

Chapter 14 聲波

□導讀

抖動張緊的繩子，可見到繩波沿繩前進，這是一維的波動；擾動水面，可看到水波在水面上傳開，這是二維的波動；敲擊皮鼓，可聽到聲音往各方向傳播，這是三維的波動。物體因振動而發出聲音，但是聲音依靠什麼介質，又如何傳播呢？同型的樂器在形體的設計上，有大有小，弦樂器上所配置的音箱有何功用？這些有關聲波的問題和我們的日常生活息息相關。本章專章介紹聲波的起因、傳播、和性質。

□重點整理

14.1 聲波

□ 聲波

1. 聲音是由_____所引起的。
2. 物體的振動造成了周圍介質（空氣）的擾動，藉由介質的傳動過程，將振動的能量傳遞出去

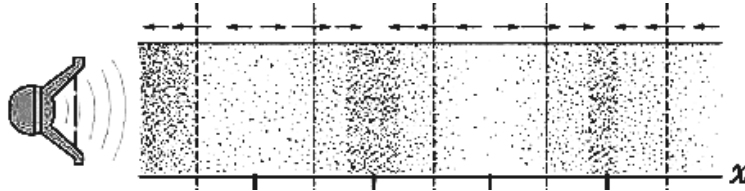


圖 14-1 聲波之示意圖

3. 聲音的傳播過程就如同繩波或水波一樣，必須依靠_____的擾動來傳播，稱為聲波，是一種_____
 - 聲波的傳播介質不只限於空氣，_____和_____也能傳播聲波。
 - 空氣分子的擾動，導致空氣產生壓縮而產生→可稱為_____
 - 稠密部：部分氣體壓力比管內平衡時的壓力_____的位置
 - 稀疏部：部分氣體壓力比管內平衡時的壓力_____的位置
 - 聲波波長：相鄰兩個稠密部(稀疏部)的距離

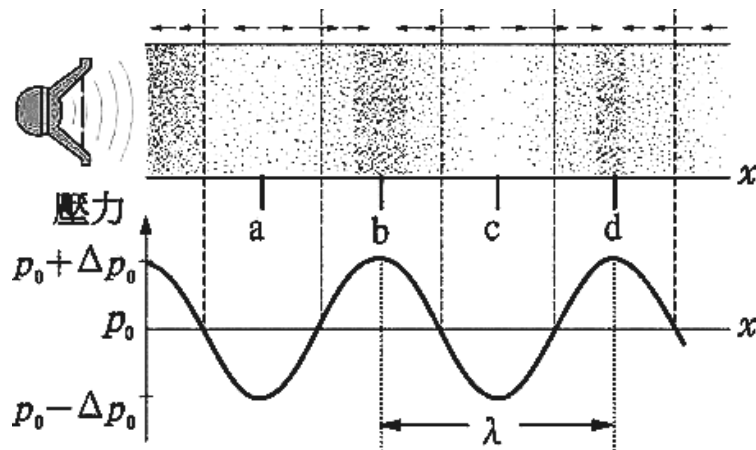


圖 14-2 聲波壓力變化之示意圖

4. 聲速
 - 決定於介質的種類與狀態→_____
 - 空氣中的聲速_____ T：當時的溫度

介質	聲速(m/s)	介質	聲速(m/s)
空氣	343	橡木	3850
淡水	1485	玻璃	5170

□聲波的性質：

1. 反射：

- 聲波遇到障礙物會反射，但反射面的大小必須_____波長，聲波的反射才有效果
- 聲波的反射，稱為_____ → 超音波掃瞄為其應用

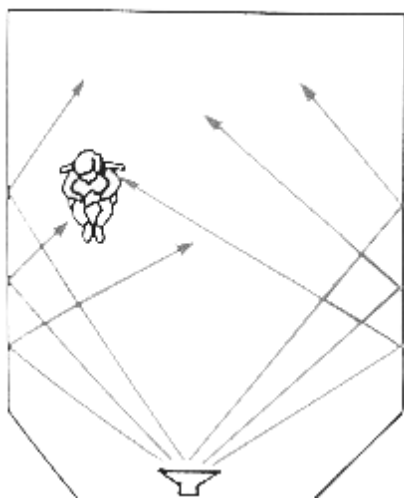
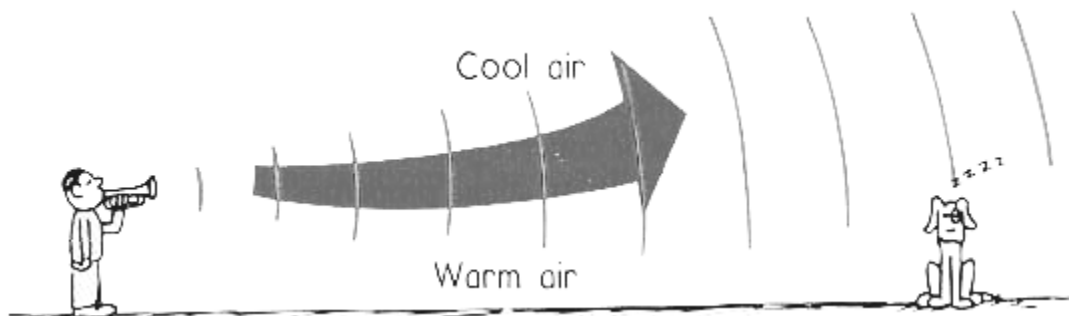


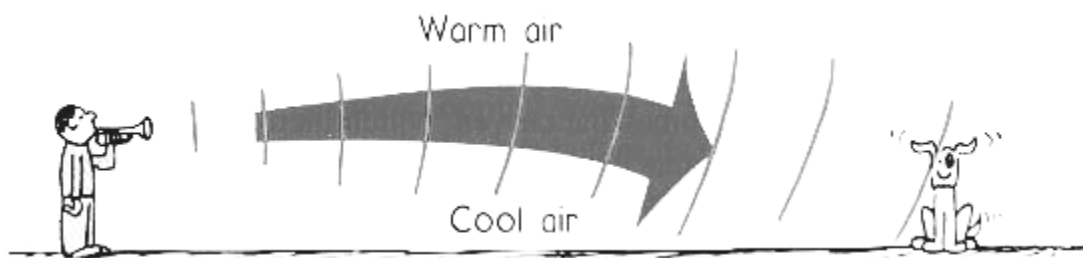
圖 14-3 聲波反射之示意圖 1

2. 折射

- 空氣溫度隨高度而變，因此空氣密度亦會改變，聲波的速率也會改變。
- 白天地面氣溫高，導致聲音_____



- 晚上地面氣溫低，導致聲音_____



3. 繞射

- 聲音在介質中行進時候遇到障礙物時候，會繞到障礙物後面。
- 聲波波長越長，繞射現象越_____

¹ 本頁圖片來源：觀念物理學叢書

範例演練

例題1.：基礎題

人耳所能聽到的聲音頻率範圍為 20 Hz 到 20 kHz，若在乾燥無風且溫度為 20°C 的空氣中，則可聽頻率所對應的波長範圍為何？

類題：聲波頻率 440 赫茲，求：(1) 在 35°C 時其波長為何？(2) 若聲波在水中速度為 1500 m / sec，則在水中波長為何？

答：(1) 0.8 m (2) 3.41 m

例題2.：空氣中的聲速

在乾燥無風且溫度為 20°C 的空氣中，落石下井，3.0 秒後聽到石頭撞擊水面的聲音，則井內的水面離開井口有多深？

解：

類題：設聲速為 340 m / sec，重力加速度為 9.8 m / sec²，井深為 122.5 公尺，自井口落石，經多少秒後可聽到石頭擊水聲：(A) 0.36 (B) 5 (C) 4.64 (D) 5.36 (E) 4.21 答：D

課後練習題

- 室溫 15°C 時，聲音的傳播速率約為_____ m/sec。
- 已知氣體中聲波的傳播速率與氣體的分子量有關，聲音在空氣中傳播的速率比聲音在氫氣中傳播的速率為快或是慢？_____。
- 已知聲波在鐵中傳播速率為 5130m/s ，氣溫為 15°C 時，某人一長鐵管的一端重重的敲一下，在另一端的聽者卻聽到二響，一為在管壁內行進的聲波，另一為在管內空氣中行進的聲波。該聽者分辨出這兩個響聲的時間差為 0.500 秒，則鐵管的長度為_____ 公尺。
- 飛機飛行速率為一馬赫時，指飛行速率約為_____ km/hr。
- 美國售我 F16 戰機，飛行速率約為 1.5 馬赫，其速率約為_____ m/sec。
- 以空氣為聲波的介質時，因為介質振動的方向與聲波前進的方向平行，我們稱此種波為是縱波或是橫波_____。
- 聲波在空氣中傳播時，空氣的壓力及空氣的溫度何者對聲波傳播速率的影響較大？_____。
- 相同的兩個聲音間隔必須大於 0.1 秒，人的耳朵才可以辨識，試求，一般而言，室溫 15°C 的室內空間必須相距多遠以上，才可以辨識出有回音的情形？
- 某人早上起床作晨跑並站在山壁前作早操，當時空氣溫度約為 15°C ，若該人向山壁大喊一聲，測得約 0.5 秒聽到回音，則該人距離山壁約多遠？

答案

1. 340 2. 慢，約只有在氫氣中傳播速率的 $\frac{1}{4}$ 倍 3. 182 4. 1192 5. 496.5或497 6. 縱波
7. 溫度 8. 17 公尺 9. 85 公尺

14.2 聲音的駐波

□空氣柱的駐波

1. 在管的開口端吹氣，不論另端為開口或是閉口，由另一端反射的縱波與入射波重疊，在某些條件下會形成駐波。
2. 開口端位置大約是_____
3. 封閉端質點的位移為零，形成_____

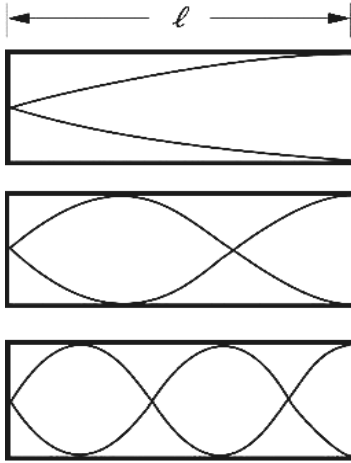


圖 14-4 一端閉口的空氣駐波

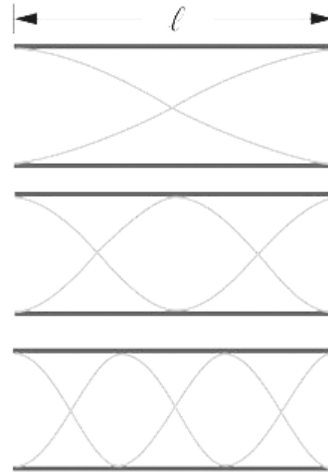


圖 14-5 兩端開口的空氣駐波

※僅討論管徑遠小於波長及忽略管端開口進入周圍空氣的聲波

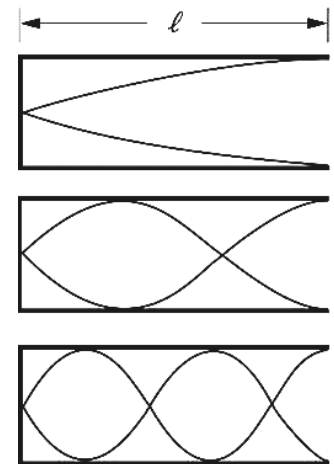
□閉管的駐波

1. 形成駐波的條件：假設管長 l ，波長 λ

2. 駐波的頻率：假設波速 v

3. 閉管的駐波之性質

- 一固定長度的閉管所能發出的駐波頻率是其基頻（最低頻率）的奇數倍，即各駐波頻率的比值為_____
- 在閉管內所產生的駐波頻率，僅有第一、第三、第五、……等奇數諧音，而無偶數諧音。



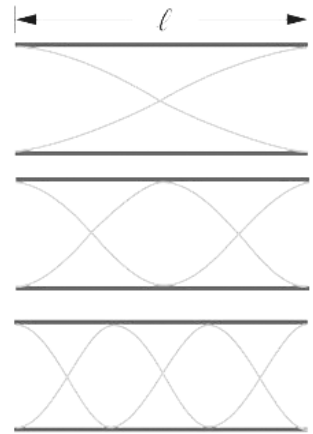
□開管的駐波

1. 形成駐波的條件：假設管長 l ，波長 λ

2. 駐波的頻率：假設波速 v

3. 開管的駐波之性質

- 一固定長度的開管所能發出的駐波頻率是其基頻（最低頻率）的整數倍，即各駐波頻率的比值為_____
- 在開管內， $n=1$ 的頻率稱為基音，也稱為第一諧音； $n=2$ 所對應的駐波模式稱為第一泛音或第二諧音； $n=3$ 為第二泛音或第三諧音，其餘類推。



範例演練

例題3：基礎題

在乾燥無風且溫度為 20°C 的空氣中，若將一長度為 1.00 m 的空管的一端封閉，對其另一開口端吹氣，則該管所發出聲音的基頻為何？若將閉端打開，則基頻又變為多少？

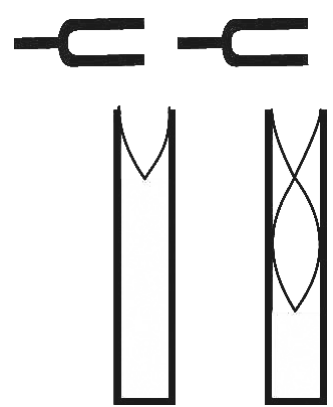
解：

類題：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。設當頻率為 100 赫時第一次產生共鳴，則第二次共鳴在頻率_____赫時產生，設當時的聲速為 340 公尺 / 秒，則該玻璃管的長度為_____公尺。 答：300；0.85

例題4.：「共鳴空氣柱」實驗

如下圖所示，將一未知頻率的音叉靠近一鉛直豎立的長管管口，管內裝有水。當音叉振動時，調整管內的水面，使自管口處緩緩下降，直至聽到共振的聲音（即明顯轉強的聲音）為止，量出此時水面至管口的距離為 16.4 cm。之後，再降低水面至距管口為 49.2 cm 的位置時，又聽到共振的聲音。設當時的氣溫為 20 °C，求音叉的頻率為何？

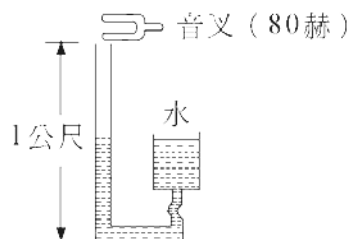
解：



類題：垂直玻璃管之長度為 1.0 米，管中水面可以調至任何位置。一音叉以 660 次 / 秒振動，恰在管頂端開口之上，問水面在何位置將產生共振？ 答：0.875 m、0.625 m、0.375 m、0.125 m

課後練習題

- 一開口風琴管之基本頻率 300 赫，一閉口風琴管之第一泛音和開管之第一泛音頻率相同，各管有多長？設波速為 331 m / sec。
- 以下為從事實驗時可能遇到的問題，請設法予以解決，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。你以為問題在那裡？說明之。



- 某生做「共鳴空氣柱」實驗時，測得玻璃管的長度為 0.80 公尺，今某生先取音叉 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 。
- 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。
 - 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？
 - 設當時的聲速為 340 公尺 / 秒，則該玻璃管的長度為若干？
- 耳腔長度約 2.5 公分，耳腔內能形成駐波的頻率為何？
- 一聲波在一長 0.5 公尺的管中傳播，管的一端封閉，試問振動的基頻為何？取波速值為 344 公尺 / 秒。如閉端打開，則其基頻變成若干？

答案

1. (1)開口：0.55米 (2)閉口：0.41米 2.共鳴柱不夠長 3. $\frac{3}{5}$ 4. (1) 300赫 (2) 0.85公尺 5. 10.2 kHz 6. 172赫，344赫

14.3 聲音的共鳴

□自然頻率

1. 物體振動時產生駐波的頻率，稱為該振動體的自然頻率。
2. 所有能振動的物體都有其特定的自然頻率。

□共鳴（共振）

1. 對於聲波而言，共振又稱為共鳴。
2. 共鳴的作用是将物體的振動能量有效地轉換為聲波的能量。
3. 只要從外界傳入的振動頻率恰等於物體的自然振動頻率，就能引發共振。
4. 外來擾動的頻率與系統的自然頻率相同時候，即使極微弱的外來擾動，也能使此系統以相當大的振幅產生振動



課後練習題

- 將玻璃管從一端鉛直壓入水中，使其上下移動可調整上方空氣柱之高度，若在上方管口附近放一振動的音叉隨管之升降，當液面離管口各為 8cm 及 28cm 時，恰可連續兩次聽到共鳴聲，且聲速為 330m/s 時，此音叉之振動頻率為_____赫。
- 兩端開口的風琴管 A，其基頻為 280Hz。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，若聲音的速度為 350m/s，則 B 風琴管的長度為_____公尺。
- 一管如兩端開口，發現可發出 800 赫的聲波，如將一端封閉，可發出 200 赫的頻率，求管最小長度？（設聲速為 300 公尺／秒）_____m。
- 某生前往淡水某教堂參觀該教堂的管風琴，並以測頻儀測得其中一個管發出 440 赫茲的聲波，若當時室溫為 20°C，試估計該管長度最長約可以為多少_____。
- 甲、乙兩個振幅相同聲波波列，頻率各為 440 及 445 赫茲，則兩聲波每秒產生的拍數是 N，則 N = _____。
- 在「共鳴空氣柱」實驗中，將一振動音叉置於管內裝水的開管玻璃管上端，測得當水面離管口 9cm、29cm 時產生共鳴作用，若聲速為 340m/s，則音叉頻率 = _____ Hz。
- 一裝有空氣的長管子，下端封閉上端開口。今測得管內空氣有 258Hz，430Hz，602Hz 等振動頻率，但此三個頻率均非空氣振動基頻。若聲速為 344m/s，則此管之最小管長為若干公尺？_____。
- 材料相同而兩端均固定的 A、B 兩弦，其張力相等，橫截面半徑比 $r_A : r_B = 3 : 5$ ，若 A 之第一泛音頻率為 B 之第三諧音的二倍，則
 - A、B 兩弦之波速比為_____。
 - 若 A 弦長為 50cm，則 B 弦長之長度為_____cm。

答案

1. 825 2. $\frac{25}{32}$ 3. 0.375 4. 39或19.5 公分 5. 5 6. 850 7. 1 8. (1)5 : 3, (2)90

14.4 都卜勒效應

□ 都卜勒效應(The Doppler effect)

1. 聲源與聽者在其**連線**上有_____時候，使音調（頻率）產生高低變化的現象
2. 觀察者所測得的頻率稱為_____

f_s : 聲源發出的頻率； v : 聲音相對於空氣的速度

v_o : 相對於空氣，聽者接近或遠離聲源的速率

v_s : 相對於空氣，聲源接近或遠離聽者的速率

則聽者所聽到的頻率 f_o 。

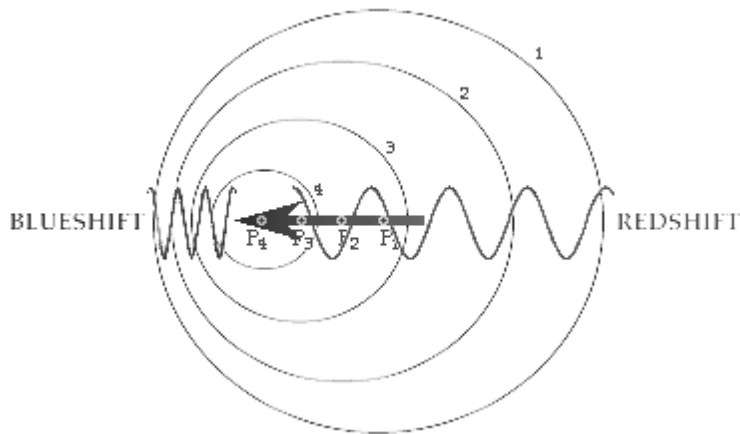
3. 實例

- 生活中警車移動時候，頻率會產生變化



2

- 天文學：用來決定恆星、銀河系與其他天體的相對運動

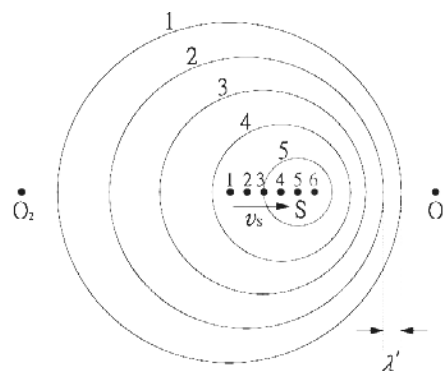


- 測速/雷達

² 本頁圖片：觀念物理叢書

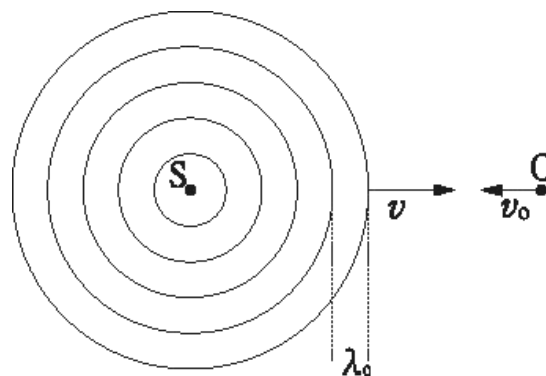
□ 都卜勒效應公式證明

1. 聽者靜止，波源以 v_s 向聽者運動 → 波速 v 不變，視波長變短 → 視頻率變大



2. 聽者靜止，波源遠離聽者運動

3. 波源靜止，聽者向波源前進 → 波長不變 → 視波速變大 → 視頻率變大



4. 波源靜止，聽者向波源遠離

5. 結論：波源與聽者皆在運動時

範例演練

例題5.：都卜勒效應與頻率

在無風時，靜止火車的汽笛所發出的聲音頻率為 1600 Hz，試求在下列各情況中，觀察者所聽到的汽笛聲音頻率為何？（設聲速為 340 m/s。）

- (1) 當鳴笛的火車靜止在軌道上，而觀察者所乘坐的火車以 90.0 km/h 的速度向該火車接近時。
- (2) 當鳴笛的火車以 90.0 km/h 的速度，向另一列靜止火車中的觀察者駛近時。
- (3) 當鳴笛的火車和觀察者所乘坐的火車同以 90.0 km/h 的速度相向趨近時。
- (4) 當鳴笛的火車和觀察者所乘坐的火車同以 90.0 km/h 的速度背向而遠離時。

解：

類題：一救火車以 20 公尺/秒速度向一靜止觀察者駛近，觀察者收到救火車的頻率為 1000 赫，如觀察者以 5 公尺/秒速度奔向救火車，則所收到的頻率為何？設聲速為 344 公尺/秒。

答：1015Hz

例題6.：反射波的都卜勒效應

一反射器以 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。

答案：600

類題：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。

答案：1800

例題7.：不在聽者與聲源連線上的都卜勒效應

有一頻率為 4000Hz 的聲源，在一周長為 10m 的水平圓形軌道上，以每秒一轉的等角速率運動，則對極遠處位於同一水平面上，靜止的觀察者而言，所聽到的最高頻率約_____ Hz （聲速為 360m/s ）

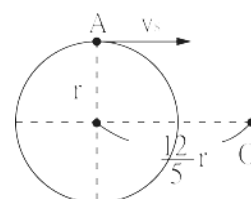
答案：4845





類題：

有一發聲頻率 1000Hz 的聲源在水平面上作等速率圓周運動，速率 39m/s ，若聲速為 336m/s ，當聲源運動至 A 點時，靜止的觀察者 O 收聽到的頻率為_____ Hz 。

答案：1120



 課後練習題 

1. 一隻蝙蝠發出頻率 39 千赫之聲波，以聲速的**錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立**。飛向一牆，則蝙蝠聽到的反射波頻率為_____。
2. 汽車以 v 之速率駛向一反射面，而反射面則以 u 之速率移向汽車。汽車上喇叭發出頻率為 f_0 之聲波。當時聲速為 w ，則汽車上的人所聽到由反射面反射回聲音的頻率為_____。
3. 某人騎著機車，在著鐵軌旁的公路上與火車等速率相向並行，火車正鳴笛而行，笛聲頻率為 1200Hz，若機車上的速度表顯示 72km/hr，當時的聲速為 340m/sec，則
 - (a)機車騎士測得的頻率為_____赫茲，
 - (b)火車接近平交道時，平交道旁的路人聽到的頻率是_____赫茲，
 - (c)火車遠離平交道時，平交道旁的路人聽到的頻率是_____赫茲，
 - (d)機車與火車交錯而過後，機車騎士測到頻率為_____赫茲，
 - (e)如果火車尚未錯車前機車便減速至 10m/sec 而行，機車騎士可以測到的頻率為_____赫茲。
4. 一停靠在路旁的 A 車正鳴著喇叭，B 車以固定速度從 A 車旁駛過，B 車上一旅客測得 A 車喇叭頻率在接近它時為 f_1 ，離開它時為 f_2 ，若聲速為 V ，則：
 - (1)A 車喇叭發出之真正頻率為_____。
 - (2)B 車速率為_____。
5. 一聲源發出固定的頻率，設聲速為 340 公尺/秒，若聲源與聽者由靜止開始相向作等加速度 2 公尺/秒² 運動，問經過_____秒，聽者量得頻率為原頻率的**錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立**。倍。
6. 一頻率為 4000Hz 的聲源，在一周長為 20m 的水平圓形軌道上做每秒繞一圈的等速率旋轉。假設聲速為 340m/s，則位於同一水平面上遠處（此距離大於 20m）的靜止觀察者聽到的最高頻率約為若干 Hz？_____
7. 一輛汽車於時間 $t=0$ 秒從靜止狀態啓動，以等加速度沿直線行駛向一靜止的聲源。若空氣中聲速為 330 公尺/秒，靜止聲源發出 440 赫的聲波，而汽車上的乘客在 $t=2$ 秒時，聽到聲波的頻率為 480 赫，則汽車的加速度約為_____公尺/秒²。
8. 某星球發 6000 埃的光，若該星球正以 3×10^4 公尺/秒速度遠離地球，則地球上所見該星球發出的光波長變為_____赫。
9. 直笛長 25 公分，兩端均為開口，聲速為 340 公尺/秒一聽者以 10 公尺/秒，遠離直笛，

所聽到第一泛音之頻率為_____赫。

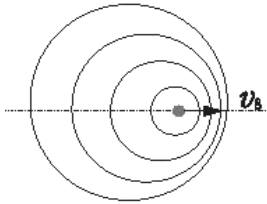
答案

1. 41 千赫 2. $f_0 \cdot \frac{(w+u)(w+v)}{(w-u)(w-v)}$ 3. (a)1350 赫茲, (b)1275 赫茲, (c)約1133 赫茲, (d)約1067 赫茲, (e)1312.5 赫茲 4. (1) $\frac{f_1+f_2}{2}$, (2) $(\frac{f_1-f_2}{f_1+f_2})V$ 5. 15.45 6. 4250 7. 15 8. 6000.6 9. 1320 赫

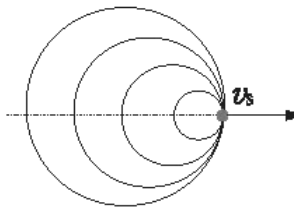
14.5 音爆

□音爆的產生

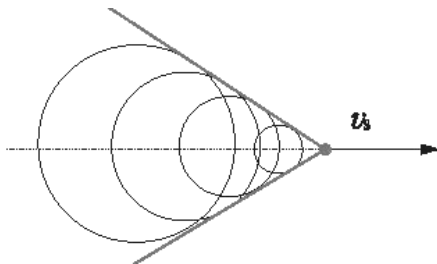
1. 當 $v_s < v$ 前面的波形被擠壓，產生都卜勒效應



2. 當 $v_s = v$ 前面的波形被擠壓成一點，在波源正前方的人無法聽到聲音

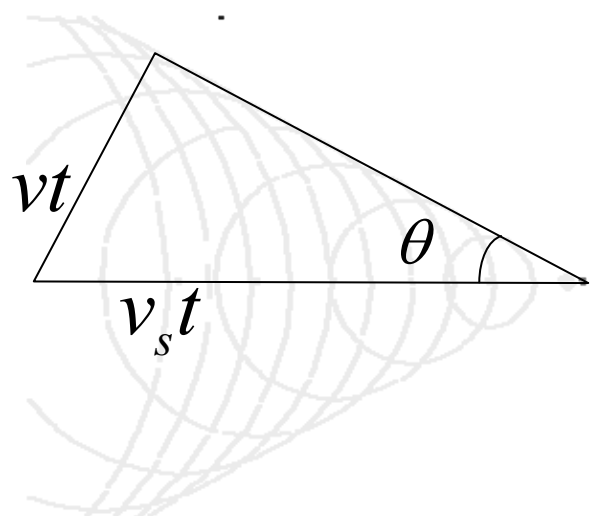


3. 當 $v_s > v$ 前面的波形被擠壓，後面的波形互相干涉形成圓錐狀的震波(shock wave)
飛機在空氣中以超音速飛行時，當高能量的機頭波與尾波傳到地面時，在波通過的地方的特定方向，會因為聲波重疊而增強，在驟然間產生非常強烈的壓力變化，發出如雷巨響，此稱為_____。



■ 馬赫數：聲源速率與音速的比值

■ 馬赫角



範例演練



例題8.：

一協和客機在離地 5000 m 高的空中，以馬赫數為 2.0 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 331 m/s。）

解：

類題：

一噴射軍機以高速在空中水平飛行，若飛機飛行速率為 2384km/hr，當時空氣溫度約 15°C，則地面上的觀察者在聽到飛機的音爆瞬間，測得的仰角大約為若干？ 答：30 度

 課後練習題 

- 有一飛機以 1.5 馬赫的速率在水平面上沿一直線飛行，恰從地面上一觀察者的頭頂上方飛過，半分鐘後觀察者才聽到音爆聲，則飛機高度為何？（設聲速為 331 公尺／秒）
_____ m。
- 錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立。**
- 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 _____。
- 一噴射機在 6000 公尺的高度凌空而過，速度為 1.25 馬赫，求
 - 震波與噴射機運動方向所成之角度_____。
 - 由噴射機飛過頭頂至震波傳至地面所需之時間為_____秒。
 - 承(2)，此時人所聽到之震波訊號，為噴射機在飛人過頭頂正上方之前_____秒所發出的。（設當時聲速為 360 公尺／秒）。
- 飛機以超音速飛行時，後方出現的 V 字形震波中的馬赫角 ϕ 與飛機飛行的速率（馬赫數） M 之關係為何？答：_____。
- 一噴射軍機以高速在空中水平飛行，若飛機飛行速率為 1788km/hr，當時空氣溫度約 15°C ，則地面上的觀察者在聽到飛機的音爆瞬間，測得的仰角大約為_____。
- 某生在操場上研究傾斜儀，突然一架噴射軍機飛過，該生立即以傾斜儀測量，發現仰角為 30 度，時恰好聽到飛機產生的音爆，試問該軍機速率大略為_____馬赫。

答案
1. 1.33×10^4 2. 37 3. $v \sin$ 錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立。 4. (1) 53° , (2)16.7, (3)27.8 5. $\sin \phi =$ 錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立。 6. $\phi = \sin^{-1}$ 錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立。 7. 2

老師的忠言

請你：

課堂中專心聽講，下課仍有疑問，需向老師請教，不可敷衍自己。

學習任何事情，都會有不耐煩的心裡，現在必須有「耐煩」的心。

心得筆記

