$ (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



AB

4.圖中實線為一向右行進之橫波在 $t=0$ 之波形，而虛線為此橫波在 $t=0.5 \text{ sec}$ 時之波形，若此波之週期為 T 且 $0.3 \text{ sec} < T < 0.5 \text{ sec}$ 則此波之波速為(A)34 (B)26 (C)18 (D)10 (E)2 m/s (81)



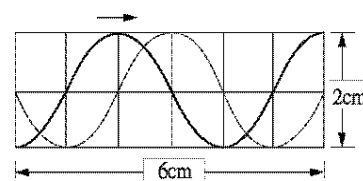
5.波列很長的四個橫波，都沿正 x 軸方向傳播，若 x 軸上 O 與 P 兩點間距離為 L，在時間 $t=t_0$ 看到此四個波的部分波形分別如圖的甲、乙、丙及丁所示，其波速分別為 $4v$ 、 $3v$ 、 $2v$ 及 v 。則下列敘述中哪些正確？(A)頻率大小依序為丁>丙>乙>甲 (B)甲與丁的週期相同，乙與丙的頻率相同 (C)甲的波長是乙的兩倍，乙的波長則是丁的兩倍 (D)在時間 $t=t_0$ 後，O 點最早出現下一個波峰的是乙 (E)在時間 $t=t_0$ 後，O 點最早出現下一個波谷的是丙 (96) BCDE

類題:

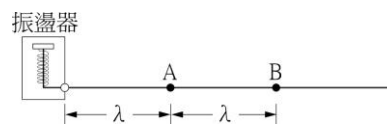
1.一個半徑 25cm 的臉盆盛水半滿，在圓心的正上方有一滴水的水龍頭，已知所產生的圓形波到達臉盆邊緣歷時 0.5S，相鄰兩圓形波的距離為 5cm，則水龍頭滴水的頻率為？(A)5 (B)10 (C)15 (D)20 滴/S B

2.地震時沿地殼傳出地震波，有橫波及縱波，橫波(S 波)波速約為 4200 m/s，縱波(P 波)波速約為 7800 m/s，地震監測站記錄縱波與橫波到達的時間差為 6 秒，則震央與地震監測站的距離為?Km。 54.6

3. 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， $1/35$ 秒 $< T < 1/25$ 秒，波速為 _____ cm / sec 。 130



4. 如圖，振盪器連接一條彈性繩產生連續週期波，振動頻率為 f 時，A、B 兩點相距一個波長 λ 的距離，今調整振盪器頻率為 $2f$ ，得新的波長 λ' ，則 A、B 之間的距離為多少 λ' ？(A)1 (B)2 (C)1/2 (D)4 B



§13-3 繩波的反射與透射

一、弦波之波速：

1. 假想一半圓形波

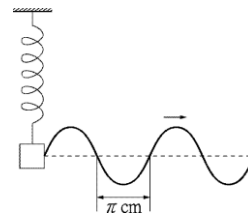
$$2. v = \lambda f = \sqrt{F / \mu}$$

3. 質點振動之速度：

例題：

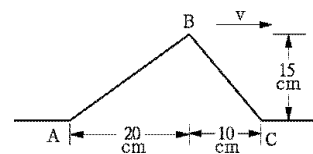
- A、B 兩線等長，由 A 起一脈動傳至 B 末端之時間比為 2:1，則波速比為？線密度比為？
- 相連的 A、B 兩線長均為 18cm，由 A 外端以 3 次/s 振動經 5sec 傳至 B 末端，已知波速比為 3:2，求波速、波長各為何？又頻率比為？
- 一力常數 k 之彈簧原長 l ，當長為 $2l$ 及 $3l$ 時波傳遞之速度比為？

4. 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

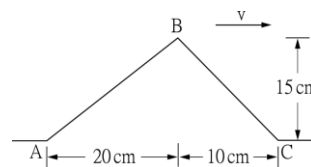


類題:

1. 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) $1:2\sqrt{2}$



2. 如圖中，一彈性弦上有一向右行進的三角波，弦上張力 204.8 N ，弦密度 0.2 kg/m ，則波的傳播速率為 $? \text{ m/s}$ ，在 AB 弦內一質點的振動速率為 $? \text{ m/s}$ 。



3. 一遵守虎克定律之均勻彈性繩，其長度為 L ，將此彈性繩均勻拉至 $1.2L$ 之長度，並將其兩端固定，測得繩上橫波之波速為 v ；今將此彈性繩再均勻拉至 $1.6L$ ，並將其兩端固定，則繩上橫波之波速應為何？(88)

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

二、波的反射與透射：

1. 波遇固定端：

2.波遇自由端：

3.粗細不同繩連接：(波由線密度 μ_1 至 μ_2)

a.輕 \rightarrow 極重 ($\mu_1 \ll \mu_2$)：

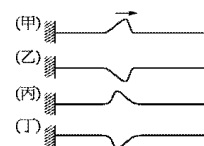
b.輕 \rightarrow 極重 ($\mu_1 < \mu_2$)：

c.重 \rightarrow 輕 ($\mu_1 > \mu_2$)：

d. 重 \rightarrow 極輕 ($\mu_1 \gg \mu_2$)：

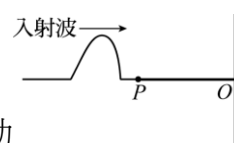
例題：

1.一弦左端固定，右端可自由滑動，在 $t=0$ 時一波向右行進如甲，則 $t>0$ 後由於波在兩端點的反射，則其先後順序為何？
(80)



2.一原向上之脈動行進後第一個反射脈動有向下之位移，第二個反射脈動有向上之位移，則 $\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3$ 之關係可為？


3.在繩上振動波之反射與透射問題上，下列何者正確？(A)若繩一端繫於牆上，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繩，則在交接處甲繩上之反射之波與入射波振動方向相反 (D)若甲繩之一端連接另一線密度較小之繩，則在交接處甲繩上之反射之波與入射波振動方向相同 (E)不論相接的兩種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)



4.一線密度較小的輕繩上，有一向右傳遞、向上振動之入射脈波(如

圖所示)。在輕繩與線密度較大之重繩之交接點 (P 點)，脈波產生第一次反射與透射。第一次透射波傳至牆壁上 O 點反射而回，至 P 點時再產生第二次反射與透射。則下列有關脈波在 P 點時之透射波與反射波之敘述，何者正確？(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) ACD

類題:

- 1.線密度不同的輕、重兩繩，一端縛結在一起，今由輕繩的另一端產生一個脈動，此脈動移動至縛結處，發生了反射與透射，則下列敘述何者正確？(A)反射脈動波形上下不顛倒 (B)透射脈動波形上下顛倒 (C)反射脈動的波幅小於入射脈動的波幅 (D)透射脈動的波幅小於入射脈動的波幅 (E)當兩繩線密度相等時，脈動全部透射而無反射 CDE
- 2.當波由重繩傳至輕繩時，反射波與透射波的敘述，何者正確？ (A)反射波與入射波比較是波形上下顛倒振幅變小 (B)反射波與入射波比較是波形上下不顛倒振幅變大 (C)透射波與入射波比較是波形上下顛倒振幅變小 (D)透射波與入射波比較是波形上下不顛倒振幅變大 (E)透射波與入射波比較是波形上下不顛倒振幅變小 D
- 3.A、B 兩弦線長均 1m，質量分別為 2g 及 8g；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 $\lambda_{反} / \lambda_{透}$ ？

§13-4 波的重疊原理

一、重疊原理：兩波在介質上相遇傳播時，介質上質點位移為各波位移之向量和

1.相長干涉(建設性干涉)：合成波振幅大於原來者

相消干涉(破壞性干涉)：合成波振幅小於原來者

2.同相：兩波之波峰同時抵達同一位置(兩波同相干涉有最大波幅)

反相：兩波之波峰波谷同時抵達同一位置(兩波同相干涉有最大波幅)

3.相位：波在介質中傳播時，介質上某一質點在完整波中所佔的地位稱為該質點在波中之相位

例題：

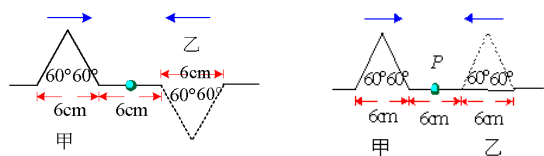
- 1.兩波相遇，而互相重疊時 (A)合成波振幅可能會較原來的波為小 (B)其質點振動速度必為零 (C)當兩波交會後，其振幅必變小 (D)當兩波交會後其波速不變 (E)當兩波交會後，其波形不變 ADE

2. 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。

0

3. 兩個正三角波相向傳遞，圖中所示時間 $t=0$ ， P 為兩波的中點。已知波速為 6cm/s 則當時間為 $t=0.75$ s 時，當時 P 點的振動位移為何？振動速度量值為何？

0 $12\sqrt{3}$



類題:

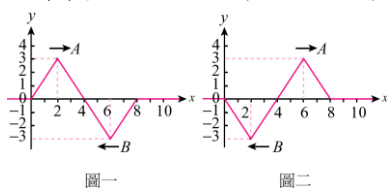
1. 二波交會時有一節點恆不動，則必須二波：(A)波長相同 (B)波形相同 (C)振幅相同 (D)相位相同 (E)頻率相同

ABCE

2. 一繩正在傳遞正立及倒立的兩個三角形波 A 及 B 。設 $t=0$ 時，其波形如圖一所示，而 $t=T$ 時，繩上的波形變成圖二，則：

(a) 在 $t=T/4$ 時的波形為何？（畫圖表示，並標示縱軸與橫軸的刻度）

(b) 在 $t=T/4$ 時， $x=4$ 處的振動位移為何？0



§13-5 駐波

一、駐波

1. R 、 T 、 λ 相等，方向相反的兩波的合成振動波，只在同一位置上改變振動位移的大小值，其振動動能無法經由波節傳至另一旁，此種波之能被限制於某一特定區，故稱駐波

2.

3.

4.長 l 且兩端固定之弦形成駐波之條件：

$$l = n\lambda / 2$$

$$f =$$

例題：

1.把長 1m 的弦兩端固定，若一脈動由一端進行至另一端需 0.05sec，則此弦產生脈動的基音頻率為？Hz (82)

2.長 λ 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 $l/3$ (B)波速為 $fl/3$ (C)相鄰兩節點間的距離為 $l/6$ (D)兩固定端為節點
ABCD

3.一弦線的一端固定，另一端繫於一質量可忽略的小環，小環套在長光滑棒上，弦在靜止時與棒垂直，若弦長 0.5m，線密度為 0.01kg/m，又弦振動的基音頻率為 100Hz，則弦之張力為？₄₀₀

4.弦線 A 的長度為 L ，線密度為 μ ，張力為 T ，兩端固定。另一弦線 B，線密度為 2μ ，張力為 $3T$ ，兩端也固定。欲使 B 弦的基頻與 A 弦的第三諧音相同，則 B 弦長度應為何？(87)

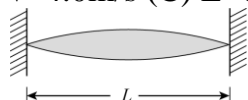
5.一吉他之弦長為 50cm，質量為 4g，(a)當弦所受的張力為 12.8N 時，吉他的基音及第一泛音各為若干？(b)若欲彈出中央 C(256Hz) 的基音時，張力應調為若干？

6.兩端固定，長度為 L 之弦，當其張力為 F 時，頻率為 f 的振動恰可在弦上形成共有 6 個波腹的駐波。如果張力變為 $4F$ ，而弦長不變，則下列頻率的振動，何者可在弦上形成駐波？(A) $f/2$ (B) $f/3$ (C) $f/4$ (D) $f/5$ (E) $f/6$ (90) B

7.當我們使用正確的頻率來回撥動浴缸裡的水，可以產生駐波，而使靠浴缸壁兩邊的水交替起伏(即一邊高時一邊低)。若水的波速為 1.0m/s，浴缸寬 75cm，則下列何者為正確的頻率？(A)0.67Hz (B)1.48Hz (C)2.65Hz (D)3.78Hz (E)4.23Hz (91) A

8. 一條張緊的弦線，長度為 L ，兩端固定，令弦波之波速為 v ，則下列敘述哪些正確？(A)弦線的密度越大，則 v 越大 (B)張力 v 越大，則 v 越大 (C)弦線以基頻振動時的頻率為 v/L (D)弦線以基頻振動時，以弦線中點的振幅為最大 (E)當弦線以基頻 f_1 振動時，弦上各點作相同頻率的簡諧振動，且弦線的總動能正比於 f_1 的一次方(93) BD

9. 長度為 L 的張緊弦線兩端固定，設弦線作橫向振動時，弦波的波速為 v 。試問下列何種弦線振動時，最有可能讓人看到如圖 3 所示，弦線在兩最大位移間振動的視覺暫留影像？假設視覺暫留時間為 $\frac{1}{20}$ 秒。(A) $L=0.20\text{m}$; $v=2.0\text{m/s}$ (B) $L=0.30\text{m}$; $v=4.0\text{m/s}$ (C) $L=0.40\text{m}$; $v=8.0\text{m/s}$ (D) $l=0.50\text{m}$; $v=8.0\text{m/s}$ (E) $l=0.60\text{m}$; $v=8.0\text{m/s}$ (94) c



類題:

1. 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 ABCDE

2. 長為 λ 之彈簧兩端固定，則形成駐波之波長為：(A) $3l/2$ (B) λ (C) $2l/3$ (D) $l/2$ (E) 2λ

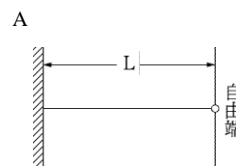
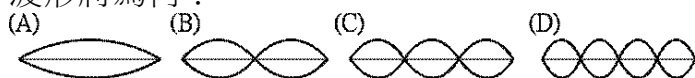
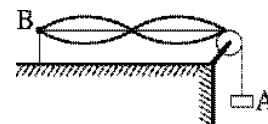
3. 長 L 之繩兩端固定，中間尚有 5 個節點，求波長？

4. 某一弦樂器音符中央 C 與 A 的基音頻率分別為 256Hz 及 427Hz。求(a)音符 C 的第一泛音與第二泛音的頻率。(b)某一弦樂器各音符所使用的弦、材質與粗細完全相同，但長度及張力卻各不相同，經測得 A 音符的弦長為中央 C 音符的 64%，求兩弦張力的比值。

5.一弦長 1m 質量 40 克，兩端固定，張力為 100 N，則其發出基音的頻率為?Hz。若欲使其基音頻率加倍，則張力應增為?N。 25 400

6.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。 300

7.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，波形將為何？



8.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 ，則第五諧音的共振頻率多少？

- (A) $\frac{3v}{2L}$ (B) $\frac{5v}{2L}$ (C) $\frac{5v}{4L}$
 (D) $\frac{3v}{4L}$ c

§13-6 水波的反射與折射

一、反射：

1.水波槽

2.反射定律：

二、折射：

1.折射定律：

2.由深水進入淺水：

例題：

1. 在水波折射實驗中，下列哪一項會改變？(A)頻率 (B)波長 (C)波速 (D)波的振幅 (E)進行方向

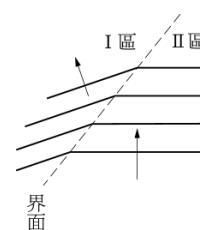
BCDE

2. 某人以水波槽做水波的折射實驗，發現在深水區中波長 3cm 的波進入淺水區後，波長成為 2cm。設波源的頻率為 10Hz，則：(a)深水區中波速與淺水區中波速大小比為何？ (b)深水區中入射角正弦值與淺水區中折射角正弦值比為何？

3. 於水波槽中，波自深水區傳至淺水區，其入射角為 53° ，於深淺兩區之波長分別為 1.6cm 及 1.2cm，問(a)於淺水區之折射角為若干？ (b)於深淺兩區之頻率比為若干？ (c)在深水中之波速為 28cm/s，則在淺水中之波速為若干？

4. 如圖為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)若入射角為 i ，折射角為 r ，則 $\frac{\sin i}{\sin r} =$ 常數

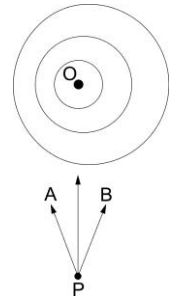
DE



類題：

1. 水波由深水進入淺水時，其：(A)波長變長，波速變慢，頻率變小 (B)波長變短，波速變慢，頻率變小 (C)波長變短，波速變慢，頻率不變 (D)波長、波速、頻率均變大 (E)波長、波率變大，頻率不變 c
2. 一人作水波槽中水波的實驗，發現在深水中波長 3cm 的波進入淺水後成為 2cm，設深水中的頻率為 10 次 / s，則 (A)深水中波速為 30cm/s (B)淺水中波速為 20cm/s (C)淺水對深水的折射率為 $3/2$ (D)淺水中頻率為 10 次 / s (E)水波在兩水區之速率比等於其波長之比 ABCDE

3. 淑琪涉足平靜而混濁的湖面，行至 P 點時想起一句成語：「投石問路」，於是將一小石頭投在 O 點，濺起的水波波形如附圖所示，並非同心圓，於是淑琪決定選擇_____方向涉水較為安全。（填：A、B）



4. 於水波槽中，波自深水區傳至淺水區，其入射角為 45° ，於深淺兩區之波長分別為 1.4 cm 及 1.0 cm，則(1)於淺水區之折射角為?(2)在深水中之波速為 28 cm/s，則在淺水中之波速為?cm/s

§13-8 水波的繞射與干涉

一、繞射：

1. 水波碰到一大小比波長小的障礙物，水波能繞過障礙物繼續傳播

2. 在波前進方向置有一大小比波長小的孔的障礙物，水波的行進方向也會轉彎，此種現象稱之。

3. p189 圖

二、兩點波源之干涉：

1. p190,191 圖

a. 圖中點虛線代表節線

b. 節線上的點是兩波干涉時為完全相消干涉，此二波同 f 、 λ

c. N_1 為第一條節線，線上一點 p 至兩波源之波程差 $\rightarrow \frac{\lambda}{2}$

N_2 為第二條節線，線上一點 p 至兩波源之波程差 $\rightarrow \frac{3\lambda}{2}$

N_n 為第 n 條節線，線上一點 p 至兩波源之波程差 $\rightarrow (n - \frac{1}{2})\lambda$

d. 動點 p 與兩固定點 s_1 、 s_2 之距離差 $|ps_1 - ps_2| = k$ ，動點 p 為雙曲線 \rightarrow 節線形狀為雙曲線(包含退化的雙曲線 \rightarrow 直線)

e. 在 s_1 、 s_2 連線上節線的間隔 $\lambda/2$ ，若兩波源相距 d 一定，頻率越高、波長越短則節

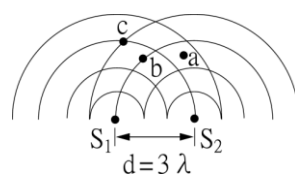
線數越多

f.

g.

例題：

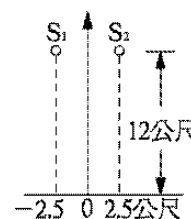
1. 在水波槽實驗中兩同相點波源相距 $d=3\lambda$ (λ ：波長)，如圖所示為某瞬時之干涉狀態，下列敘述何者正確？(A)a 點的波程差為 λ (B)b 點在節線上，a，c 兩點的腹線上 (C) S_1 ， S_2 間有 6 條節線 (D)若兩波源相位差為 $1/2$ ，則 b 點在腹線上，a，c 兩點在節線上 (E)若兩波源仍同相，但頻率均加倍，則 a，b，c 三點均在腹線 ABCDE



2. 水波槽內有 2 個振源，相距 d ，同時發出同相之水面波，波長 λ ，當 $d=3\lambda/2$ 時，介於二振源間可見到之節線數有幾條？(79)

3. 同相之二點波源相距 8cm，已知第 3 節線角為 30° ，則波長為？節線數有幾條？若波速為 32cm/s，求週期為？

4. S_1 、 S_2 兩喇叭分別置於 $y=12\text{m}$ 、 $x=\pm 2.5\text{m}$ 處(如圖)，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 $x=2.5\text{m}$ 時音量最小，若聲速為 344m/s，則喇叭之音頻為？ (85)



類題：

1. 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

AC

2. 在水波干涉現象中， S_1 與 S_2 為二同相點波源， $S_1S_2=3\text{ cm}$ ，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 $\overline{PS_1}=10\text{ cm}$ ，則 $\overline{PS_2}=11\text{ cm}$ (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

ADE

3. 在水波槽中，有兩個同相點波源相距 3λ ，水波波長為 λ ，則兩波源間共有?條節線

6

4. 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。

14

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