科學圖書大庫

自然科學叢書之二

物 理

(廿至廿三冊合訂本)

湯元吉 主編

徐氏基金會出版

第一編

波之形成、傳播和重疊

第一章

水波之形成和傳播

A. 課　　　程

〔1〕從物理學上解釋，波究竟是什麼？ 我們在本書第二部份第一講中已經得到此一問題之初步答案；在該講中，我們曾經談到聲波之激起及其傳播，並曾連帶的提到過水波、光波和電磁波。

現在，我們要撇開從前的那些解釋而重新探究波動之眞諦了；但事先擬從以往已經討論過的東西當中，再提出一部分來複習一下。各位不妨取出第二部份第一講放在手邊作爲參考之用。我們現在所要討論的，乃是一些相當于高中程度的有關于波在充滿質素之空間及在眞空裡面的問題；也就是要深入地研討波動學，然後逐漸論及其各種不同的應用範疇，如聲波、光波、電磁波等等。

目前，我們且不顧那些各式各樣的應用方式，先將波的本質在物理學上究竟具有何種意義這一問題回答如下：**就物理學上的意義而言，波爲一種振動之傳播。**

〔2〕以水波說明波動 我們在本書第二部份第一講討論聲波時，僅談到它是由於不能目見的空氣分子將振動傳佈開去而形成。當時爲了說明波動之作用，我們曾將日常生活中容易體驗的**水波**爲例。現在，我們仍擬循此途徑討論下去。

先從一種容易在水池表面舉行的觀察開始。我們倘將一塊石頭投入水中，或以一根木棒插進水面，水面上便會形成一道波紋，由原激動處所開始，逐漸擴張成愈來愈大的圓圈；乍看起來，就好像有一個水的淚圈在水面上朝着各方向繼續不斷地推開去一般。

可是這僅係一種不可靠的印象而已；只要我們不為其所迷惑，便在波動學的領域中向前邁進了最重要而最具有決定性之一步了。為此，我們只要在水面上撒布一些小木塊或小軟木塊（最好是一些木屑或軟木屑），便會看出水面上的每一小質點，均會逗留在原有位置上，以水面上不受擾動時之起始位置為中心，而發生一種振動。此種**水面上的振動**係由一個水質點傳給毗鄰的第二個水質點再由第二個水質點傳予毗鄰的第三個水質點，餘類推。因為**這種運動之完成是需要時間的**，所以水面上的某一點距離波動開始之處愈遠，則其被波動所及之時間亦愈晚。

我們在這第一個觀察中所獲得的結果如下：**水波前進時，乍看起來好像是水質點在水面上移動前進似的，實際乃由水質點的振動從激動開始之處傳佈開來的**。

〔3〕**波峯和波谷**　水在波動時，那個顯得好像是在水面上滑行着的隆起部分，我們稱之為**波峯**；而每一波峯後面恒為一凹陷之處，則稱為**波谷**。為了對波峯和波谷之形成以及其向前推進的情形獲得進一步的認識起見，我們且先由水波開始之處，**祗沿着某一定方向來追踪水波之傳播**，結果便是波在一直線上傳播的圖形。

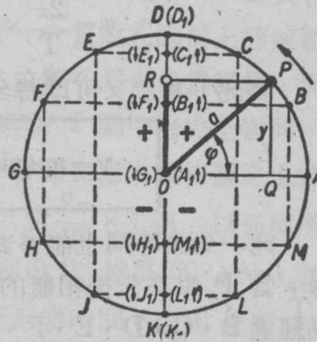
〔4〕**個別質點之振動**　德國的兩位學者**韋伯兄弟**（Wilhelm 和 Ernst Heinrich Weber）曾經在盛着水的玻璃長槽中，從事上述波之直線傳播實驗，以研究水波之性質，並于 1825 年在一部奠基性的著作**“實驗波動學”**中發表其結果。彼等發現，水面上的每一質點以及其附近的其他質點都會在一個固定的圓周上作等速運動。在第 1 圖中，A 為質點 P 之靜止位置。設該質點於 T 時間內歷經B、C、D等點，在圓周軌道上走了整整一週而又回至 A 點，則此一段時間 T 便稱為 P 質點的**振動週期**。又因為該質點在此圓周上是以等速運動歷經A、B、C ……等 12 點前進的，故到達 B 點的時間是在1/12 振動週期（亦即$\frac{T}{12}$秒）之後；到達 C 點之時間則在$\frac{2T}{12}$秒之後，到達 D 點則在$\frac{3T}{12}$秒之後等等。

〔5〕**以直線振動代替圓周振動**　對於水波研究最有關係的一個

問題是，一個質點離開靜止水平面究竟多遠，不論它是升出該水面之上，或是降至該水面之下？在第1圖中，當我們所觀察的質點達到P點時，則此一距離為 PQ＝OR。在 P 點抵達 D 點以前，此一距離總是逐漸增長上去；及至 P 點向 E 和 F 前進時，則此一距離又逐漸減小下去，直至抵達 G 時減至零為止。

當P點繼續繞行，經過 H、J、K、L 和M時，此距離遂變為負值，並且抵達K時之負值為最大。

當 P 點自A開始，以等速度走過B、C、D 等位置時，該 P 點離開靜止水平面 AG 的距離之增減情形是不均勻的。譬如在第1圖中我們就可以看出，此項與P點所經歷之 AB 圓弧對應之距離，計在第一個十二分之一振動週期 T 中是增加了 A_1B_1 這一段，在第二個十二分之一振動週期T中是增加了 B_1C_1 這一段，在第三個十二分之一振動週期T中是增加了 C_1D_1 這一段。但是在第 4 、第 5 以及第 6 個十二分之一振動週期中，此項距離却又順序減少了 D_1E_1、E_1F_1、和 F_1G_1 各段。



第1圖　P點在圓周上等速繞行時，其投影 R 在圓直徑 DK 上之運動。

P 點在圓周上等速廻轉之運動既然是和 P 點在此圓之垂直直徑 DK 上投影的運動對應的，故下文擬即以此項對應之運動代替前者來作為討論之基礎。

我們倘將廻轉點P引至圓心的半徑 OP 稱為**向徑** a（或稱**向量半徑**；向量之拉丁原文為 Vehor＝我移動），則所求 P 點離開靜止水平面AG 的距離，就可以用向徑在圓之垂直直徑 DK 上的投影來表示。

〔6〕**正弦振動**　向徑 OP 和其原始位置間之角，是等速度地逐漸增大的。設以 φ 表此角之大小（按弧度計算），並以 a 表示向徑 OP 之長度，那末當水質點在圓周上繞行時，關于該質點離開靜止水平面的距離y(＝OR)，即可用下式來表示（因⊿OPQ 中 $\sin\varphi = y/a$）：

$$\boxed{y = a \times \sin\varphi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

此項距離，今後我們將稱之為**位移**。因為向徑在振動週期T這一段時間中所經歷之角以弧度表示時，係等于2π之故，所以向徑在每一秒鐘內所經歷之角為$\frac{2\pi}{T}$。由于角φ係在t秒鐘內完成其行程的，故：

$$\varphi=\frac{2\pi}{T}\times t。$$

因此，我們又可以將公式1改書為下列形式：

$$\boxed{y=a\times\sin(\frac{2\pi}{T}\times t)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

此一公式時同也能够表示P點圓周上繞轉時所有投影之運動情形。當P點在先後相繼的每一段十二分之一的運動週期T中，由A點經過B、C、D、E、F、G、H、J、K、L和M後，再回到A時，其投影點R乃先由A_1經過B_1、C_1至D_1，復經E_1、F_1、G_1、H_1、J_1到達K_1，然後再轉過來經過L_1、M_1而回到A_1。在圖上A_1、B_1諸點所附加之方向矢，乃用以表示各該點的瞬時運動方向；而D、K兩處則為瞬時的靜止位置（運動轉向點）。

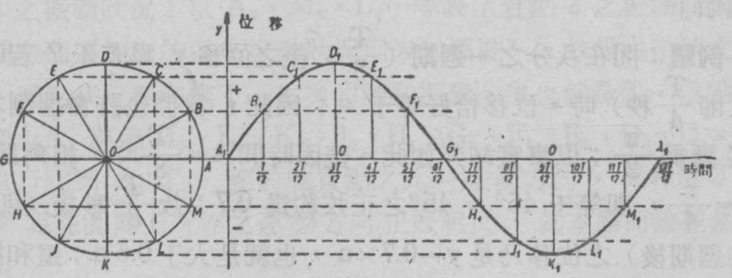
因為我們所重視的是在水質點運動中各質點離開靜止水面的距離，故可從現在起，根據以上所述，用P點在圓周上等速繞轉时的投影之運動，來表示水面上一質點之振動情形。

由于此一隨着時間變化的運動，可用公式(2)的數學表達方式，所以此種形式之振動稱為**正弦振動**。

〔7〕對以往討論過的他種正弦振動之回顧　由此回顧可使我們將一質點在水面上的振動情形，納入一更為廣大之關聯範疇之中，因為在本書第三部份中，我們已經討論過一些基于其他原因所發生的正弦振動了。當時，我們曾以一種具有負荷之螺簧，作為典型之實例。其時所提到的振動角不大的擺的運動，也可算是一種正弦振動。又如我們在聲學裏所提到的激起聲音的彈簧片，發音的絃線，受到敲擊的薄膜等振動，以及空氣分子在傳播聲音時的振動等等，無一不是一種正弦振動（參閱本書第二部份第一講第12及18節）。另有一點需要說明

的，就是除了正弦運動這一名稱以外，此類振動亦常稱爲**諧和振動**。

〔8〕**正弦曲線質點之振動隨着時間而變化的圖形** 如上所述，水質點之振動係用正弦定律（公式 2）表示之，第 2 圖所示，即其在一個振動週期T中之隨着時間而變化的情形。一質點在圓周上等速繞行時，其依次在 t/12、2t/12、3t/12 等秒後之**位移**在圖中係爲**縱標**，而**以時間爲橫標**，故第 2 圖上加註之字母乃與第 1 圖中者完全雷同。至于位移前置符號之爲正爲負，則悉視該位移究在原出發位置之上或下而定，這一點也可從公式 (2) 中看出來。當$\frac{2\pi}{T}\times t$這一以弧度所表示之角由 0 增爲$\frac{\pi}{2}$（如以普通度數表示即由 0° 增爲 90°）時，其正弦值遂由 0 增爲 1。顯而易見的，這種情形當時間 t 由 0 進至$\frac{T}{4}$時（即當時間經歷了四分之一振動週期之意）便會發生。



第 2 圖　正弦振動或諧和振動之圖示

當角$\frac{2\pi}{T}\times t$繼續由$\frac{\pi}{2}$增至 π（如以普通度數表示即由90°增至180°，相當於 t 由$\frac{T}{4}$增至$\frac{T}{2}$）時，則正弦值又由 1 漸減爲零。

等到角$\frac{2\pi}{T}\times t$增大至大于 π（如以普通度數表示，即大于 180°）時，正弦值遂變爲負，並且是：當角$\frac{2\pi}{T}\times t$由 π 增爲$\frac{3}{2}\pi$(如以普通度數表示，即由 180° 增至270°)時，其值乃由 0 減爲 −1；這也就是當時間 t 由$\frac{T}{2}$增至$\frac{3T}{4}$時發生之情形。

又當角$\frac{2\pi}{T}\times t$由$\frac{3\pi}{2}$增至 2π（如以普通度數表示，即由 270° 增

至 360°）時，這也就是說當時間 t 由 $\frac{3}{4}$T 增至 T 時，則正弦值又由 −1 轉變爲 0。若 t 再行繼續增加，則所有情形與上述者相同，又將重演一遍。

$\frac{2\pi}{T}\times t$ 這個角稱爲**相角**，亦簡稱爲**相**。每一時刻的**位移** y 均與相角具有連帶關係。當相角 $\frac{2\pi}{T}\times t$ 等于 $\frac{\pi}{2}$ 時，也就是說，當 $t=\frac{T}{4}$ 時，我們所得到的乃是最大的正位移 a。當 $\frac{2\pi}{T}\times t$ 等于 $\frac{3\pi}{2}$，亦即當 $t=\frac{3T}{4}$ 時，乃是最大的負位移，也就是 −a。

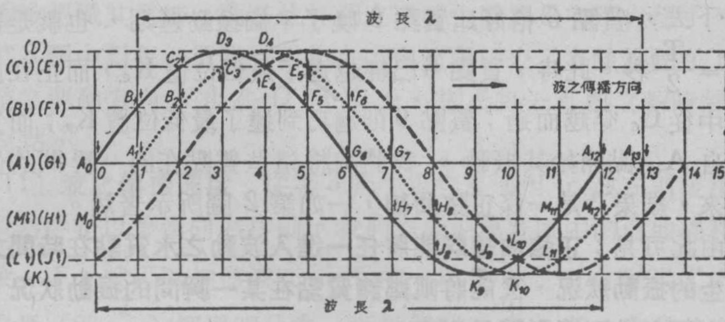
最大的位移a, 亦稱爲**振幅**(源出于拉丁文 amplus＝廣濶，巨大)。

根據公式（2）所述，我們只要將振幅 a 乘以相角 $\frac{2\pi}{T}\times t$ 之正弦，就能得到當時之**位移**y。玆應用公式 $y=a\times\sin\frac{2\pi}{T}\times t$，演算一例題如下：

例題：問在八分之一週期（$\frac{T}{8}$）後之位移 y 爲若干？若時間加倍（即 $\frac{T}{4}$ 秒）時，位移恰好等于 a；因此，我們也許會揣測本題之答案應爲 $\frac{a}{2}$；但事實却非如此。蓋因時間 $t=\frac{T}{8}$ 時，相角爲 $\frac{2\pi}{T}\times\frac{T}{8}=\frac{\pi}{4}$，即等于 45°。45°之正弦約爲 0.7；故 $\frac{T}{8}$ 秒後（即在 $\frac{1}{8}$ 振動週期後）之位移乃是 $y=0.7\times a$，也就是大于 0.5 a；這和第 1 圖與第 2 圖都是相符合的。

第 2 圖所示之曲線是和公式（2）相應的，所以是一正弦曲線。此一曲線之起伏疏密，乃視振動週期所用比例尺之大小而異。但同一曲線亦可用來展示各種不同形式之諧和振動，所以也適用于各種彈性振動、擺動以及空氣質點在傳播聲音時的振動等等。

〔9〕**正弦振動和波形**　第 2 圖中係以一條正弦曲線來表示水面上一質點**隨着時間變化而起之振動狀況**。此項正弦曲線之外形，也就是我們在日常生活中早已熟悉的“**波狀曲線**”。換言之，就是在水波之波前作一垂直截面所獲之圖形。我們如果循着波之傳播方向來追踪毗鄰各水質點之**位移在空間方面之排列情形**，則結果也可得到同樣



第 3 圖　波上相鄰諸質點同時發生振動時在空間方面之排列情形

的曲線。第 3 圖卽係爲此目的而描繪。在此圖中我們可以看到一連串加註 0、1、2、3、4 等數字的質點，循着波之傳播方向以相等之間隔排列在水面上。我們以 A_0、M_0、L_0…等表示水質點 0 之振動狀況（亦卽表示該點之位置和運動方向二者）；以 A_1、M_1、L_1…等表示質點 1 之振動狀況；以 A_2、M_2、L_2…等表示質點 2 之振動狀況（在第 3 圖左面邊框上的這些振動狀況則未加標註）。玆設由于波之激動影響，質點 0 已經完成了一整次的諧和振動，這也就是說，質點 0 可能已經由 A_0 經過 M_0、L_0、K_0、J_0、H_0、G_0、F_0、E_0、D_0，C_0、B_0，而後重行囘到 A_0 了。至於該質點之此一運動方向，係和第 2 圖中所示 P 點在圓周上所作之運動方向正好相反，就本題而論並無關宏旨。

由于質點 0 之運動，水面上的平衡遂被破壞，並使毗鄰之質點 1 亦被牽入同樣的一種諧和振動中，祇不過開始振動得較晚而已；譬如是晚了 $\frac{1}{12}$ 振動週期，也就是遲了 $\frac{T}{12}$ 秒。因此，當我們正在觀察的這一瞬間，質點 0 已經完成一整次振動之時，質點 1 尙未能完成一整次的振動，而是要落後 $\frac{T}{12}$ 秒。這也就是說，此時質點 1 剛好越過 M_1、L_1、K_1、J_1、H_1、G_1、F_1、E_1、D_1、C_1 諸點到達了 B_1 點。接着下去質點 2 又要較質點 1 晚 $\frac{1}{12}$ 振動週期才會進入振動；故在上述之同一瞬間，質點 2 剛好越過 M_2、L_2、K_2、J_2、H_2、G_2、F_2、E_2、D_2 而位于 C_2 點。質點 3 的振動更要晚些，此時它正好越過 D_3 點。這樣

接着下去，質點 6 恰好比質點 0 晚了半個振動週期，也就是落後了 $\frac{6T}{12}=\frac{T}{2}$ 秒。此時，質點 6 已經越過了最低位置 K_6，而正在向上之回程中從 G_6 穿越而過；質點 9 則適巧到達了最低位置 K_9；而質點12則正自 A_{12} 點開始其振動。我們倘將這些質點在同一瞬間的位置連接起來，結果乃是一條**正弦曲線**，一如第 2 圖所示者然。

由此可見：**正弦曲線既能將任一進入波動之水質點在時間方面順序發生的振動狀況，又能將毗鄰諸質點在某一瞬間的振動狀況，就其空間方面之排列情形顯示出來。**

曲線上的 A_0、B_1、C_2、D_3、E_4、F_5、G_6 這一部分稱爲**波峯**，G_6、H_7、J_8、K_9、L_{10}、M_{11}、A_{12} 這一部分稱爲**波谷**。而包括一整個波峯和一整個波谷的那一段距離 A_0A_{12} 則稱爲**波長**，通常係以希臘字母 λ (lamda) 表示之。

〔10〕**水波之傳播**　我們在第3圖中看到的乃是正在振動中的 0 至 11各質點在某一瞬間所發生之位移的詳細情形；這些位移均以原始位置爲基準，而此一瞬間正是 0 質點恰好完成一整次振動，也就是經過 T 秒之後的那一瞬間。至于 12 以次諸質點，此時則猶處于靜止狀態中。第 3 圖中以**點線**繪成之曲線則爲諸振動質點隔了十二分之一振動週期，也就是落後 $\frac{T}{12}$ 秒的空間方面之排列情形。此時，質點0正好完成了一整次振動，進入次一振動之首一階段而到達了 M_0；質點 1 則恰好完成了一整次振動而回到它的原始位置 A_1；質點 2 方始到達了 B_2，猶需 $\frac{T}{12}$ 秒始克完成一整次振動。至于所有跟在後面的3、4、5、等質點，我們祇要認清一項事實就能確定其位置：那就是每一點之振動都要比它前面的那一質點落後十二分之一的週期。譬如說，質點13此時即正在開始其向下之振動。

第 3 圖中之虛曲線所示，爲各該質點於再遲 $\frac{T}{12}$ 秒後，也就是一共延後 $\frac{2T}{12}$ 秒時的情形。各位儘可就第3圖上任一個別質點依此新時刻所完成之運動，非常仔細而有耐性地找出其中的道理來。倘能更進一步，將第3圖上的那些曲線在一張紙上描繪出來，那末，各位對于波之傳佈

必能透澈認識其眞諦，而各位作圖之辛勞也就算是有了代價了。

第3圖中對每一質點所附加之方向箭頭係表示各該質點在下一瞬間所循之運動方向。但在 D 和 K 上，則爲每一質點之瞬時靜止點或轉向點。

〔11〕**波之傳播速度** 從第3圖中很容易看出，波在前後相繼的時間段落中是以等速向右移動。我們只要把第3圖中的虛曲線和實曲線比較一下，就可以知道波在$\frac{T}{12}$秒的一段時間是向右前進了十二分之一波長（即$\frac{\lambda}{12}$）；經過四分之一振動週期（$\frac{T}{4}$）後，它是前進了四分之一波長$\frac{\lambda}{4}$；經過$\frac{T}{2}$後，前進了$\frac{\lambda}{2}$；經過$\frac{3}{4}$T 後，前進了$\frac{3}{4}$$\lambda$ 等等。所以在 T 秒之一段時間中，也就是說在各個質點的一整個振動週期中，它恰好前進了一整段波長 λ。因此，**波在 1 秒鐘內的行程（我們稱之爲波速）**遂爲：

$$c=\frac{\lambda}{T}$$

設以 n 表示**一秒鐘內所發生的振動次數**，即所謂**振動數**或**頻率**（源出拉丁文 frequens＝頻繁的），則每一次的振動即需歷時$\frac{1}{n}$秒之久，其理至爲顯明。但此項時間又等于振動週期 T，故$T=1/n$或$n=1/T$；因此上列公式遂可改書爲

$$\boxed{c=n\times\lambda}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

我們所得到的此一公式實爲**各種波動之基本公式**。如以文字來說明，則爲：

波之傳播速度等于頻率乘波長之積。

由公式（3）又可以得到

$$\boxed{n=\frac{c}{\lambda}} \quad 和 \quad \boxed{\lambda=\frac{c}{n}}。$$

例題 1：設標準音 a 之頻率爲 n＝440 赫芝，問應如何根據音速（在 15°C 時等于 340 米／秒）來計算該樂音 a 之波長？

$$\lambda=\frac{340}{440}=0.77 \text{ 米}$$

例題 2：已知黃色鈉光之波長 λ 爲 $0.589\ \mu$（$1\mu=\frac{1}{1,000}$ 毫米 $=1$ 微米），問其頻率爲若干？

設光速按 300,000 仟米／秒計算，可算出黃光之頻率爲 $n=\frac{300,000}{0.000000000589}\approx 500,000,000,000,000\approx 500\times10^{12}\approx$ 每秒鐘 500 萬億次。

通常係以**赫芝**（Hertz, 簡寫爲 Hz）**爲頻率之單位**。譬如頻率 n＝440 Hz，即係表示每秒鐘內發生 440 次之振動。除赫芝以外，尙有較大單位之仟**赫芝**（Kilohertz，簡寫爲 kHz），1kHz＝1,000Hz。

據此，上題中黃光之頻率爲 n＝5 千億仟赫芝。

〔12〕**振幅和波高**　從第 2 圖和第 3 圖中還可以看出一項事實，就是波高或波深胥視振動質點的向上或向下之最大位移而定。這種在第 7 節中亦曾提到過的最大位移，普通稱爲**振幅**。此一振幅實與公式(2)中 a 之大小完全一致；也就是波峯之高爲 a，而波谷之深爲 －a。

B. 教材問答

師：物理學上所謂的波，指的是什麼？

生：物理學上所謂的**波**，乃指**各式振動作用之傳播而言**。

師：何種簡易實驗，可以具體說明振動作用之傳播以及增加我們對于波的本質之瞭解？

生：用棒插入水中或在將石塊投入水中，就可以在水面上造成波之運動。接着將細碎木塊或軟木塊撒在水面上，便能看到個別質點如何在原處上下振動，以及此一振動如何由一個質點緊接着另一個質點地傳播開來的情形。質言之，乍看起來，就好像有一隆起之物循着波之傳播方向在水面上向前移動似的。但實際上，全部水質點並未離開原處，祇不過發生了振動而已。所以就波而言，並非有水質點在向前移動，而實在祇是**水質點之振動在水面上傳播開來的一種現象**。

師：所謂**波之“直線”傳播**，應作何解釋？

生：水池表面上的波動是由激動處所開始，以許許多多同心圓朝各方向傳播開來。倘僅從某一定方向追踪此一過程，那就可以看到所謂波之直線傳播情形。

師：那些聞名的有關波之直線傳播的實驗是各位所熟悉的？

生：**韋伯氏兄弟**（Wilhelm 和 Ernst Heinrich Weber）即曾在裝了水的長玻璃槽中從事于波之直線傳播的實驗。

師：**韋伯氏實驗**的重要**結果**爲何？

生：他們發現，凡是參預波之傳播的水質點均在從事一種持續的圓周運動。

師：我還要挿入一小段的補充說明來修正你的答案；那就是：在**韋伯氏實驗**中，祇有水面上的質點才是在一圓周上運動；至于那些位于水中較深之處的諸質點，其軌道則顯得要扁平些，故均成爲橢圓形。在更深之處，這種橢圓形的軌道終至變成直線的水平軌道（參閱第 19 節之第 7 圖）。過去我們所注意的祇限于表面質點的軌道；至于我們當時對這種軌道特別留心的是什麼，你還記得嗎？

生：我們當時對這些質點的運動，祇注意了它們的起伏情形，也就是說祇注意了這些質點和靜止水面間之距離的變化情形。

師：如此說來，我們對于水質點環繞圓周所作之等速運動，是用何種方式來研究的呢？

生：我們曾將一質點環繞圓周而行的軌跡投影在垂直的直徑上，接着就研究了該投影點之運動。

師：水質點在圓周上的實際運動和其投影點在垂直直徑上的運動究有何不同之處？

生：質點在圓周上繞行的運動乃是等速運動，而**投影點之往復運動則爲不等速的直線運動**。

師：波上各水質點之振動爲何可以稱爲**正弦振動**？

生：因爲在一整次振動中，這些水質點離開靜止水面的距離，其變化是和一個由 0° 增至 360° 之角（以弧度角表示時，則爲由 0 增至2π）的正弦一樣的。

師：**就一振動之水質點言，其離開靜止水面的距離變化**可用何一

來**公式**來計算？

生：適用公式 $y=a\times\sin\left(\frac{2\pi}{T}\times t\right)$。式中之 a 爲**最大之位移**或**振幅**；T 爲**一整次振動所歷時間**或**振動週期**；t 爲從振動開始算起所經歷之**秒數**或其分數。

師：除了"正弦振動"這一名稱外，尙習用何種其他的名稱？

生：此種振動亦稱爲**諧和運動**。

師：波上水質點之振動僅爲正弦振動或諧和振動之一例而已，除此以外，尙有許多其他的例子；請加舉述！

生：諸如螺旋彈簧受到負荷時的振動，彈簧片於激起聲音時的振動，弦在發音時之振動，鼓膜受到敲擊時之振動以及傳播聲音時空氣分子之振動等均屬于此種振動。

師：**正弦曲線**用作說明正弦振動時可完成**那兩種任務**？

生：正弦曲線既能將任一**進入波動之水質點在時間方面順序發生的振動狀況**，又能將毗鄰諸質點的振動狀況，**就其空間方面之排列情形**顯示出來。

師：**水波**怎會**前進**的？

生：每一振動之水質點均能使其毗鄰之另一質點進入同一振動（此一振動之開始時間要稍稍落後）。該毗鄰質點又可對相繼之另一質點引起同樣的振動；因此，在波之傳播方向上的一長列質點中，逐一個接着一個的受到振動之侵襲。

師：所謂**波長**，指的是什麼？

生：波長乃指包括一整個波峯和一整個波谷之長度而言。

師：你雖沒有答錯，但是爲了將波長解釋得更爲廣義起見，我們可以這樣來說明：**波長乃指在同一波狀曲線上具有同一振動狀況之相鄰二點間的距離**而言，譬如第 3 圖中 A_0 和 A_{12} 之間或 A_1 和 A_{13} 之間的距離卽其例也。此外，我們在波長 λ，頻率 n 和波之傳播速度 c 之間可以求得何種重要的連帶關係？如以文字表示，應如何說出此種關係？

生：有關公式爲

$c = n \times \lambda$；

如以文字說明，則爲：**波之傳播速度等于頻率乘波長之積**。

C. 内容摘要

從物理學上解釋，波是振動之傳播。

所有關於波之傳播的例子中，要算水池表面上的波最爲明顯，並且在日常經驗中也最易于領悟。

我們倘將細木屑或軟木屑撒佈在水池的水面上，即能顯示一項事實，那就是**每一質點均將從事于一種升降的振動**；乍視之下，就好像有一突出之物從水面上越過似的；但此一初步之印象，實係由於一種錯覺所造成。

水質點之振動，係由一質點傳與另一質點而擴展開來的，實際上，水本身並沒有向前移動。

兩位德國學者**韋伯兄弟**曾經在裝了水的長玻璃槽中從事實驗，指出當水波動時水面上的質點乃是以等速度繞着圓周而運動的。

因爲運動中的質點在某一時間內離開靜止水面的距離究有多大，才是我們關心的問題，所以**我們才不去研究質點在圓周上的運動，而去觀察它在垂直直徑上的投影。這種循着垂直於水面的方向而直線進行的振動乃是一種不等速運動，至於沿着圓周而進行之運動則是等速的**。關于振動質點離開出發位置之距離，可以下列公式表示其變動情形：$y = a \times \sin\left(\frac{2\pi}{T} \times t\right)$。式中之 a 代表**振幅**，T 代表**振動週期**，t 爲從振動開始算起所經歷之**時間**。

根據這一振動定律，可見水質點受波動襲擊時所發生之振動乃是一種**正弦振動或諧和振動**。另如彈性螺簧之振動、擺之振動、發音體（彈簧片、弦線、鼓膜）之振動以及空氣質點在傳播聲音時的振動等都是正弦振動。

個別水質點在時間方面順序發生的振動狀況，或是毗鄰諸質點振動時在空間方面之排列情形，若以圖形來表示時，結果均爲**一正弦曲線**。

波動之所以能够傳播開來的原因，乃由于每一振動質點均能將其振動傳給毗鄰之另一質點所致（後者之振動稍遲始能開始）。因此，振動遂以此種方式被一質點接着另一質點的遞傳下去，而形成之波峯和波谷也就跟着愈傳愈遠了。當一質點完成一整次振動時，振動恰好前進了一波長 λ 之遠。在一秒鐘內如果發生了 n 次振動時，則振動過程在1秒鐘內所傳播之距離為 $c=n\times\lambda$，故此一距離也就是**波之速度**。此一基本公式，對于各種形式之波動都是適用的。

D. 複　習　題

1. 試從物理學的觀點，解釋波究竟是什麼！〔1〕
2. 觀察水波時，我們可以得到何種啓示？〔2〕
3. 觀察水波時，我們每易獲致何種錯覺？〔3〕
4. 試述**韋伯兄弟波動實驗**之結果！〔4〕
5. 我們討論水質點受到波動襲擊所發生的圓周運動時，曾將其如何予以簡化？〔5〕
6. 又曾獲得何一振動定律？〔6〕
7. 除了水質點之振動以外，還有那些方式的振動屬于正弦振動或諧和振動？〔7〕
8. 這些振動可如何予以圖示？〔8〕
9. 以正弦曲線表示水質點在波動中的振動情況時，它能充任那兩種任務？〔9〕
10. 水波是如何傳播開來的？〔10〕
11. 對各種形式之波動均能適用之基本公式為何？〔11〕

E. 習　　題

1. 設一正弦振動之相角為 30°，若以弧度來表示此角，則其大小如何？
2. 設一波動具有之振幅為 $a=10$ 厘米，問十分之一振動週期 $(\frac{T}{10})$ 後之位移為若干？

3. 設有一音，其頻率為 $n=1,000$ 赫芝，由 15°C 之空氣裏進入水中。若在 15°C 空氣中之音速為 340 米／秒，在水中之音速為1,435米／秒，問該音之波長於其由空氣進入水中時將發生何種變化？

4. 試說明同一正弦曲線為何也能把相鄰諸水質點之振動狀況就其空間方面之排列次序反映出來？

5. 試解釋波是如何傳播的！

6. 紅色光線之波長為 $\lambda=0.8\mu$，試算出其頻率為若干？

F. 簡易實驗

1. 請各位前往最近的池塘旁邊，將木屑撒在池塘表面（限于一小範圍），並激起水面之波動，然後觀察振動蔓延開來的情形，以便證實每一質點都是以其原來位置為中心從事振動的。萬不得已時，各位亦可利用盥洗盆或浴盆來從事此項實驗。

2. 在上述實驗中，請各位試對頻率之大小作一估計，量一量波之速度，然後將波長計算出來。

3. 水波並無一定的傳播速度，是它和聲波與光波不同之處。長波之傳播要比短波之傳播快得很多。關于這一點，各位不妨在池塘邊試一試看！

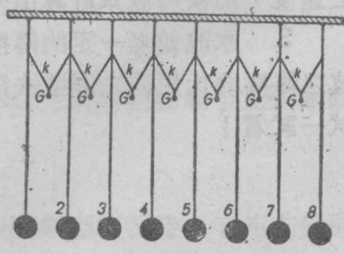
第 二 章

波的概念之推廣

A. 課　　程

〔13〕**擺振動時的波之傳播**　關于水波，我們雖已認淸它是由于水質點從事振動和傳播而產生；但因我們所關心的僅爲水質點離開水面的**位移**大小問題，所以才以質點循着水面的垂直方向進行之振動來代替其在圓周上的等速運動作爲硏究對象，並將這種運動當作正弦振動或諧和振動來處理的。

但這一類的振動不可能總是循着垂直方向發生的。譬如**擺之振動**即非如此。擺之振動若是不大時，則我們卽可將其視作一種在水平線上發生的振動。第 4 圖所示，爲**一列長度相等，因此振動週期亦係相等的擺**。我們倘依相等的時間距離次第引起第一擺至第八擺各自振動，並使每一擺之振動狀況比它前面一個落後一振動週期之某一分數(例如十二分之一)，那末這些擺球在空中每一瞬間的分佈情形又和水質點之振動一樣，就可用一波狀曲線表示出來；此卽我們已經認識了的正弦曲線，祇不過此一曲線這一次並非位于一個垂直的平面上，而是位于一個水平的平面上而已。



第 4 圖　由耦合之擺振動產生的波

同時，我們還會注意到一點，那就是在相繼的時間段落中，此一波狀曲線會連同那相應的波峯和波谷之起伏，以某一速度向前移動，質言之，卽按基本公式 $c=n\times\lambda$，在一整次振動週期中，前進一整段波長 λ。

〔14〕**波動中振動之耦合**　上述擺振動的波，是由依次輕輕撞擊各擺而產生的。但是在第 4 圖所示的這種裝置中，祇要使第一個擺進