

物理第九冊目錄

第二部份第一講

頁 數

第一章 聲之傳播

A. 課程	1—6
B. 教材問答	6—8
C. 內容摘要	8—9
D. 複習題	9—9
E. 習題	9—10

第二章 聲音振動之引發與傳播

A. 課程	11—18
B. 教材問答	18—19
C. 內容摘要	19—20
D. 複習題	20—21
E. 習題	21—21

第三章 樂音之發出及收聽

A. 課程	22—31
B. 教材問答	32—34
C. 內容摘要	34—34
D. 複習題	34—35
E. 習題	35—35

第四章 聲音傳播之技術應用

A. 課程	36—39
B. 教材問答	39—39
C. 內容摘要	39—40
D. 複習題	40—40
E. 習題	40—41

第一講內容摘要	41—42
---------	-------

第一講內容測驗.....	43—43
聲學測驗題.....	43—43

第二部份第二講

第一講(E) 習題解答.....	45—48
第一講內容測驗解答.....	48—49
聲學測驗題解答.....	49—49

第五章 光在空間之傳播

A. 課程.....	50—54
B. 教材問答.....	55—56
C. 內容摘要.....	57—57
D. 複習題.....	57—57
E. 習題.....	58—58
F. 簡易實驗.....	58—58

第六章 光之反射

A. 課程.....	59—66
B. 教材問答.....	66—68
C. 內容摘要.....	68—69
D. 複習題.....	69—70
E. 習題.....	70—70
F. 簡易實驗.....	70—70

第七章 針孔照像機及反光鏡之造像

A. 課程.....	71—82
B. 教材問答.....	83—86
C. 內容摘要.....	86—87
D. 複習題.....	87—88
E. 習題.....	88—88
F. 簡易實驗.....	88—89

第二講內容摘要.....	89—91
--------------	-------

第二講內容測驗.....	91—91
光學測驗題.....	91—92
第二講內容測驗解答.....	92—93
光學測驗題解答.....	93—94

第一章

聲之傳播

A. 課程

[1] **何謂聲學** 凡能對我們的聽覺引起作用之一切自然現象，都稱為聲音。研究聲音之構成、傳播、接收及其法則的科學，稱為聲音之學，或聲學（源出希臘文 *akuo*，意為“我聽”）。

關於耳朵接收聲音之過程及與其有關之聽覺，近年來頗多研究，但其中若干部份迄未十分明瞭；這雖屬於生理學，亦即研究生命現象的科學之範圍；但聲學之物理探討，仍非涉及吾人之聽覺器官不可。關於此點，我們以後當作更詳明之敘述。

[2] **聲音由振動而成** 我們用兩耳所得之一切感受，皆係由於空氣快速振動所致。根據日常經驗，耳部感受聲音之空氣運動，常係由於固體之快速往復運動或振動所引起。譬如敲鐘、放鎗、打擊金屬板片（鑼）、彈拂鋼琴之弦、二石相撞、音叉尖端之振動、吾入咽頭聲帶之往復顫動均是。

[3] **樂音及噪音** 樂器、鐘、音叉等發出之音為樂音；而車聲麟麟、木葉蕭蕭、山溪嗚咽、濤聲澎湃、夜雨淅瀝、灼鐵遇水之嚇嚇，以及風雨之咆哮等，則均屬噪音。人耳對此種較長時間之噪音作用，較之因短時撞擊而生之噪音如爆炸聲、敲打聲及揮鞭聲等稍能承受。一般言之，噪音之成因，乃由於空氣受到不規則之振動所致，而樂音則係由於很有規律之振動所生。

人類既可發出樂音，亦可發出噪音；母音屬於第一類，子音則屬於第二類。

[4] **聲音在氣體中之傳播** 空氣為自發聲處至人耳間之載播體，此可由下述實驗獲得證明：

首在空氣唧筒之玻璃罩內，置一由發條帶動的發音裝置或電鈴（第1圖），並利用減音材料，將電鈴懸在玻璃罩內，使其聲音無法從與之相接觸的玻璃附近外傳。現在，倘將玻璃罩內空氣逐漸抽去，電鈴聲音便會逐漸變弱，終致完全不再聽見。於此可獲明證，聲音在真空中傳播乃不可能之事。質言之，即聲音之傳播，必須有重量的物質存在才行。由此可知聲音與光不同，因日光或星光是可經過絕對真空的星際空間傳送到地球上來的。



第1圖 置于真空玻璃罩內的電鈴聲音是聽不見的

如在本實驗之玻璃罩中，灌入較空氣為輕之氫氣，結果聲音亦會大為減弱；反之，如灌以較空氣為重之二氧化碳氣，則聲音較空氣更易傳出。至於稀薄空氣之不適於傳播聲音，我們在高山上或四千至五千米高空中之飛機上談話時，很容易察覺出來。

〔5〕聲音在液體及固體中之傳播 液體和固體一如氣體，亦可傳音。例如水即具有特佳之傳音性，故當我們潛水而附近適有輪船經過時，便可聽見其槳葉打水之聲。海軍之水下聲音信號，即係利用水之優良傳音性而發明；此外還有一種所謂“回聲法”之測量測法，也是利用水之此種性質。其法係自船底發出一種聲音信號，復經海底反射回至船底，被裝在船底的接收裝置所收得，即可據以測出海深（參見第53節）。

固體亦能傳音。我們倘將一耳靠在一根長鐵管之一端，便可清晰地聽見他端時錶之滴答響聲；此聲倘經由空氣傳播則是無法聽到的。同樣實驗亦可以木條行之，祇不過聲音比較微弱罷了。但如以鉛管行之，則傳音便會完全失響。於此可見傳送聲音時，亦有所謂良導體及不良導體之分。進一步的研究，證明上述實驗結果確無疑問，並知物體之彈性愈大者，亦愈易傳音。鉛是沒有彈性的，所以也不能傳音。一般言之，舉凡特別疏鬆，內有空氣間隙、缺乏彈性之物體，如鬆土、沙、炭渣、乾草、稻草等等，都是具有減音作用的。又如紡織物及棉花亦為不良傳音體，因之，裝製不透聲之門或牆壁時，均可加以利用。

綜上所述，我們可以這樣說：

1. 聲音之傳播端賴有相當重量之質素存在
2. 質素之彈性愈大者，傳音亦愈佳。
3. 無彈性體可作減音之用。

〔6〕空氣中之音速及其與溫度之關係 我們試於遠距離觀察打樁入土之往復錘擊，即可發現耳聞每一錘擊之聲音，恒較目見之動作要落後些。由此可見，聲音之傳送恒較光之傳播為慢。（光之傳播，需時極短，每一秒鐘可達 300,000 公里，此須由極繁雜之科學實驗，始可測得之。）在同一遠距離發生雷雨時，雷聲入耳恒較閃電入目要遲若干秒鐘。

用一停錶定出遠距離開砲時所發生砲口閃光與耳聞鎗聲之時間差，即可求得空氣中之音速。（在此實驗中，光之極短傳達時間可略，不計。）我們曾根據此一實驗或其他類似之實驗，獲知音速在空氣或其他氣體中，乃隨溫度之增高而稍稍增高。在標準大氣壓（760 厘米水銀柱 $\approx$ 1,013毫巴）及 0°C 時：

$$\text{音速 } c = 332 \text{ 米/秒}$$

而在 15°C 時，音速 c 可增至340米/秒。

上數係表示聲音與傳音氣團相較之速度。當空氣本身以速度 w 迎着聲音傳送的方向或與其相反方向移動時，也就是說在所謂順風或逆風的情形下，我們在地面量得之音速將為 $c' = c + w$ 或 $c' = c - w$ 。但此實無關重要，因風速很少能超過 10 米/秒的。

〔7〕遠處雷雨距離之測定 利用空氣中之音速測定遠處雷雨距離之法，至為簡便，且應用頗廣。其法，係先測定閃電與雷聲之時差為若干秒，再以 340 乘之，所得米數，即為所求之距離。

例：設已測知閃電與雷聲之時差為11秒，則雷雨處之距離便為： $11 \times 340 = 3740$ 米。今若在三分鐘後再度量得閃電與雷聲之時差僅為4秒，即知雷雨之距離已減至 $4 \times 340 = 1,360$ 米。

〔8〕液體及固體中之音速 在液體及具有優良彈性之固體中，音速之增加極為顯著。例如水中音速約為 1,435 米/秒，乃 Colladon 及 Sturm 二氏於 1827 年在日內瓦湖上舉行實驗時所首先測定者。此一數字亦用於上述之回聲法以測海深，惟音速可隨當時之溫度及海水口

份而起變化，此點必要時不可不予計及。

具有優良彈性固體中之音速，則較前者爲高。例如，有人曾用一長鐵管，經由敲擊實驗，測知其音速爲 $c = 5,000$ 米/秒。聲音在鐵中傳播，較之在空氣中不僅顯示更加有力，且更爲迅速。聲音在各種玻璃中之平均音速，亦可高達 $c = 5,000$ 米/秒。

〔9〕固體中音速之公式 由實驗得知，傳音物體彈性愈大者，音速愈高；密度愈大者，音速愈小。一般質素之彈性，係用所謂彈性係數 E 作爲比較標準，其意義在工程上乃指能使截面積 1 平方毫米之各該質素之線伸長一倍之負荷（以公斤表示）而言。此類數字，通常係以遠較公斤爲低之負荷所獲致，因爲否則各該質素之線在伸長一倍之前，早就斷折了。今設以 ρ 表某一質素之密度，則聲音在該物體中

傳播之速度便爲 $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

例：我們敲擊一長鐵管之一端，並依上式求音速之大小。

鐵之彈性係數爲 $E = 20,900$ 公斤/平方毫米，此可由工程界應用之手册中一查便知。又鐵之密度 $\rho = 7.7$ 。但我們首先須將彈性係數化爲物理單位，也就是說，須以達因表力之大小，然後始可求得以厘米/秒表示之速度。在此，我們只要知道 1 公斤之力約等於 1,000,000 達因便行了。其次，就物理學上的量度工作言，彈性係數應以 1 平方厘米，而非以 1 平方毫米爲計算基準，由是鐵之彈性係數便爲 $E = 20,000$ 公斤/平方毫米，或

$$E = 2,000,000,000,000 \text{ 達因/平方厘米。}$$

以上數代入公式，即得：

$$c = \sqrt{\frac{2,000,000,000,000}{7.7}} = 510,000 \text{ 厘米/秒} \\ = 5.1 \text{ 公里/秒。}$$

此數與第 8 節中所述者大致相符，玻璃亦復如此。玻璃之彈性係數 E 雖等於 6,800 公斤/平方毫米，與鐵大不相同，但其密度 $\rho = 2.6$ ，亦與鐵迥異。

〔10〕聲之反射

a) 平面反射

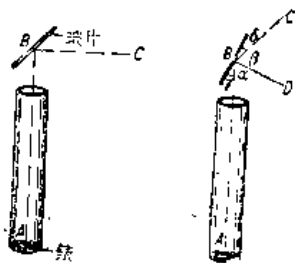
從日常生活經驗中，我們知道聲音遇到牆壁時，一如光線之遇到鏡面，也會反射。聲音垂直遇牆，便循相反方向折回。回聲現象即如此形成。倘若我們向一牆壁垂直呼喊，而三秒鐘後聲音折返，這便表示聲音所經過的路程為3乘340米，或1,000米左右，故觀察者距牆約為500米。我們如欲將接連兩次的聲音分辨開來，則其到達耳朵之時間，必須相距0.1秒以上才行；是以造成回聲之牆壁至少須離開呼喊者

者 $\frac{340 \cdot 0.1 \text{ 米}}{2} = 17 \text{ 米}$ 之遙。如離牆太近，則發出之聲音便會被折回

之聲音所干擾，因而造成餘音之現象。

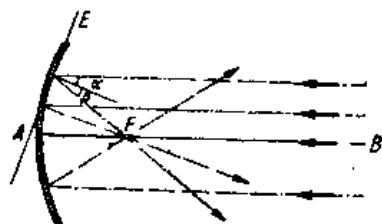
我們倘將聲音傳到某一點上所循之方向，稱之為聲線，如此，我們對於聲音之斜向投射在一牆壁上造成之反射，即不難於了解。我們試作實驗如下：

將一時錶置於一直立玻璃瓶底部A處，錶聲在瓶外是不能聽見的。現在，我們倘在瓶口上方加裝一玻片，使與垂直向上之聲線AB形成45°之角度，作為聲音反射鏡(第2圖)，於是在水平方向之BC線上，便可清晰地聽見滴答之錶聲。我們倘將此反射玻片和AB射線形成之傾斜度予以縮小(第3圖)，那末，反射回來之聲線BC便將偏向上方，且其與鏡面形成



第2圖 聲音在45°玻片上之反射
第3圖 聲音在陡斜玻片上之反射

之角 δ 一定與角 γ 相等。茲設自B點作垂直於鏡面之法線BD，我們便可看出，入射之聲線AB及反射之聲線BC均係與法線BD位於同一平面之內。如將入射線AB與法線BD形成之角 α ，稱之為入射角，將反射線BC與法線BD形成之角 β ，稱之為反射角，於是聲音平面反射之定律便可書如下文：



第4圖 凹面鏡之聲音反射

1. 入射線及反射線與法線皆位於同一平面之內。

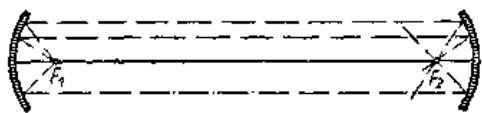
2. 聲音反射時，入射角係等於反射角。

b) 曲面反射

聲音射向曲面時，上述之反射定律亦可適用。第4圖所示，為聲音射向一拋物面或球面，即所謂凹面鏡之情形。我們在此，只要假設接觸平面E已將凹鏡取代，那末，在聲線觸及凹鏡的一點上，作一垂直於接觸平面之直線，使得該點之法線。

一如下文討論光線時所將提到者，此處所有平行於鏡軸AB之聲線，經反射後必定集聚於一點F，是即所謂焦點。反之，所有自焦點F發出之聲線，經反射後必平行於鏡軸AB（第4圖）。

下述之實驗，當可使初學之讀者感到驚奇（第5圖）：先於一木製或金屬聲音反射鏡之焦點F₁處，置一響聲極微之小錶；次之在相當距離處另置一等軸之反射鏡，使與前者相對而立，於是在第二反射鏡之焦點F₂處，便可清晰地聽到原先無法聞及之輕微錶聲。



第5圖 相對而立之二反射鏡，可以說明遠距耳語之原理。

所謂“遠距耳語”之令人驚奇現象，其原理即基於此。有一故事流傳甚廣，據說教堂中常有將懺悔者的座位設在一形似凹面反射鏡之焦點處者，於是好奇者即可在另一焦點處竊聽懺悔者之低語。

[11] 聲音之繞射 從鏡面反射之光線，其服從各有關定律之程度，遠為顯着而易於證明。因為光線具有之直線性，實非進行時多少帶有偏差之聲線所可比擬。例如在一阻音體後，即無明顯之音影存在，可見聲音亦可繞角前進。以後還會提到，光之直線行程，亦會發生偏差。此種所謂“繞射”現象，就聲音而言，即不借助於特殊方法，亦易識別。但為了方便起見，我們對於聲線這一概念最好仍予保持，並於進行計算工作時，不妨當它完全是依照直線放射。

B. 教材問答

師：我們對聲音之一切感受，究以什麼為基礎？

生：我們對聲音之一切感受，皆由空氣中之快速振動所致。

師：此種空氣之振動如何形成？

生：空氣之振動係由固體振動所引起。

師：試舉例說明此種發聲之振動。

生：敲擊之鐘或音叉，以及被拉之提琴弦，此類振動都為聲之產生原因。

師：聲音不能經由真空傳播，僅能藉有重量之質素而進行。這一事實，可用何種實驗加以證明，請描述之。

生：電鈴置於抽成真空的玻璃罩內，其聲不復可聞，便是明證。

師：優良之導音體，主要與何種性質有關？

生：彈性體為優良導音體；反之，非彈性體則具有減音作用。

師：請簡述空氣中之音速測定法。

生：首將開砲時所目擊之砲口火光與耳聞之砲聲間之時間，予以測定。根據測得之聲音傳達時間及其所經之距離，即可算出音速，亦即可算出聲音每秒鐘所行經之途程。

師：空氣中之音速大小若下？其隨溫度而起之變化如何？

生：在標準大氣壓及 0°C 時，音速為 332 米/秒。 15°C 時可增至 340 米/秒。

師：試舉數例說明液體及固體中之音速。

生：例如水中之音速約為 1,435 米/秒。鐵及玻璃中之音速約為 5,000 米/秒。

師：固體中之音速，除彈性外，尚與何種性質有關？

生：物體之密度愈大者，其中之音速愈小。

師：彈性與密度對音速之影響之公式為何？

生：公式為 $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ，式中 E 為彈性係數，而 ρ 則表示密度。

——可否再向老師請教一下，彈性係數究竟是如何求得的？

師：茲設有一根鐵棒，其長為 50 厘米，斷面為 1 平方毫米。如給予以 200 公斤之負荷，它便伸長 0.5 厘米。倘負荷分別增至 400 公斤及 600 公斤，則其伸長數便分別增至 1 厘米及 1.5 厘米。準此，可見

該鐵棒之伸長數乃與受力大小成正比。純粹根據計算方法，當此棒受力為 20,000 公斤時，其伸長數應為 50 厘米，亦即其全長應能增至二倍。事實上這一情形尚未發生前，鐵棒早已斷折了。此一經由計算所求得之可使棒長加倍之負荷力（在此一例中是 20,000 公斤），便是鐵之彈性係數。

現在，尚有另一問題，那便是：對聲音反射適用之各項定律如何？

生：入射線及反射線均與法線位於一平面內，而入射角與反射角則係彼此相等。

師：在一曲面上，可如何求得法線？

生：可假設在投射點處有一和曲面相切之平面，並在此點作一垂直於平面之直線，即為法線。

師：聲音在凹面鏡上反射時，會發生何種特別現象。

生：平行於鏡軸之聲線，經反射後，聚集於一點，即所謂焦點。反之，自焦點發出之聲線，經反射後，必與鏡軸平行。

師：何為聲線之繞射？

生：所謂聲線之繞射，乃指聲音不依直線傳送之事實而言，亦即聲音如遇阻礙，亦可繞角前進。

C. 內容摘要

我們對聲音之感受，乃由於空氣之快速振動所致，而空氣振動，則由於固體振動所引起。

振動如為有規律者，即形成樂音，反之即為噪音。爆炸聲為一種瞬時噪音。

真空不能傳音；聲音之傳播僅能藉有重量之質素而達成。

液體及固體亦能傳音；固體之彈性愈大者傳音亦愈佳。

在標準大氣壓及 0°C 時，空氣中之音速為 332 米/秒；音速可隨溫度之上升而增加。鐵中音速與玻璃中音速恰巧相同，均約為 5,000 米/秒。

固體中之音速，係取決於各該固體之彈性及密度，可由公式 $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 表之，式中 E 為彈性係數， ρ 表密度。

聲音反射時，入射線與反射線均與法線位於同一平面內，又入射角與反射角相等。此定律亦適用於聲音在曲面上之反射。

D. 複 習 題

1. 聲音之學或聲學所致力研究者為何？〔1〕
2. 我們對聲音之一切感受，其原因為何？〔2〕
3. 樂音與噪音之區別何在？又爆炸聲所指為何？〔3〕
4. 何種實驗，可顯示聲音乃藉有重量之質素以傳播？〔4〕
5. 聲音在固體中之傳播，與固體之何種性質有關？〔5〕
6. 何種物體具有減音作用？〔5〕
7. 空氣中之音速如何測定？〔6〕
8. 溫度對音速之影響如何？〔6〕
9. 如何利用音速以測雷雨之距離？〔7〕
10. 固體及液體中之音速如何？〔8〕
11. 試說明固體中音速之公式！〔9〕
12. 回聲如何形成？餘音如何形成？〔10〕
13. 那些定律適用於聲音之反射？〔10〕
14. 聲音在凹鏡上反射時，可發生何種特別現象？〔10〕
15. 何謂聲音之繞射？〔11〕

E. 習 題

1. 設風速為12米/秒，問15°C時 a) 順風，及 b) 逆風之音速各為若干？

2. 設第一次看到閃電後7秒鐘，聽到雷聲，四分鐘後，第二次看到閃電再過3秒鐘，又聽到雷聲；試求雷雨迫近之速度。

3. 聲音在水中傳送10公里需時若干？

4. 設玻璃之密度 $\rho = 2.6$ ，彈性係數 $E = 6,800$ 公斤，試用公式 $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 求玻璃中之音速

5. 倘我們對一山頂大聲呼喊，1.5 秒鐘後可聽到回聲，問森林距峰人多遠？

6. 一艘船距紅塔3海裡（1海裡 = 1,852 米）。倘先由空氣中收到一次聲音信號，再由水中收到一次聲音信號。問水中信號可早到若干秒？

第二章

聲音振動之引發與傳播

A. 課程

〔12〕發聲器之振動 如所週知，一切聲源皆為迅速往復運動或振動之物體。

我們對於一端固定之彈簧鋼片（第6圖）或提琴弦上之振動，雖不可能一一分辨出其振動之過程；但因其運動迅速，却可用眼看見一振動之全貌（第7圖）。

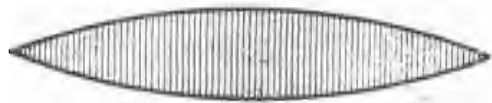
音叉或鐘經敲擊後之振動情形，可藉一擺動之輕球，與之接觸而觀察之（第8圖）。

伸張之皮革或薄膜之振動，一如我們所習知者，可在小鼓或大鼓上撒沙，然後藉敲擊鼓面使之顯示出來。

觀察發聲體振動最佳之法，可用一把尖端裝有細針之音叉，將其敲擊發音後，快速劃過一薰有煤煙的玻璃板上，如



第6圖 一端固定之彈簧鋼片之振動

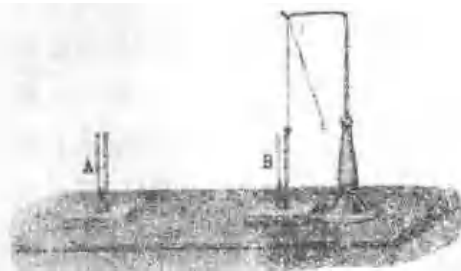


第7圖 琴弦之振動全貌

此即可見有波紋狀之曲線（第9圖）現出。

總之，我們由上述實例觀察得知，凡用作發聲體之物體，必係易於振動者。而易於振動之物體，又皆係彈性物體。所謂彈性物體，乃指受到拉、壓、或其他

種類之力作用時即會變形，但當作用之力一去，不藉外力，又可恢復其原形之一切物體而言。



第8圖 以擺動之輕球證明音叉之振動



第9圖 發聲音叉之振動，在蒸煙玻璃板上劃成波紋狀曲線。

[13] 振動數或頻率 由於簧片、琴弦及音叉等之實驗，我們知道發音體一經敲擊，其振動必將持續一相當長久之時間。其振動幅度或振幅將逐漸減小；惟每秒鐘之振動次數，即所謂之振數或頻率則保持不變。

如就不同大小之音叉、簧片及琴弦比較實驗，並暫不計及其他條件時，將可見到：振動物體之質量愈大者，振動愈慢。每一物體僅具有某一振動數或頻率，而與其振幅大小無關。因之，我們謂每一物體各有其基本頻率。

[14] 音調 人耳為發聲體頻率大小之最佳評定者，能區分不同聲源之振數。每種振動數恆引起一特定之聽覺，此種單一頻率的聲音之主觀性質（即人類對振數多寡之感受，形容此種感受之通用字眼為高、低、中等）稱為音調。

小音叉振動快，故發高音，大音叉則發低音。此理同樣適用於其他發音體。

現在我們可將樂音與噪音予以明確區分了：樂音具一定之頻率；而噪音之頻率則經常變化，故使我們感到一種快速變化之音調。

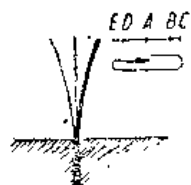
[15] 人耳之聽覺界限 並非每一物體之振動，均可經空氣傳送進入我們的耳中，引起聲音之感受。聲音之可聽性因其頻率而有上下聽覺界限。樂音之可聽者，其頻率最少應為每秒振動16次，而最高頻率為 $n=20,000$ 。此上下界限每人均稍有差異。此外，隨年齡之增加，聽覺上限亦將被減退。音樂中使用之樂音，頻率範圍較小，其最高者約為 $n=4,000$ 。人類說話聲音之頻率約在 $n_1=100$ 及 $n_2=10,000$ 之間。人耳對聲音最佳之靈敏性係在頻率為2,000時，此際雖極輕微之聲音，亦可聽見。

[16] 聲音在空氣中傳播 請各位想像一下，發音體之聲音振動，究係如何經由空氣以入人耳。因空氣完全透明，故我們不能直接觀

察此項傳播過程。然而我們知道，發聲體之振動，首先將促使其鄰接之空氣分子，亦如發聲體本身，往復運動或振動；接着此首被促使運動之空氣分子，再影響其鄰接之空氣分子，如是，振動遂由此一分子傳至他一分子，一而再，再而三，以至無數次之傳播。如無任何阻礙時，聲音將自聲源以已知的音速，像膨脹中的汽球一樣，在大氣中傳播開來。

〔17〕**鼓膜之振動** 如空氣中分子傳分子之振動，傳至我們耳內鼓膜；（所謂鼓膜，即係將外耳與內耳分隔之一層薄膜。）鼓膜亦因之引起相應之振動。由鼓膜振動再傳入內耳，刺激聽覺神經，就會引起聲音的感覺了。

〔18〕**振動過程詳解** 茲再將振動過程作一較詳細之研討，並設鋼片為發聲器。如第10圖所示，鋼片使其鄰接之一空氣分子作同型之振動，該分子自靜止位置A出發，在八個等長之瞬時內完成一全振動，即該分子向兩方運動後，再重回到其靜止位置。該分子之依次位置為A、B、C、B、A、D、E、D、A。各位置之速度以轉向點C及E附近



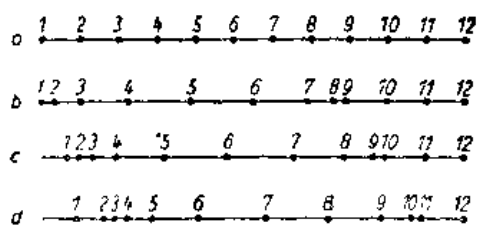
第10圖 振動鋼片使空氣分子A振動

最小，而以通過靜止位置A時最大，因而所行路程BC及DE均較AB及AD為小。完成一完全往復振動之時間，稱為**振動週期**。本例中所述之八段路程AB、BC、CB、BA、AD、DE、ED、DA，每段均係在相等時間內完成，故稱為1/8振動週期。

此振動中之空氣分子，促使其鄰接之空氣分子作相同之振動，然此後來之振動稍遲才會開始。第二空氣分子將其振動傳給第三空氣分子；後者又使第四分子作相同振動，如是依次傳遞，皆作相同之振動。

由此可知，距首先振動之空氣分子愈遠之分子，其振動之開始亦愈遲。

第11圖12個相鄰的空氣分子原為等距離排列，且每一分子之振動，均較其前一分子遲延1/8振動週期。第11圖a所示，為各分子之開始（靜止）位置。第11圖b所示，為假設分子1於一次完成全振動後，回到其原始位置之情形。其鄰接之分子2，因遲延1/8振動週期方開始其振動，故尚未回到原始位置，而其現有位置正相應於第10圖中之D



第11圖 a—d聲波之生成。

- a) 各相鄰空氣分子之靜止位置。
- b) 一次完全振動後之分佈情形。
- c) 遲1/8振動週期之分佈情形。
- d) 遲2/8振動週期之分佈情形。

點，稍後為分子 3，其位置相應於第10圖中之 E點。依次，分子4、5、6、7、8 各各順延1/8 振動週期。分子9 又正在靜止位置；彼將在次一瞬間開始其振動。在觀察之瞬間，各分子之分佈情形有如第 11 圖b所示。

〔19〕空氣之稠密與稀疏

講到這裏，我們應提醒讀者注意一點：由於此種空氣分子的振動，凡是空氣分子受到擠壓的區域，其相鄰區域中的空氣分子，必會比較稀疏。今設各分子之振動各進行1以及2個瞬時（每一瞬時為1/8振動週期），則各分子在振動情況下自皆同時前進。第 11圖c 及 11 圖d，即為空氣分子在此情況下之分佈情形。由第 11 圖a至 11 圖d可知，當各空氣分子就其原位置往復振動時，空氣分子之密區與疏區乃逐漸向右前進，故空氣分子之振動，會使這些密區與疏區自聲源以音速向各方傳播。我們根據其在某瞬時之縱剖面（如瞬時所得之照相）即可窺知空氣之疏密分佈情形，有如第12圖所示之情形然。

〔20〕聲音傳播時之壓力分佈 聲音傳播之假說，亦可用實驗證明之，根據波義耳——馬略特定律，當溫度不變時，定量氣體之體積與壓力二者之乘積亦不變。其公式為 $p \times v = \text{常數}$ 。



第12圖 大氣中聲音傳播時空氣之疏密分佈情形

因此，疏區之空氣壓力低於平衡壓力，密區者則高於平衡壓力。易言之，聲音在空氣中之前進，乃由於壓力漲落之傳播所致。

如想證明此種由高低壓交替形成的壓力漲落是否通過某一點，或聲音能不能傳抵該點，在方法上並無困難。我們只要在該點聽聽有無雜聲，或置一



第13圖 實驗