

教育部委辦國民中學數學及自然科學 課程改進計畫

各科試用教材摘介 (四)

本中心

本中心接受教育部委辦國中、高中、技職學校數學及自然科學課程改進計畫，邀請國內各大學教授一百二十多位、中學教師四十多位，在教育部科學教育指導委員會主任委員吳大猷先生及各位指導委員、暨諮詢委員指導下，進行編寫各有關課程之教科書、教學指引、實驗手冊、實驗活動本等試用教材。

數年來，各分項計畫分別依原定時間編寫完成有關教材，並順利地在教育部及廳局指定之學校進行試教。茲以本中心編印之試用教材，將提供教育部做為將來修訂各有關學校科學課程之參考，而科學教育事關國家大計與萬千學子之修習發展，為求集思廣益，乃請各計畫編輯小組，就所編各科試用教材教科書中各擷取一章，藉本中心發行之科學教育月刊逐期分科摘介，提請教育界先進及同仁就其內容及編寫方式惠予指教，以做為修訂之參考。

本期刊登之內容，係國二理化第三冊第十四章後半部。

國二理化

第十四章 波動與聲音

14-3 聲音是什麼？

拉動吉他或小提琴的弦，我們可以看到或感覺到弦的振動，同時也聽到聲音；用橡皮鎚敲音叉的一股，我們可以聽到清脆的嗡嗡聲，將音叉接觸一靜止懸掛的通草球，則可見到通草球被彈開（圖 14-21），或者將音叉輕輕地觸入水面，則可見到水花四濺（圖 14-22），顯然音叉在發聲的同時，它的兩股也在做急速的振動；當你說話或唱歌時，用手指輕輕地按著喉頭的周圍，你是否可以感覺聲帶在振動？

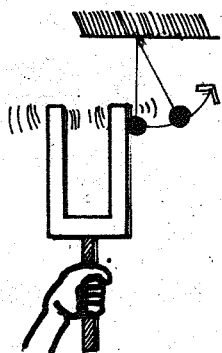


圖 14-21 使振動中的音叉，觸及通草球，則通草球被彈開。

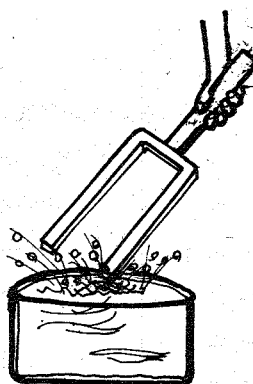


圖 14-22 使振動中的音叉，觸入水面，則水花四濺。

一般來說，當物體振動時，就會發出聲音。

在本章的開頭，我們曾提到聲音是一種波動，它屬於機械波的類別。凡是機械波就必須依靠介質，才能傳播。在圖 14-23 所示的示範實驗中，電鈴封在一個玻璃罩內，當罩內的空氣未抽出前，我們可聽到小鎚擊鈴子的聲音，但是當開動抽氣機，抽出罩內的空氣後，則鈴聲漸弱，甚至完全聽不到。顯然電鈴的聲音若沒有空氣做介質，便無法從罩內傳出。

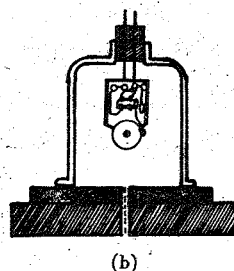
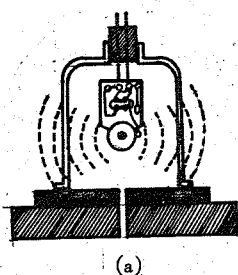


圖 14-23 (a)當玻璃罩內的空氣尚未抽出前，則可看到小鎚在振動，同時也聽到鈴聲從罩內傳出來。
(b)當玻璃罩內的空氣抽出後，則只看到小鎚在振動，但聽不見聲音。

除了空氣外，液體和固體也可以做為傳播聲音的介質。例如當你潛入水中游泳時，你是否曾聽到由水面上傳來的聲音？把兩根金屬棒在水中互擊，你是否可聽到由水面下傳出的聲音？把耳朵貼靠在鐵軌上，可聽到遠處火車行駛在鐵軌上的聲響；或者把耳朵貼近一長鐵管的一端，則可聽到另一端傳來的敲擊聲；取一根長約 30 公分的金屬棒，如圖 14-24 所示，使一端貼近手錶，你是否可以從另一端聽到滴答滴答的聲音？

聲音在液體或固體內的傳播比較複雜，我們僅就聲音在空氣中的傳播，做一個簡略的說明：

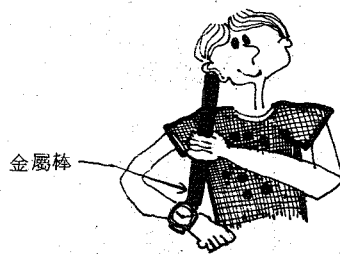


圖 14-24 固體可做為聲波傳播所需的介質。

圖 14-25 所示為音叉振動與周圍空氣分子運動的分解動作圖。圖(a)顯示當音叉的兩股向外伸張時，相鄰的空氣分子被壓擠形成密部，且獲得動能向外移動。當音叉的兩股往內回收

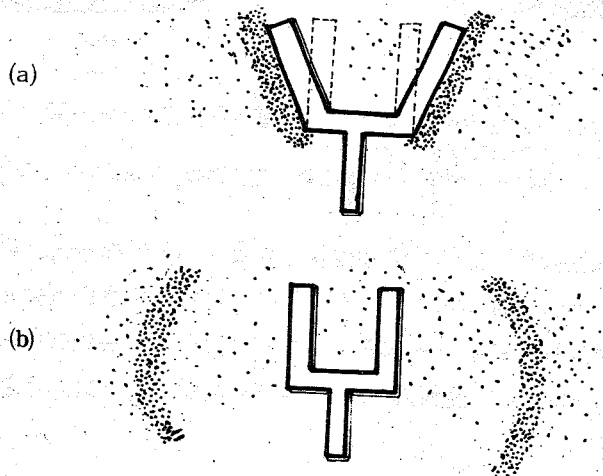
至原先的平衡位置時，則如圖(b)所示，這時早先形成的空氣密部已往外移動一段距離，且繼續移動中。當音叉的兩股繼續往內收縮，則兩股間的空氣分子被壓擠成密部，而原先兩股外側的密部則又移得更遠些，因此在這兩密部之間的空氣最為稀薄，形成疏部，如圖(c)所示。若音叉的兩股連續不停地來回振動，則周圍的空氣不斷地被擾動，將形成如圖 14-26 所示的疏密相間的連續波形。其每秒內所生疏密部的次數和音叉每秒內振動的次數相等，亦即聲波的頻率和發音體的振動頻率相等。

由上可知：當聲波經由空氣傳播時，由於空氣分子的運動方向和波前進的方向平行，因此在空氣中傳播的聲波是縱波。

當聲波由空氣傳入我們的耳內時，空氣中的疏密部分，產生大小不同的空氣壓力，密部的空氣壓力較大，疏部較小，壓力上的差異迫使耳膜做同頻率的振動，此振動再經由槌骨、砧骨、和鐙骨的槓桿作用，經內耳的神經而傳至大腦，使我們產生聽覺。(圖 14-27)

若傳入耳內的聲波頻率太高或過低，則耳膜無法隨之振動，我們便聽不到聲音。人類耳朵可以聽到的頻率範圍約在 20 至 20,000 次/秒之間。頻率在 2 萬次/秒以上的聲波稱為超聲波。

傳入耳內的聲波，能引起耳膜的振動，便是聲波能傳遞能量的例證。我們可以利用聲音的共振現象，對聲波的傳遞能量做更直接的觀察。圖 14-28 所示為兩個附有共鳴箱的同頻音叉 A 和 B。將 A 和 B 隔開一小段距離，然後以橡皮槌敲擊 A。把耳朵靠近 B，便可聽到 B 也發出嗡嗡的聲音。如果用手



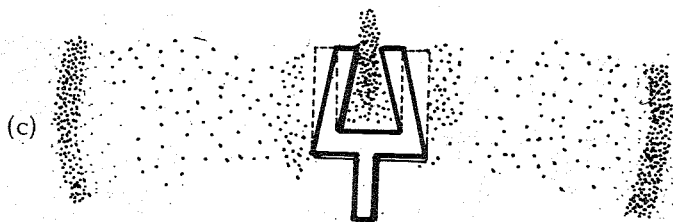


圖 14-25 音叉振動時，使周圍的空氣分子，形成疏部與密部相間。

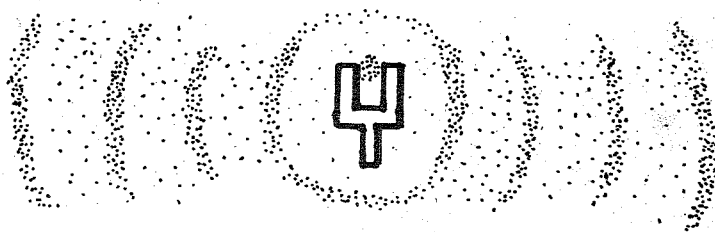


圖 14-26 連續振動的音叉，使周圍的空氣分子形成疏密相間的連續波形。在空氣中傳播的聲波是縱波。

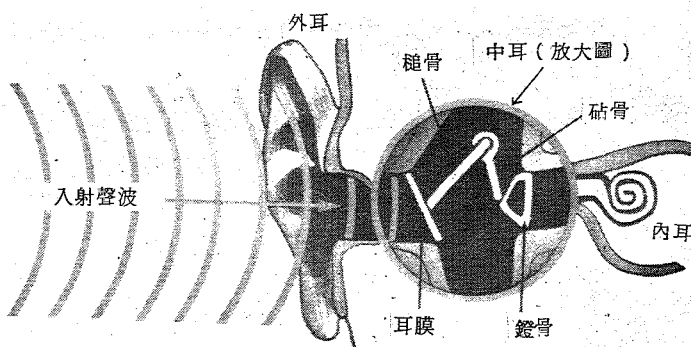


圖 14-27 傳入耳內的聲波，迫使耳膜做同頻率的振動，此振動再經由錘骨、砧骨、和鐮骨的槓桿作用，經內耳的神經而傳至大腦，使我們產生聽覺。

按住音叉 A 的兩股，令其不振動，則可聽得更清楚些！你能解釋這個現象嗎？共鳴箱的功用是在增強聲音的強度。

14-4 聲波的反射和折射

聲波的傳播和水波一樣，遇到不同種類或狀態的介質時，便會發生反射和折射的現象。

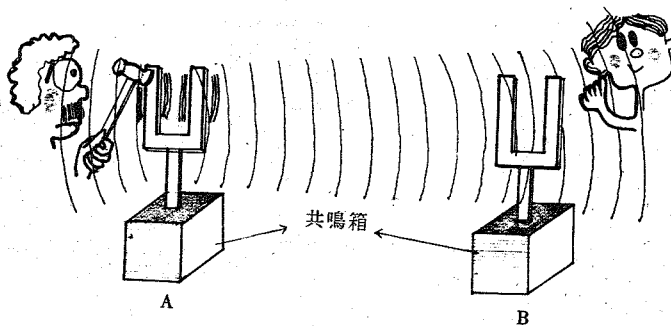


圖 14-28 聲音的共振現象

一、聲波的反射

在空曠的山谷裏，高聲喊叫後，常可聽到連串而來的回聲，這是由於原先喊叫時所發出的聲波，經過周圍山壁不同次數的反射，而反射回來的聲波，所經的距離不盡相同，到達人耳的時間，也各有差異，因此聽到連串的回聲。圖 14-29 顯示幾個循不同路徑反射而回的聲波。在操場上大聲呼叫，也可聽到由四周建築物牆壁所反射回來的聲音。在室內講話，有時也會產生回聲，例如有些設計不良的大禮堂，演講者所發出的聲音常會受到四周牆壁反射回來的聲音所干擾，以致混淆不清。如何消除回聲的干擾是建築技術上的一個重要課題。

如圖 14-30 所示的傳聲筒，也是利用聲波在筒壁上的反射，而使所發出的聲波往同一個方向傳出，這樣可以使聲量大些，並且能傳至較遠的地方。有時，我們爲了要使聲音傳得遠些，常用雙手在嘴邊圈成喇叭狀，便是利用同樣的道理。

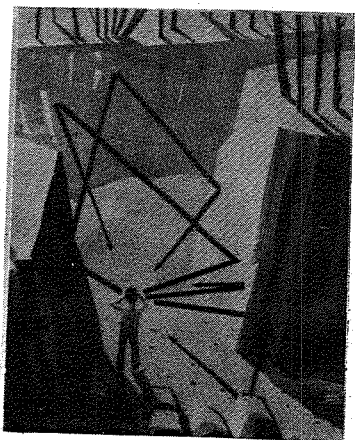


圖 14-29 空谷中的回聲

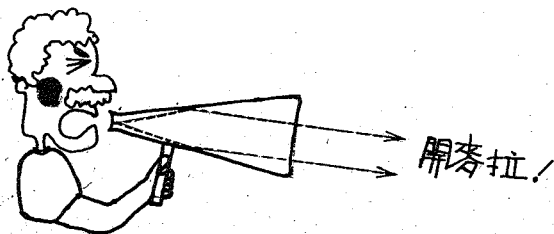


圖 14-30 傳聲筒係利用聲波在筒壁上的反射，而將聲波傳送至遠處。

有些船艦上裝有聲納 (sonar)，能夠發出和接收聲波。如圖 14-31 所示，由聲納所發出的聲波經海水傳至海底，再反射而回。這一段去而復回的時間可以利用儀器測出，如果知道聲波在海水中傳播的速率，便可計算出海底的深度。利用同樣的原理，我們也可以偵測出水中潛艇或者魚群的位置。

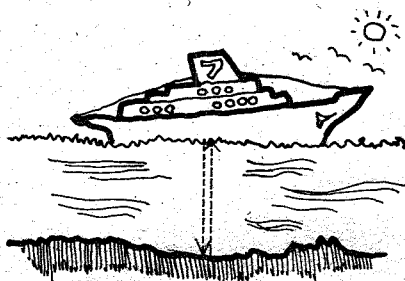


圖 14-31 利用聲波經由海底的反射，可以測出海底的深度。

你能再舉出幾個應用聲波反射的例子嗎？

二、聲波的傳播速率

聲波的傳播速率取決於介質的種類及狀態。在空氣中傳播的聲波，其速率和空氣的溫度、濕度以及當時的風速都有關係。空氣的溫度愈高，則聲速愈快；反之，則愈慢。在 20°C 無風乾燥的空氣中，聲速約為 343 公尺 / 秒，但在 0°C 時，聲速僅約為 331 公尺 / 秒。

【例題】：

若音叉的振動頻率為 100 (1 / 秒)，當時的氣溫為 20°C ，試計算 (1) 音叉的振動週期；(2) 音叉所發出的聲波波長。

(1) 根據公式 $\tau = \frac{1}{f}$ ，

週期 = $\frac{1}{100} = 0.01$ 秒

(2) 根據公式 $v = \lambda f$ ，

波長 = $\frac{v}{f} = \frac{343}{100} = 3.43$ 公尺

室溫時，聲波在各種介質中傳播的速率，列在表 14-1：

表 14-1 聲波在各種介質中的傳播速率

介 質	聲速(公尺 / 秒)	介 質	聲速(公尺 / 秒)
酒 精	1190	松 木	3320
純 水	1490	銅	3810
海 水	1520	鋁	5100
氫 氣	1330	鋼	5200
玻 璃	5500	鉛	1320

就通常頻率的聲波而言，聲速只和介質有關，而與聲波的頻率無關，在同一介質中傳播的聲波，頻率高者，波長短；反之，頻率低者，則波長長，但聲速則都一樣。

三、聲波的折射

如同水波折射的情形一樣 (實驗 14-3)，當聲波傳播時，若波前各點的速率不同時，則波前的形狀將發生變化，波前進的方向也將偏離原先的方向。圖 14-32 及 14-33 所示為聲波在空氣中的

折射情形。白天時，陽光照射地面，地面受熱後，溫度升高，靠近地面的空氣層溫度比在其上層的空氣溫度高。根據前段的敘述，聲波在熱空氣層中的傳播速率較在冷空氣層中為快，因此在平地上所發出的聲波將偏折朝向高處，如圖 14-32 所示。夜晚時，則恰好相反，地面散熱快，溫度降低，因此靠近地面的空氣比較冷，聲波反而折向地面，如圖 14-33 所示。

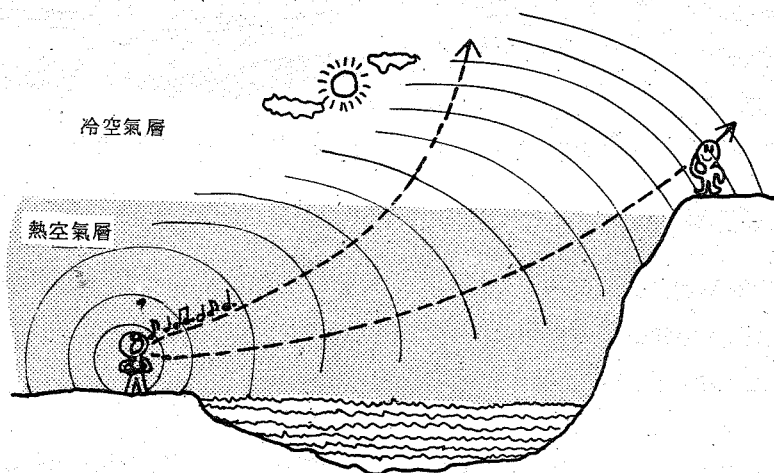


圖 14-32 白天時，地面受陽光曝曬，溫度升高，靠近地面的空氣層較熱，聲速較快，因此在平地上所發出的聲波，偏折朝向高處。

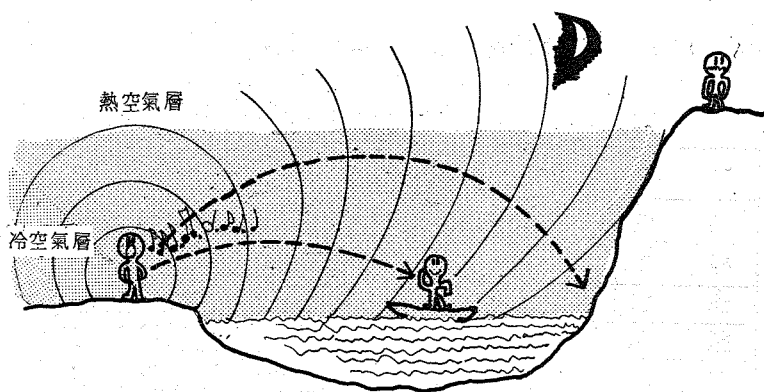


圖 14-33 夜晚時，地面散熱快，溫度降低，靠近地面或水面的空氣層較冷，聲速較慢，因此在平地上所發出的聲波，折向地面或水面。

由以上的討論可以推知：白天時，站在高處的人比較容易聽到聲音；夜晚時，則在低處的人反而較為容易。

14-5 樂音

聽起來悅耳，令人愉快的聲音，統稱為樂音，例如鋼琴、小提琴、笛子等樂器演奏時所發出的聲音。樂音通常由有規則的振動所產生。聽起來吵雜，令人煩悶的聲音，都叫做噪音，例如機車的排氣聲，汽車的急煞車聲等。噪音一般是由不規則的振動所產生。但是樂音與噪音的區分並沒有明顯的界限，樂器，若吹奏不良，同樣會製造噪音。

人耳所感覺的樂音，主要由三個因素所構成，即響度、音調、和音品，稱為樂音三要素。

一、響 度

聲音的強弱程度稱為響度。響度和聲音振幅的大小有關。聲音的振幅愈大，則當聲波傳抵耳膜時所引起的振動就愈強烈，我們所感覺到的聲音也就愈強，例如用力拉弦，使勁打鼓，都是為了使振幅加大，所發出的聲音也隨之變強；反之，輕輕地拉弦或打鼓，則發出的聲音就顯得微弱，那是因為弦或鼓膜的振幅減小的緣故。

聲音的響度通常以分貝做為比較的單位。響度每增加 10 分貝，聲音的強度即增強 10 倍，例如 70 分貝聲音的強度是 60 分貝聲音的 10 倍，80 分貝聲音則為 60 分貝聲音的 100 倍。各種聲音的約略響度列於表 14-2。

表 14-2 各種聲音的響度

聲 音	響度(分貝)
人耳聽覺的下限	0
樹葉的沙沙聲	10
耳語(相距 1 公尺處)	20
清早時的街道	30
教室、辦公室	50
平常的交談聲音(相距 1 公尺處)	60
繁忙的街道	70
上下班時的台北市火車站	80
氣壓鑽孔機(相距 3 公尺處)	90
10 瓦特立體音響唱機(相距 3 公尺處)	110
人耳開始感到痛楚	120
噴射機引擎聲(相距 50 公尺處)	130
太空火箭的引擎聲(相距 50 公尺處)	200

二、音 調

聲音的高低稱為音調。音調和聲音的頻率有關。聲音的頻率愈大，則我們所感覺到的聲音就愈高昂；反之，頻率愈小，則愈低沉。如圖 14-34 所示，將一硬紙片滑過塑膠梳子的尖端，聽聽看！所發出聲音的高低。如果將紙片迅速地滑過去，所聽到的聲音是否較高？如果緩慢地滑過去，則所發出的聲音是否較低沉些？

一般樂器所發出的樂音頻率約在每秒 20 至 4000 次之間。人類聲帶所發音的頻率則約在每秒 80 至 1000 次之間。平常交談時，男聲的頻率約在每秒 95 至 142 次之間，女聲則約在每秒 272 至 558 次之間，所以男人的音調低，女人的音調高。

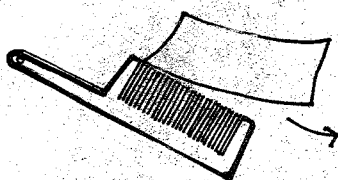


圖 14-34 當硬紙片滑過梳子的尖端時，所發出的聲音高低和紙片滑動的速率有關；滑得快，則音調高；反之，則音調低。

三、音 品

兩種不同的樂器即使所發出聲音的響度和音調完全一致，但是我們仍然可以辨別，這是由於每一種樂器都有它獨特的發音特性，這些特性稱為音品，或稱為音色。

很少樂器能夠發出單一頻率的聲音，大部分樂器所發出的聲音都是由好幾種頻率的聲音所混合組成。其中頻率最低的聲音稱為基音，其餘的頻率皆為基音頻率的簡單倍數，統稱為泛音。不同的樂器即使能發出相同的基音和泛音的頻率，但是基音和泛音的響度比值則各有差異，所組成的聲波波形也不一樣，我們聽起來就會覺得不同。圖 14-35 所示為幾種樂器所發出聲音的波形。

由圖上可看出音叉的波形最為單純，因為音叉振動時，只發出單一的頻率。由於這種發音的特性，音叉通常做為調音的工具。

由以上的討論可知，樂音的音品或音色主要決定於聲音的波形。波形不同，音色也隨之不同。

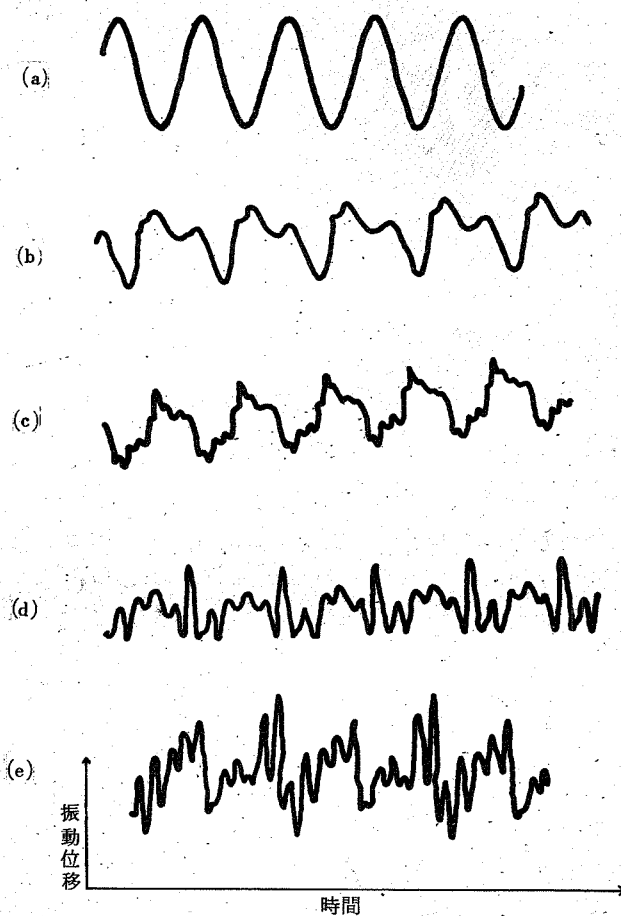


圖 14-35 五種樂器所發出聲音的波形

(a)音叉 (b)長笛 (c)單簧管 (d)雙簧管 (e)小提琴

習題

一、選擇題

1. 下列那一項不是所有波動的特性？

- (1) 波能傳遞能量。
- (2) 波遇到不同種類或狀態的介質時，會發生反射和折射的現象。
- (3) 介質分子的運動方向和波前進的方向互相垂直。
- (4) 波是由於介質受到擾動而產生。

2. 當水波由深水處傳入淺水處時，下列那一項會改變？

- (1) 波的頻率。
- (2) 波長。

- (3) 波的週期。
- (4) 以上各項都會改變。
- 3. 水波的速率和下列那一項有關？
 - (1) 產生水波的振動體頻率。
 - (2) 水波的波長。
 - (3) 水波的振幅。
 - (4) 水的溫度。
- 4. 下列那一項敘述是正確的？
 - (1) 聲波，不管在那一種介質中傳播，一定是縱波。
 - (2) 任何頻率的聲波，不管多高或多低，人耳都可以聽得到。
 - (3) 講話講得愈快，則所發出的聲波就傳得愈快。
 - (4) 大聲喊叫和小聲交談所發出的聲波，其傳播速率皆相同。
- 5. 打電話時，我們可以從聲音中辨認出是那一位親友，主要是依靠下列那一項聲音的要素？
 - (1) 響度。
 - (2) 音頻。
 - (3) 音品。
 - (4) 以上都不是。

二、問答題

1. 當一連續週期波通過介質中一點時，此點必隨著波形的起伏，在其原先平衡位置的左右或上下做往復的運動。下圖所示即為此點之位移與時間的關係曲線圖。試求該連續波的週期、頻率、及振幅。

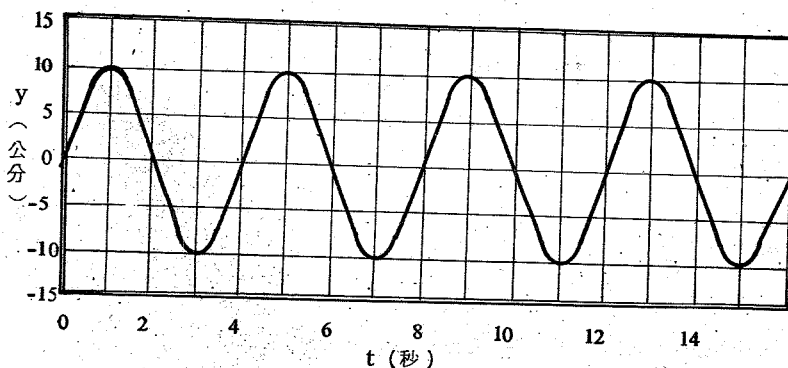


圖 14-36

2. 某人欲利用船上的聲納測量海底的深度，他測出聲波自發出至回收之間的時間差為 2 秒，設當時在海水中的聲速為 1520 公尺 / 秒，試問海底的深度為若干公尺？
3. 若將一頻率為 100 (1 / 秒) 的音叉浸入水中，並用小槌敲擊使其振動發出聲音，試求聲波在水

中傳播時的波長？當聲波由水中傳入空氣中時，其波長變為若干？

（設當時在水中和空氣中的聲速分別為 1500 公尺／秒和 340 公尺／秒）。

4. 當水波由淺水處傳入深水處時，會有什麼變化？
5. 打雷時，當我們聽到雷聲的同時，常可看到門窗隨著雷聲振動，你能解釋其中的原因嗎？
6. 當遠處發生爆炸時，我們先感到地面振動，然後才聽到爆炸聲，這是什麼原因？
7. 月球表面上沒有空氣，所以被稱為寂靜的星球，你能說出為什麼嗎？
8. 什麼是樂音的三要素，它們各自代表什麼意義？

地殼下的活動

一般都認為地球是一個堅固的固體球體，然而實際上地球表面的地殼下，不斷的發生變動，給地殼以壓力，使地殼發生變遷。



雖然科學日益進步，但人類仍無能力抗禦地震的災害，甚且連預知的方法都無法找到。

最初地震儀的發明，是紀元 200 年時代，由中國發明。

其裝置是用一個重的青銅容器，在容器的八個方角上各鑄一龍首，龍首口內置有金屬圓球。當地震發生時龍口內圓球即自行墜下到下方鑄成的承器（蟾蜍）口內。



現代的地震計，則是用的重錘，下端附有一針，懸置在一圓筒上，使針頭抵住鐵筒，當地震發生時，針即在筒上繪



出波狀的線。

地震的震動分二種類，一為予岩石以直接的衝擊，屬於推動的情況，學名稱之為“P”波動，另一種是橫向的搖動，稱之為“S”波動。

“P”波動在地殼內的傳達速度，約為每秒 8 公里；“S”波動，每秒傳達速度約為 5 公里。所以同時在三個設定的觀測所，測出的“P”波或“S”波的到達時間後，即可根據它們的時差，測知正確的地震發生位置。

根據地震計的記錄，只有“P”波動可以傳達地球各部位，而橫波的“S”波，不能在液體中傳達。藉此科學家知道的推論，是：地球內有融熔的“核”是被周邊固體物質地涵所包圍的。

取材自：Frontiers of Science 3：

Introduction to Earth Sciences

——編輯室——