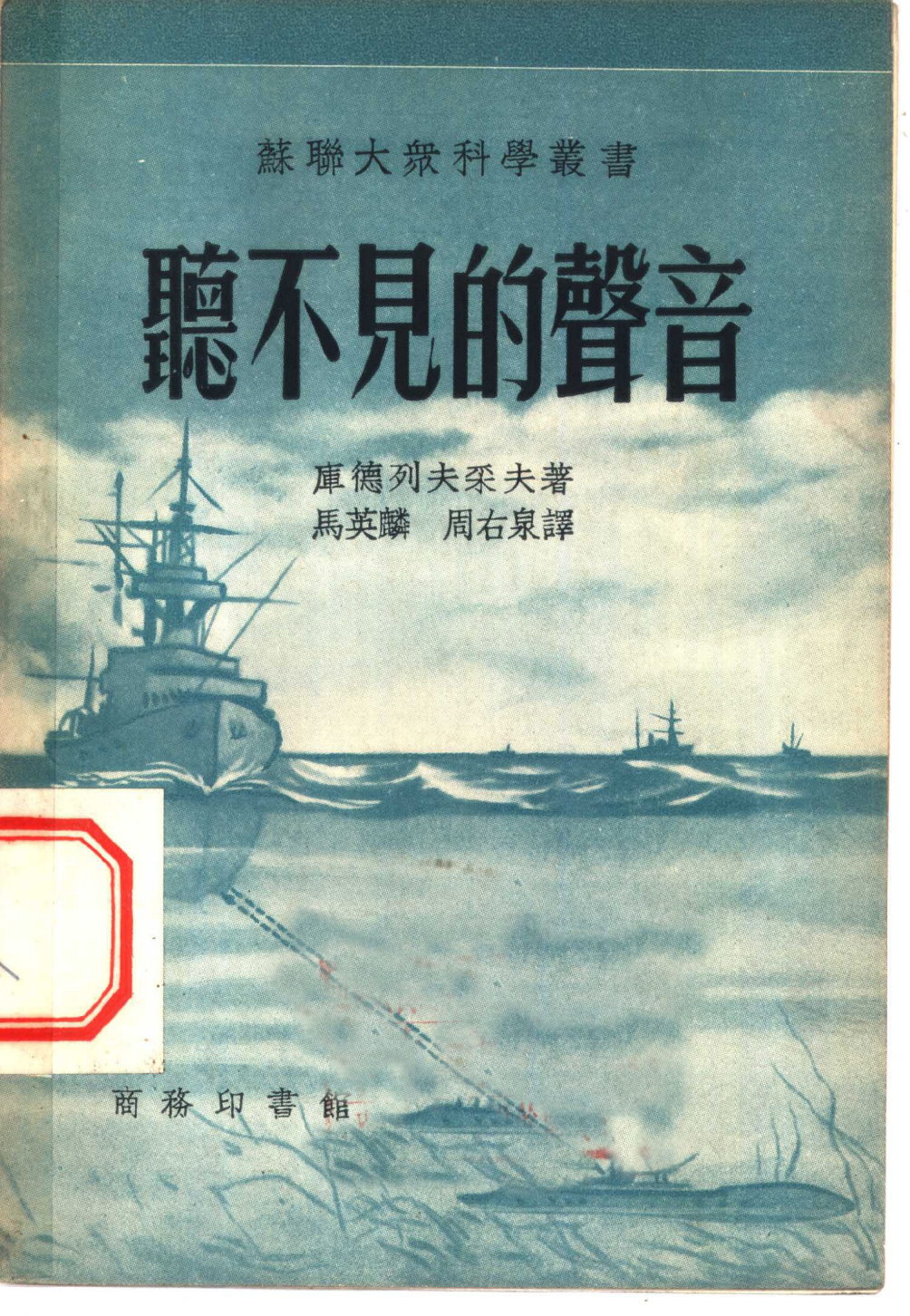


蘇聯大眾科學叢書

聽不見的聲音

庫德列夫采夫著
馬英麟 周右泉譯



商務印書館

蘇聯大眾科學叢書

聽不見的聲音

庫德列夫采夫著

馬英麟 周右泉譯

商務印書館

聽不見的聲音內容提要

聲音是可以聽見的，但是有一種聲音——超聲波，用我們的耳朵是聽不見的。這種聲音不僅在自然界中存在着，而且是可以聽憑人類的意旨來創造，並用來爲人類服務。這本小冊子告訴我們超聲波是什麼，怎樣得到和怎樣應用；也告訴了我們科學上嶄新的器械如聲音檢驗器、超聲波顯微鏡等等，並如何用以作進一步的科學研究。

本書係根據蘇聯國家技術理論書籍出版局出版的“大眾科學叢書”之一“НЕСЛЫШИМЫЕ ЗВУКИ (ультразвук)” 1950年翻譯出的，原著者爲 Б. Б. КУДРЯВЦЕВ 教授。

蘇聯大眾科學叢書

聽 不 見 的 聲 音

馬英麟 周右泉譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一四號

中國圖書發行公司發行

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

(51163)

1953年6月初版 版面字數25,000

印數1—10,000 定價¥1,700

上海市書刊出版業營業許可證出〇二五號

目 次

引 言	1
一 聲音是什麼	2
二 聽不見的聲音	7
三 怎樣得到超聲波	9
四 怎樣聽見超聲波	12
五 超聲波的初步應用	14
六 聲音的化學	17
七 能分割物質的聲音	20
八 聲音檢驗器	23
九 自然界中聽不見的聲音	26
十 超聲波對生物的作用	29
十一 超聲波顯微鏡	30
尾 語	33

聽不見的聲音

引言

我們所在的世界中，有很多種的聲音。那些伴隨着我們生活的聲音每天早晨將我們從睡夢中喚醒。甚至在深更半夜，以為整個世界是酣睡着，萬籟歸於靜寂了，可是如果很注意地聽也可以聽得許多種的聲音：如果你住在城市裏，這或者是遲歸的汽車在遠方馳行的嘈噪聲，或者是構成房屋地板和牆壁的木板的吱軋聲，或者是在靜夜中常聽到的鐘錶的嘀嗒聲，或者是一些難以確定其由來的聲音。在城郊的村野和樹林中，也同樣地有着各種的聲音：在這兒有大吠聲和夜鳥的啼聲，也有夜禽棲止的枯枝破裂聲等等擾亂着黑夜的寂靜。

聲音，在我們對外界的感觸中起着重要的作用。有一次，一個被送到醫院中的病人，他失去了幾乎所有感官的知覺：只有一個眼睛保有觀察周圍事物的能力，還有一只耳朵能聽見發生在近處的聲音；當這個病人閉上眼睛的時候，只消用手蓋住他的耳朵，他馬上就會由於腦子免除了外界所予的刺激而沉入酣睡中。

很久以前，人類的精神生活開始表現在悅耳的聲音組合中，即曲調創造；古時候的埃及人已經有了完備的樂器。人類也早就關心着這個問題，到底他的耳朵聽見的“聲音”是些什麼。有關聲音的科學稱作“聲學”，聲學的初次實驗是著名的希臘哲學家彼發格爾作的，他活在兩千五百年以前，而為現在每個學生所熟知。

人類就在這麼久以前開始研究聲音了。

近些年來，聲音的知識更為珍貴的發現所豐富；人們發現了“聽不見的聲音”，這種聲音被叫作“超聲波”。超聲波與普通的聲音是不同的，它像光線一般，是以狹窄的射線傳播着。超聲波能使一些物質起化學變化，能分裂大的分子，能使水發出螢光，能分割固體與液體物質並能作用於生物體上。

這本書敘述超聲波的性質與特徵，但是在學習它以前，讓我們先來回憶一下有關普通聲音的知識吧。

一 聲音是什麼

要是你去請教書本，書本就會告訴你，聲音是空氣或其他物質的波動。

可是，這個解釋未必能使你滿意。現在要問的是：什麼樣的運動可稱為“波動”呢？對於這個問題我們不妨來作一個解釋。這個問題中有一些東西是你已經知道了的，而某些知識對你將是新鮮的。

每人都看見過圓形的波紋沿着平靜的水面而散佈的情景，這是由於石塊被投入水中才發生的。我們知道當波紋沿着平靜的水面前進的時候，它將是凹凸不平的：一部分升起而另一部分下沉，因此整個水面有着特有的“波浪的”形式（圖1）。所以是由於投入了石塊而在水面上引起了波紋。漂在水上的浮粒會跟着它周圍的水分子運動，我們如果注視這個浮粒，就能看到跑着的水波會使它輪換地上升與下沉。

可能浮粒不只是升沉，還要和向四外散佈的波紋一齊沿着水面移動吧。但是經過實驗以後使我們相信浮粒是不會沿着水面向四外移動的；這是由於水的分子不與波紋一齊沿着水面向外移動，而只是上下的

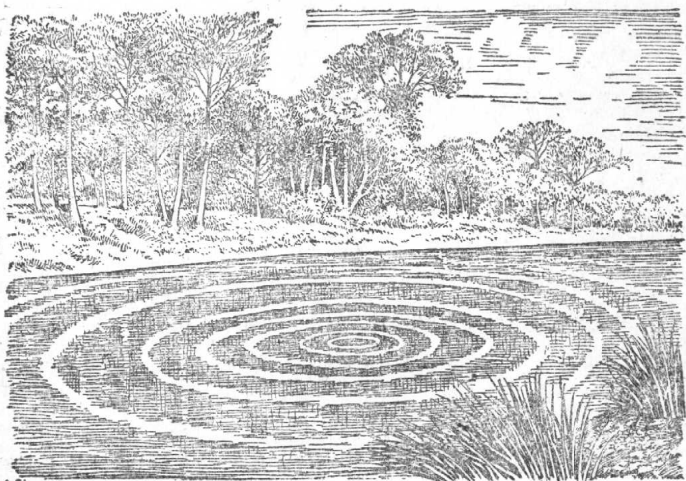


圖 1 投石在水面上激起的波紋。

運動，好像在附近有彈簧限制着它一樣。

我們用普通的儀器也能夠得到這樣的波動。在儀器的金屬軸上等間隔地掛着一排擺子：假如像兒童沿着公園的籬笆走過時常作的那樣以小棍左右返復地撥動這些擺子的頂端，於是排擺子就開始擺動，這時從上面觀查一下，將看到一種圖像（圖 2），也就是我們看到的當石塊落入水中水面上波動的情況。

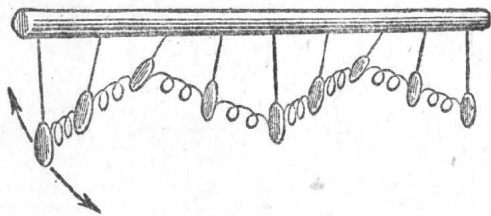


圖 2

當波沿着儀器奔馳傳播時，每個擺子都是永遠和儀器軸上的一個圈定的點聯結着而擺動。

可以用薄橡皮把重的擺子聯結起來。爲了得到波，這時不須用小棍左右返復地去撥動所有的擺子，只須按圖上箭頭方向搖動一個擺子就夠了。這失去平衡的擺子擺動着，藉助於橡皮帶動起鄰近的擺子，於是波就沿着儀器奔馳傳播着。水面上的波恰恰是這樣產生的，是水分子間的凝聚力起着橡皮的作用。

現在的問題是“如果水的分子不沿表面向四外移動，那末在水面奔馳的波中，是什麼在傳播着呢？”答案將是出乎意料之外的：是運動在波中傳播着。

波浪連續傳播下去，原來靜止的水分子即開始運動；但只是上下地擺動而不是隨着波面移動。哪個兒童不喜歡將骨牌間隔很近地排起來，然後向一邊推，來觀查排好的骨牌怎樣迅速地倒下去呢？（圖 8）在這種情況下如同波的傳播時一樣，可以觀測到運動的傳播。或者如物理學中所說的：是相當距離中“衝量”的傳播；在衝量傳播的同時，質點的位置並沒有向前移動或改變。

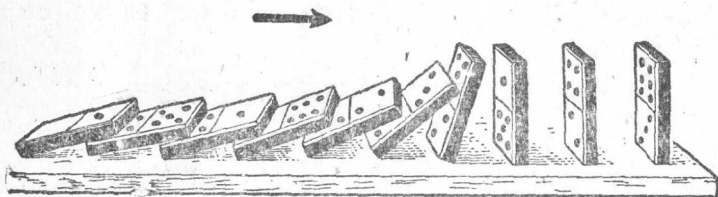


圖 3

兩個相鄰的波谷或波峯間的距離叫作“波長”（圖 4）。顯然地在未

被攪亂的水平面上兩相當點間的距離同樣代表波長。這個距離越短，就是波長愈短，在一定距離中具有的波數就越多。

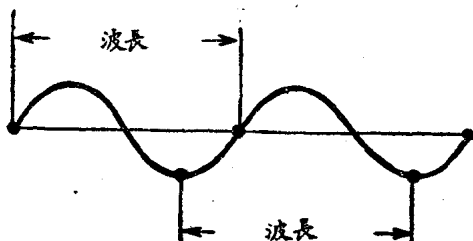


圖4 兩個相鄰的谷間的距離叫作波長。

由實驗我們知道，波從石塊落水處走到岸邊需要一定的時間，波每秒鐘走過的距離叫作“波的傳播速度”。值得注意的是，波長不等的波往往以等速傳播着。這意味着即使短波的谷與峯數比長波多些，但在一秒鐘內它們走的距離是相等的。

波內的水分子在波沿水面向四外傳播時，作着上下的振動。換句話說，分子在與波傳播的方向成垂直的方向運動着，所以這種波稱為“橫波”。

橫波不只發生在水面上，在地震的時候也有這種波傳播着。它的傳播速度很快，可以達到每秒 7.5 公里或每小時 27,000 公里；如在中亞發生地震，發生的波動經幾分鐘後就能傳到莫斯科。

其他種的波也可能存在。

讓我們再要前面已經用過的擺子擺動，並使波沿着儀器傳播。我們使每個擺子都沿着儀器金屬軸的方向，作一次和懸掛它們的擺線成九十度的動作，這個動作要同時完成，以便動作之後它們都順着儀器軸的方向擺動；圖5是表示這時能看到的形象。

每個擺子如以前一樣地前後擺動，可是這時的擺動是和波的傳播方向一致的，因此我們得不到“波形的線”；這些擺子有時在某些地方互相靠近，而在另外一些地方，則彼此離開較遠。擺子的暫時靠近並非停留不動，而是如同波峯在水波中傳播一樣沿着儀器傳播。

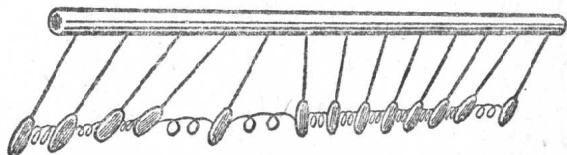


圖 5

將分散掛着的擺子以薄橡皮聯結起來，與前同樣地使任何一個擺子沿着擺排的懸軸擺動，我們也能得這種結果：即又產生了擺子靠近的地方，及擺子互相分離的地方。然而重要的是擺子密部與疏部是沿擺排懸掛的直線移動着。

這時跟水面波的傳播一樣，運動自這一個擺子傳播給另一個，而它自己只在它的懸點近處擺動着。按這種情況來看，這種運動也是波動，不過此處質點擺動的方向與波的傳播方向一致的，這樣的波被叫作“縱波”。

若以小錘敲音叉（圖 6），則音叉臂迅速地振動起來。音叉右臂向右動，它將散佈在它運動途徑上的空氣壓縮，但這種收縮並不停留在在一處，而是在空氣中層層迅速地移動着；當音叉臂向左動時，在它後邊發生了疏層，這個疏層也不是停止不動的，而是隨着密部移動；如果能看見空氣的分子，當音叉開始振動不久以後，可以看到在圖 6 右面所畫的那種圖樣。

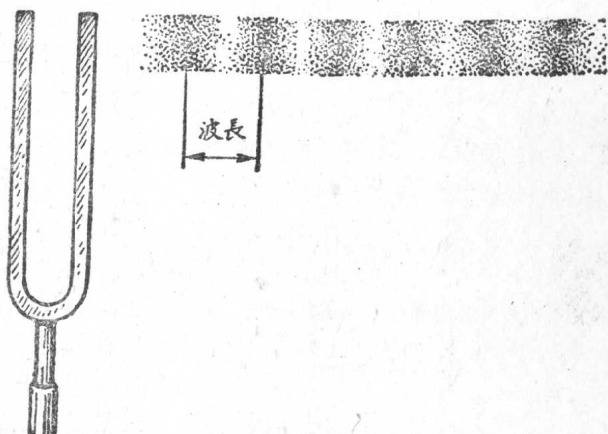


圖6 音波中空氣分子分佈的狀況

音叉在空氣中振動，產生了交互改變的壓縮與稀疏，它們在空氣中形成縱波。

一些堅硬物體如弦、留聲機薄膜及鐘壁等在空氣中振動的時候，同樣會發生這種縱波。相鄰兩個密部或兩個疎部間的距離為“波長”。

上面所說的波在一秒鐘內經過一段距離，這段距離被叫作“波的傳播速度”；空氣的疎密波進入人的耳朵中，作用到聽神經，因此我們就聽到聲音。

二 聽不見的聲音

音叉的臂如不一樣長，它的振動速度也就不同，即每秒鐘內振動的次數不等。這個單位時間內振動的次數叫作“音叉的頻率”。很顯然，

* 參考商務印書館出版蘇斯洛夫著“聲音與聽覺”一書。

頻率不同的音叉每秒鐘在空氣中產生的波數不同，因為聲音在空氣中傳播的速度是不變的，所以很明顯的即這些音叉發生的波的波長也是不等的。高頻率音叉的波長將短些，所以相鄰的密部分佈比較緊湊。

圖 7 說明波的頻率。其中一個頻率為另一個的一倍，於是我們看到，如果頻率大一倍則波長將小一半。

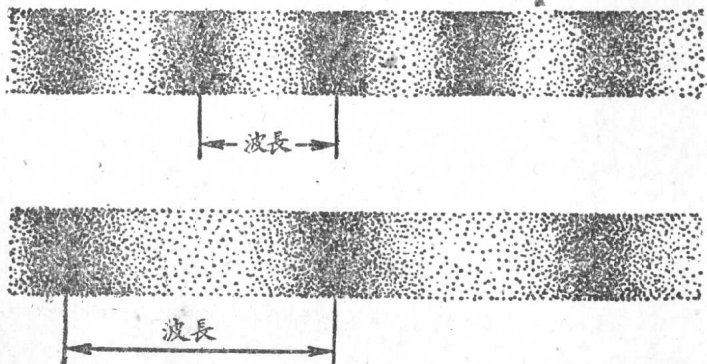


圖 7 分佈在頻率不同的兩種波中的空氣分子。

聲音每秒鐘經過的距離叫作聲速，所以聲音的頻率為聲速距離中的聲波數所決定，聲速除以波長就得到頻率。

很重要的人是類人的耳朵對頻率不同的聲音感覺是不同的。

圖 8 中橫坐標表示聲波的頻率，縱坐標表示耳朵能聽到的聲音的最小強度。於是我們得到圖 8 中所示的連續曲線。當頻率確定以後，如果將聲音的強度增大到一定程度，我們將會聽不見它。這是因為聲音已經使人感覺疼痛；聲音使人感覺發生疼痛的強度是隨其頻率的不同而有區別的。如圖 8 所示：將發生痛覺的音強畫成圖表得到了虛線。人類的耳朵非常敏感，能夠聽到每秒振動次數在 1000—5000 之間的最

弱的聲音。對較高頻率的聲音則只有在它的強度較大時，人耳才能感覺到它。但同時這種較高頻率的聲音在強度比較小的時候，已經能使我们覺得疼痛與壓力了。

如果繼續下去進入高頻率的範圍內，最後將達到這樣一種振動，這時的振動已完全不能被感覺出是聲音；因為在聽見它以前，就使我们覺得壓力或疼痛了。這就是“聽不見的聲音”，或者叫作“超聲波”。

沒有一個顯明的界限用以區分聽不見的與聽得見的聲音。一般說聲音的頻率如超過 20,000 至 80,000 次，我們就聽不見它了。

聲音的頻率在 20,000 次以上，平常就說是超聲波。

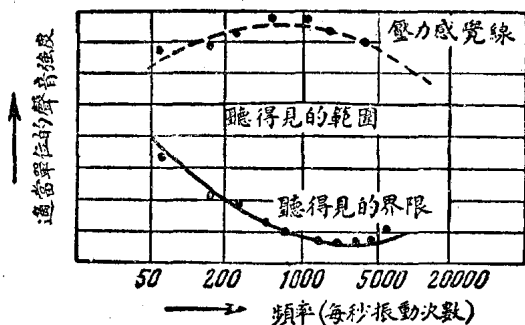


圖 8 聽得見的聲音的範圍。

三 怎樣得到超聲波

雖然科學家早就知道有超聲波存在，但只是在最近發明了獲取它的方法之後，對它有成效的研究和應用才成為可能。這種情況乍眼看來一定會令人驚奇：看起來只要將交流電*通入普通電話筒裏面就可以得

* 關於交流電可參考開明書店出版阿吉洛維契普、蘇延平譯“電流”一書。

到任一頻率的聲音了；但是實際上並不是這樣，這個辦法是絕對得不到超聲波的。

爲了明瞭這個道理可以作一個實驗。在彈簧上固定一個小金屬球，然後將它掛在一把齒朝上的鋸上（如圖 9 所示）。如果慢慢地移動下面的鋸，小球就交互地碰到鋸齒上並落入齒溝中，好像是一起伏一的振動着；同樣，電話筒內的薄膜在電流變換次數不很多的時候，也是這樣振動着因而得不到超聲波。如果很快地移動鋸時，則小球將來不及落入齒溝中，所以在鋸子移動時小球沒有一起一伏的振動。假如我們想用電話筒取得超聲波，則筒的薄膜將發生與上面相類似的現象：薄膜簡直來不及隨着電流的改變而振動，結果是停留不動，這樣也不能得到超聲波。

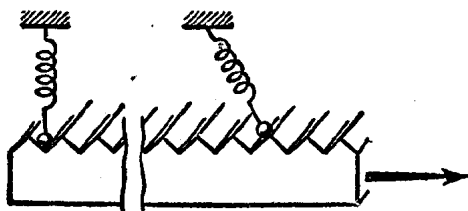


圖 9

爲了得到超聲波常要利用一種現象，即所謂“壓電現象”。*

大家都看見過水晶的結晶體，從水晶切下來的薄片有一種特殊的性質：薄片受了壓縮，就在它的兩個邊緣上出現異性電荷；這就稱爲壓電效應。

如果不“壓”薄片而是“拉”它，它的邊緣同樣也有電荷出現，但這時

* 關於壓電現象可參考商務印書館出版凱達哥拉斯基著、高書平等譯“結晶體”一書。

電荷的符號與前邊發生的則剛剛相反。

按這種方式迭次地對石英片施以壓力和拉力，在它的界面邊緣就引起荷電現象，而電荷的符號在施以壓力和拉力時互相變換。

現在將壓電作用返回去，即將兩種電荷導向石英片的相對兩邊，於是石英薄片的形狀就隨着電荷的變化而發生伸縮。薄片在這一種電荷分佈下將伸長而變得薄些，電荷相反的分佈情況下則將收縮變得厚些。同時薄片的這種變形是能隨着任何頻率發生的。

現在已經確切明白如何應用晶石的這一特性來取得超聲波。只要造成一個裝置：將石英片的表面交替地充電，石英片就將與此變化合拍地改變其形狀；在薄片周圍的物質（如空氣或其它液體）也就發生交互地壓縮與稀疏的波動，或者說生成了頻率相當的超聲波。

石英片上的電荷能自動交替變換。為此將銀鍍在薄片的相對界面上，並將它聯到無線電發送器上（圖 10）；當開動發送器時，薄片上就發生符號交替改變的電荷，它也就使薄片振動，因此就放射出超聲波。第一次以這方法得到超聲波的是蘇聯的友人法國學者郎之萬。

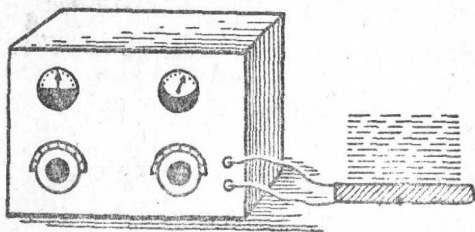


圖 10 石英片振動的時候產生了超聲波。

除了石英以外，鋅片、電氣石、酒石酸鉀鈉以及其他物質的結晶也都具有壓電性。

不久以前蘇聯的物理學家們取得了具有強力壓電性的物質，這些物質的應用無疑地將帶給超聲波科學很多新的成績。

還有別的取得超聲波的方法。有些金屬具有一種特性，即被磁化

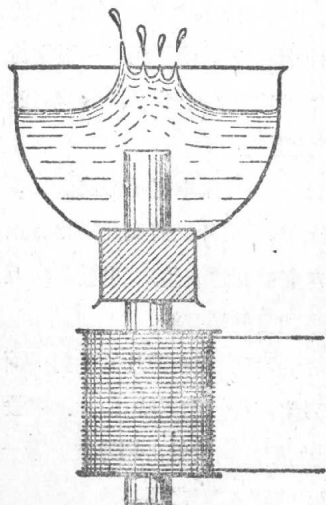


圖 11 鎳軸反復感磁而生成超聲波。

時能改變形態，這種現象稱爲“磁偏”。特別是鐵、鎳及這些金屬的合金，這種性質表現得特別強烈。如果用絕緣電線纏繞在用感磁性物料做成的軸上，將交流電通入導線，電流強度時增時減，則感磁性軸迭次地感磁與退磁，於是它的形態就週期性地改變着。

將此軸穿過一個木塞，這個木塞固定在一個裝滿液體的容器底部(圖 11)，我們將在液體中得到超聲波。用這種方法能得到很强的超聲波振動。

四 怎樣“聽見”超聲波

讀者一定發生這樣問題：怎樣偵察到聽不見的聲音呢？現在科學家設計着各種偵察超聲波儀器。聲音輻射計是最普通的適合這個目的一種儀器。圖 12 表明我們需用的儀器。先是把一根比頭髮還細的金屬絲拉緊，再用它中部鉗結的一段較粗的線作爲橫樑，在橫樑的一端固定輕的雲母遮板。超聲波落到輻射計的遮板上便給它以壓力，於是遮

板發生偏斜，橫樑也隨着微微地扭轉。借着一面與橫樑一同固定在細金屬線上的小鏡把光線反射到壁上，可以察看遮板的迴轉。在觀測光線的移動時，便可以測定迴轉度的大小，迴轉度愈大，就表示超聲波愈強。

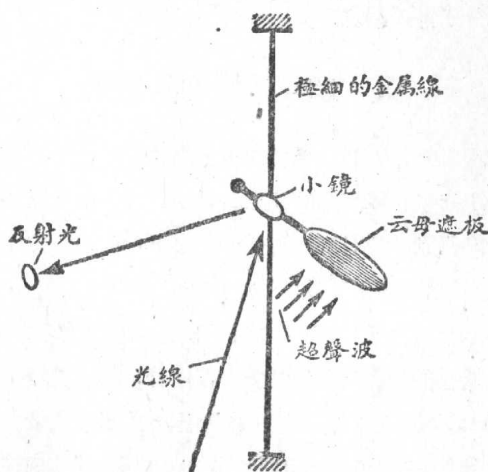


圖 12 聲音輻射計的圖樣。

爲了查知超聲波與測量它的強度，近來常應用一些有壓電性的物質來收取超聲波。這就是在超聲波進行的途徑中放壓電性的結晶片，落到片上的波就引起荷電現象。靈敏度特別高的儀器能測量出電荷的變化和大小，這樣不只能查知超聲波並且還能測定它的強度。

強力的超聲波不能使用任何儀器也可以很容易的覺察到。尋常收取強力的超聲波時，把振動着的結晶片放在盛有不導電液體（例如礦物性油）的容器中；這時候弱的超聲波將在油面上生出波紋，當振動強烈的時候，在超聲波自液體進入空氣的部分得構成高至幾十厘米（公分）的噴泉。