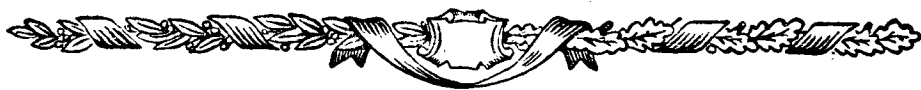


物理光學基礎

F. A. Jenkins and H. E. White 著
清華大學物理系譯

商務印書館



物 理 光 學 基 礎

F. A. Jenkins and H. E. White 著
清 華 大 學 物 理 系 譯

商 務 印 書 館

F. A. Jenkins and H. E. White
Fundamentals of Physical Optics

物 理 光 學 基 礎

清華大學物理系譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(52193)

1953年4月初版 1955年4月3版

印數3,501-4,700 定價2.30元

3/5/58/27

譯 序

甄、懷二氏的“物理光學基礎”是一本從實驗出發講物理光學的很詳盡的書。爲滿足目前迫切的需要，我們認爲很值得推薦它作爲大學三年級光學課程中物理光學部分的教本或主要參考書。

這本書是 1950 年起始翻譯的，根據的版本是“Jenkins and White, Fundamentals of Physical Optics, 1937, 第一版”。當時清華大學物理系採用這本書作教本，由擔任授課的教師協助同學們翻譯了一部分，隨後由余瑞璜教授、葛庭燧教授、孫瑞蕃先生、孫信先生及燕京大學物理系擔任講授光學的何怡貞教授共同把其餘部分譯竣。在翻譯過程中因爲經過了許多次大運動，又因爲這本書有新版書出版，所以經過兩年才行完稿。爲滿足下年度光學教材的急需，我們決定仍照原定計劃把物理光學部分出版，與我系所譯的杜魯德著“幾何光學”配合，作爲一部整體的光學課本。

舊版書中有些錯誤和講解不清楚的地方，曾經按照新版書校正過。有些圖換用了新版書中的附圖。全部譯稿會由葛庭燧教授整理過一次。

我們誠懇地希望讀者們予以批評和指正。

譯者 1952 年 6 月於北京清華園。

目 錄

譯序

第一章 光當作一種波動..... 1

§ 1.1 週期運動 § 1.2 波動 § 1.3 簡諧波 § 1.4 波的速度
§ 1.5 波長 § 1.6 都卜勒效應 § 1.7 振幅 § 1.8 波的反射和折射

第二章 波的疊加.....30

§ 2.1 沿同線的簡諧運動的相加 § 2.2 振幅的向量加法 § 2.3 兩個同頻率波列的疊加 § 2.4 許多無規則週相的波的疊加 § 2.5 複波 § 2.6 傅立葉分析 § 2.7 羣速度 § 2.8 波速度和羣速度的圖解關係 § 2.9 互成直角的簡諧運動的相加

第三章 兩束光的干涉.....56

§ 3.1 惠更斯原理 § 3.2 楊氏實驗 § 3.3 雙光源所形成的干涉條紋 § 3.4 條紋區內的強度分佈 § 3.5 費涅耳雙稜鏡 § 3.6 費涅耳雙面鏡 § 3.7 相干光源 § 3.8 羅埃鏡 § 3.9 比累剖開透鏡 § 3.10 邁克耳孫干涉儀 § 3.11 圓條紋 § 3.12 定域條紋 § 3.13 白光條紋 § 3.14 邁克耳孫干涉儀的應用 § 3.15 用干涉法量折射率

第四章 由多次反射而生的干涉.....87

§ 4.1 平行平面膜上的反射 § 4.2 透射光線的干涉現象 § 4.3 厚度不均的薄膜 § 4.4 牛頓圈 § 4.5 法卜利-白洛干涉儀

(1)

§ 4.6 海定格條紋的銳度 § 4.7 法卜利—白洛干涉儀及標準具的應用 § 4.8 魯麥—革爾克板

第五章 單開口所引起的方和斐衍射 111

§ 5.1 費涅耳和方和斐衍射 § 5.2 單縫所引起的衍射 § 5.3 單縫衍射花樣的進一步研究 § 5.4 振幅的圖解法與振動曲線 § 5.5 矩孔 § 5.6 矩孔的分辨本領 § 5.7 稜鏡的分辨本領 § 5.8 圓孔 § 5.9 望遠鏡的分辨本領 § 5.10 顯微鏡的分辨本領

第六章 雙縫 136

§ 6.1 花樣的大概情形 § 6.2 強度方程式的推導 § 6.3 單縫花樣和雙縫花樣的比較 § 6.4 干涉和衍射的區別 § 6.5 最強和最弱的位置·缺級 § 6.6 振動曲線 § 6.7 白光條紋 § 6.8 光縫並不極窄時所生的影響 § 6.9 邁克耳孫星體干涉儀

第七章 衍射光柵 155

§ 7.1 縫數增加時所生的效果 § 7.2 強度的普遍方程式 § 7.3 主最強 § 7.4 最弱和次最強 § 7.5 用光柵形成光譜 § 7.6 色散 § 7.7 級的交疊 § 7.8 主最強的寬度 § 7.9 分辨本領 § 7.10 振動曲線 § 7.11 刻痕光柵的製造 § 7.12 鬼線 § 7.13 用光柵測波長 § 7.14 凹光柵 § 7.15 光柵的架法 § 7.16 階梯光柵

第八章 費涅耳衍射 185

§ 8.1 影 § 8.2 費涅耳半週期帶 § 8.3 圓孔衍射 § 8.4 圓屏衍射 § 8.5 波帶板 § 8.6 圓分波陣面所得的振動曲線 § 8.7 柱形波陣面 § 8.8 費涅耳積分 § 8.9 條分法所得的振動曲線·科紐蜷線 § 8.10 直邊緣 § 8.11 光的直線進行 § 8.12 單縫

§ 8.13 費涅耳積分在解決衍射問題中的應用	§ 8.14 不透光窄條所生的衍射	§ 8.15 雙縫
第九章 光的速度	217	
§ 9.1 呂麥法	§ 9.2 布喇德雷法·光行差	§ 9.3 菲索地上測定法
§ 9.4 旋轉鏡法	§ 9.5 邁克耳孫的後期實驗	§ 9.6 真空改正
§ 9.7 一英里長的抽空長管實驗	§ 9.8 克爾盒實驗	§ 9.9 間接法
§ 9.10 靜止物質中的光速	§ 9.11 在運動物體中的光速	§ 9.12 費涅耳曳引係數
§ 9.13 艾瑞實驗	§ 9.14 觀察者的運動所生的效應	§ 9.15 邁克耳孫—莫雷實驗
§ 9.16 相對性原理		
第十章 光的電磁性質	245	
§ 10.1 光的橫向振動性	§ 10.2 在真空的麥克斯韋方程式	§ 10.3 位移電流
§ 10.4 平面電磁波的方程式	§ 10.5 電磁波的圖解	§ 10.6 電磁波中的光向量
§ 10.7 電磁波的能和強度	§ 10.8 加速電荷所發出的輻射	§ 10.9 電荷作週期運動時所產生的輻射
§ 10.10 赫芝關於電磁波存在的實驗證明	§ 10.11 在自由空間電磁波的速度	
第十一章 光源及其光譜	261	
§ 11.1 光源的分類	§ 11.2 在高溫度下的固體	§ 11.3 金屬弧
§ 11.4 本生焰	§ 11.5 電花	§ 11.6 真空管
§ 11.7 光譜的分類	§ 11.8 發射率和吸收率	§ 11.9 連續光譜
§ 11.10 線光譜	§ 11.11 發射與吸收的關係之理論解釋	§ 11.12 譜線系
§ 11.13 帶光譜	§ 11.14 線光譜,帶光譜及連續光譜的理論	
第十二章 吸收和散射	289	
§ 12.1 一般吸收和選擇吸收	§ 12.2 吸收和散射的區別	§ 12.3

固體和液體的吸收 § 12.4 氣體的吸收 § 12.5 氣體的共振作用和
 和熒光作用 § 12.6 固體和液體的熒光 § 12.7 選擇反射和剩
 餘射線 § 12.8 吸收和反射之間的關係的學說 § 12.9 細小質
 點的散射 § 12.10 分子散射和天空的藍色 § 12.11 喇曼效應
 § 12.12 散射的理論

第十三章 色散307

§ 13.1 正常色散 § 13.2 科希方程式 § 13.3 反常色散 § 13.4
 塞耳邁爾方程式 § 13.5 吸收對色散的效應 § 13.6 在媒質中的
 波速度和羣速度 § 13.7 一種媒質的全部色散曲線 § 13.8 透明
 媒質的電磁方程式 § 13.9 色散的理論 § 13.10 振動質點的性
 質

第十四章 光的偏振334

§ 14.1 由反射產生偏振光 § 14.2 光振動的圖解 § 14.3 起偏振
 角及布盧斯特定律 § 14.4 由玻片堆產生偏振光 § 14.5 馬呂定
 律 § 14.6 二向色晶體產生偏振光 § 14.7 雙折射 § 14.8 光軸
 § 14.9 主截面和主平面 § 14.10 雙折射產生偏振光 § 14.11 尼
 科耳稜鏡 § 14.12 平行和正交的尼科耳稜鏡 § 14.13 方解石稜
 鏡的折射 § 14.14 洛匈和渥拉斯頓稜鏡 § 14.15 由散射產生偏
 振光

第十五章 雙折射358

§ 15.1 單軸晶體的波面 § 15.2 平面波在單軸晶體中的傳播 § 15.
 3 平面波傾斜入射 § 15.4 單軸晶體的折射率 § 15.5 二軸晶體
 的波面 § 15.6 內錐形折射 § 15.7 外錐形折射 § 15.8 雙折射
 的理論 § 15.9 晶體中的羣速度和能量流

第十六章 偏振光的干涉	380												
§ 16.1 橢圓偏振光和圓偏振光	§ 16.2 四分一波晶片	§ 16.3 兩 正交尼科耳稜鏡間的晶片	§ 16.4 巴俾內補償器	§ 16.5 用白光 時的干涉現象	§ 16.6 甲偏振單色濾光器	§ 16.6 高度會聚光下 的干涉	§ 16.7 偏振光的有系統分析						
第十七章 旋光性	399												
§ 17.1 旋光色散	§ 17.2 費涅耳的旋光理論	§ 17.3 旋光晶體中 光的振動形式	§ 17.4 水晶中的波面	§ 17.5 費涅耳複稜鏡	§ 17.6 科紐稜鏡	§ 17.7 旋光性理論	§ 17.8 液體中的旋光						
第十八章 光的反射	419												
§ 18.1 電介質反射	§ 18.2 內反射	§ 18.3 平面偏振光由電介質 上的反射	§ 18.4 內反射所引起的橢圓偏振光	§ 18.5 金屬反射	§ 18.6 金屬反射的解釋	§ 18.7 反射中的週相變化	§ 18.8 平面 偏振光由金屬上的反射	§ 18.9 光學常數的測定	§ 18.10 掠入 射時的週相變化	§ 18.11 維奈爾實驗	§ 18.12 在反射中的貫穿 現象	§ 18.13 電介質反射及折射的電磁說	§ 18.14 金屬反射理 論
第十九章 磁光學和電光學	455												
§ 19.1 塞曼效應	§ 19.2 倒塞曼效應	§ 19.3 法拉第效應	§ 19.4 浮克脫效應或磁雙折射	§ 19.5 柯董—穆頓效應	§ 19.6 克爾 磁光效應	§ 19.7 史塔克效應	§ 19.8 倒史塔克效應	§ 19.9 電 雙折射	§ 19.10 克爾電光效應				
習題答案	476												

第一章 光當作一種波動

很多的光學現象都可以假定光是一種波動來解釋。這些現象有不少是我們日常生活中不易見到的；但是經過細密的考察，例如仔細地考察光通過狹開口或由刻痕表面上反射後所生的效應，這些現象就顯現出來。兩個或更多個光束間的一切相互作用，都可以用波動說來作定量的處理。另外一類重要的光學現象却需要假定光是由一種稱為光子的能量小束所組成的，才能得到完全的解釋——而所謂光子，也就是光的質點。後一類現象總在光與物質相互作用時才能發生，比如光電效應就是一個例子：金屬表面因感光而放出電子。對於物質的質點，這兩類現象也同樣存在。電子或原子在有些情形下的行動就像是一羣波。在本書裏我們只討論前一類，就是用波動所能解釋的那一類光學現象。我們所得到的結論既能應用到光波上，也同樣地可以應用到質點波上。因而開始時我們先對波動作普遍的探討；在討論中我們隨時指出光的種種特性是怎樣依賴於波的特性——我們假定光是由波組成的。

§ 1.1 週期運動 因為一列波經過媒質時使媒質中的每一質點

作週期運動，所以我們的問題首先是如何對這種運動作定量的描寫。所謂週期運動，就是在連續的相等時間間隔內完全重複一次的運動。在每段時間間隔的末尾，質點都具有相同的位置與速度。這樣連續出現兩次所相隔的時間叫做週期。在最簡單的沿直線的週期運動中，質點離固定中心的位移 y 可用下式表示

$$y = r \sin(\omega t + \alpha). \quad (1a)$$

其中 t 表時間， r ， ω ， α 都是常數。如果一點 P 在半徑為 r 的圓周上作勻速運動，則 P 點在 y 軸上的投影 N (圖 1A) 的運動就是這種運動。如果在開始計時的時候 ($t=0$) P 的位置為 P_0 並以角速度 ω 弧度/秒沿反時針方向旋轉，則投影 N 沿 y 軸上下而運動時的位移 y ($=ON$) 就可以用方程式 (1a) 來表示。 r 是位移的最大值，叫做運動的振幅； $(\omega t + \alpha)$ 角決定 N 在任何時刻的位置，稱為週相角或簡稱週相。當 $t=0$ 時，決定 N 位置的 α 角叫做初週相或週相常數。週期 T 就是 P 旋轉一週所需的時間，它需要 $2\pi/\omega$ 秒，因為 2π 是 P 旋轉一週所轉過的角度，而 ω 是旋轉的角速度。週期 T 也是 N 在 y 軸上來回振動一次所需的時間；在 T 時刻以後， N 點的位置和速度 (包括方向)

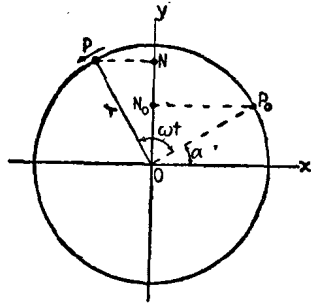


圖 1A 簡諧運動可以用沿圓周作勻速運動的 P 點在直徑上的投影表示出來。

如開始時一樣。週期的倒數是頻率 $\nu = 1/T$ ，這就是每秒的振動次數——因為在一秒鐘內所作的振動次數等於一秒鐘被振動一次所需的時間 T 來除。

當 P 越過 y 軸而 N 在它的極端位置時， N 的速度是零。當 P 越過

x 軸而 N 在中心 O 時, N 的速度最大。在其它任何時刻, N 的速度在上述兩極限值之間。求方程式 (1a) 對於時間的微分即得速度方程式。在任一時刻 t , 它是

$$v = \frac{dy}{dt} = r\omega \cos(\omega t + \alpha), \quad (1b)$$

因而最大速度是 $r\omega$ 或 $2\pi r/T$ 。加速度 a 在中心為零, 在端點最大。求方程式(1b)的微分即得

$$a = \frac{dv}{dt} = -r\omega^2 \sin(\omega t + \alpha) = -\omega^2 y. \quad (1c)$$

因為我們假定 ω 是常數, 所以方程式(1c)最後一項表示加速度和位移 y 成正比。式中的負號則表示位移 y 的方向永遠與加速度的方向相反。由圖 1A 可知, 當 N 在 O 點之上時, 加速度是向下; 而當 N 在 O 點之下時, 加速度是向上。根據牛頓第二定律, 力等於質量乘加速度, 所以方程式(1c)表明: 設一力作用在一質點上, 如果作用力與位移成正比但方向相反, 則此質點即作(1a)式所表示的運動。這種形式的運動往往稱為簡諧運動。如果位移小因而作用力遵照虎克定律時則彈性媒質的振動就是這種運動。

簡諧運動雖然是週期運動的一種特別類型, 但却有很大的重要性。這不僅是因為它在實際波動中時常遇到, 而且因為任何複雜的週期運動都可以表示成兩個或更多個具有適當振幅、週期及週相常數的簡諧運動之和(第 2.5 節)。假如這種複雜的運動是在一直線上, 那麼組成它的各個簡諧運動也在這直線上; 如在一平面內運動, 我們可以認為它是由兩個沿着平面內互相垂直的軸線的運動所合成(常常兩個都是複雜的運動)。例如沿橢圓軌道的勻速運動就可以認為是

兩個直線運動所合成的，一個沿着橢圓的長軸，另一個則沿着橢圓的短軸，但兩個都不是簡諧運動。如果質點所受到的向橢圓中心的吸引力是與質點到中心的距離成正比，則質點沿橢圓而運動的速率並不是常數，但質點在橢圓軸線上的投影，或者更普遍地說來，在任何通過橢圓中心的直線上的投影，都作簡諧運動。

直線、圓以及橢圓的振動是在研究光波時最常遇見的。在某幾類發光的情形裏，產生光波所必須的振動源乃是一個圍繞原子核旋轉的電子。假如軌道很大，則原子中其它部分作用在電子上的力是近似地和距離的平方成反比(庫倫定律)，而軌道也近似地是一個以原子核為一焦點的橢圓。垂直於軌道平面的方向所放出的光，它的振動有着和電子軌道相應的橢圓形；但是在軌道平面的方向所放出的光，其振動是直線形的，相當

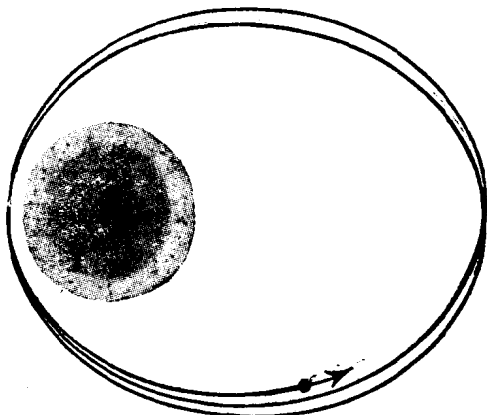


圖 1 B 鈉原子及其單獨的軌道電子的簡圖。

於我們從橢圓的側面望去時所看到的運動形式。圖 1 B 指示像鈉這一類原子中的電子軌道。

§ 1.2 波動 我們最熟悉的那些形式的波，例如水面上的波，是極其複雜的。然而它們却足以顯示任何波動所同具的一個特點。設波沿 x 方向運動， y 方向是垂直的，則波形在 xy 平面中任一瞬時的圖像可以用圖 1 C 的實線表示出來。令方程式 $y=f(x)$ 來代表這個曲

線，如波形以一定速度 v 沿正 x 方向而運動，則我們必須在其中加入時間 t ，並且使它有這樣的性質，就是當 t 增加 Δt 時，某一縱坐標 y_1 應該在右方 $\Delta x = v\Delta t$ 之遠的 y'_1 處出現。把方程式寫為 $y = f(x - vt)$ 就可以達到這一目的，因為在時間 t 和 $t + \Delta t$ 我們得到

$$y_1 = f(x - vt)$$

$$y'_1 = f\{(x + \Delta x) - v(t + \Delta t)\}.$$

用 $\Delta x = v\Delta t$ 代入，就得到 $y'_1 = y_1$ ，上面的要求得到實現。在 $t + \Delta t$ 這

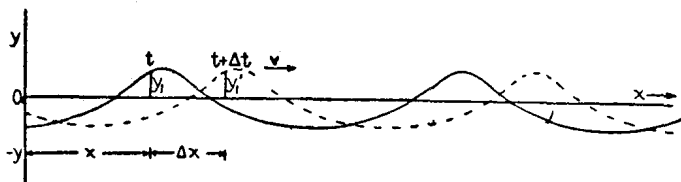


圖 1C 水波的傳播。

一瞬間，波是在虛線位置。任何在平面中的橫波的普遍方程式是

$$y = f(x \pm vt). \quad (1d)$$

正號用在波向左運動時，就是沿負 x 方向運動時。

讀者不要因為上面的討論而認為水的質點是和波一起向右運動的。相反的，只有波形是在連續地向前運動着，每一質點只是對於它的平衡位置作振動。拿水波來說，每一質點的運動乃是在 xy 平面內的圓形或橢圓形地運動。在這種情形下，縱坐標 y 僅是質點從平衡位置的位移的沿 y 軸部分，因為波動不是只限於 y 方向的橫波。所以下面我們要討論最簡單的波形，而沒有上述的複雜情形發生。

§ 1.3 簡諧波 設波形 $y = f(x)$ 可由下式表示，

$$y = r \sin\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \quad (1e)$$

並且位移完全是橫向的。常數 r 和 λ 的意義可從圖 1D 看出，圖 1D 就是方程式(1e)的圖示。最大位移是 r ，就代表波的振幅，而 λ 是這樣的距離，就是每隔 λ 之後，波就重複一次，這樣的距離叫做波長。設波沿正 x 方向前進，從方程式(1d)可知，我們必須以 $x-vt$ 代替方程式(1e)中的 x ，因而得到

$$y = r \sin - \frac{2\pi}{\lambda} (x-vt) = r \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt-x). \quad (1f)$$

任何質點都可以用某一個 x 值來分別地指明出來，當波形經過此點以速度 v 前進時，質點就上下運動，而它的位移可由曲線的縱坐標來

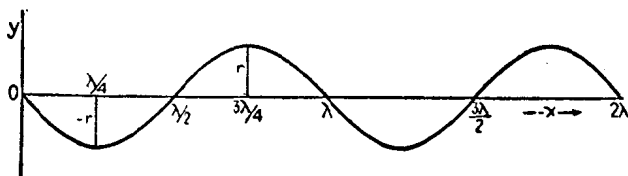


圖 1D. 簡諧波的波形。

確定。運動的振幅顯然是 r ，週期是

$$T = \frac{\lambda}{v}, \quad (1g)$$

因為當波進行 λ 距離時，質點的振動完成一次。給方程式(1f)中的 x 以某一特殊數值，即得某一質點的運動方程式。對於橫坐標 x 為零的質點來說，

$$y = r \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} = r \sin \left(\frac{2\pi}{T} \right) t. \quad (1h)$$

此式和(1a)式完全相同，不過(1a)式中的 ω 現在是等於 $2\pi/T$ ，而 α 等於零，因而質點作簡諧運動。其它的每一質點也是這樣，除了因

爲 x 的增加而週相常數逐漸減少以外，它們的運動是完全相同的。圖 1E 指出當 $t=0$ (實線) 及 $t=T/8$ (虛線) 時，相隔距離爲 $\frac{1}{8}\lambda$ 的各點的位置；各點的週相常數分別附在各點的下面。每點的速度則由附帶着的箭頭指示出來。這圖也告訴我們一個畫正弦曲線的便利方法。我們可以看到在 $\frac{1}{8}T$ 的時間內，波形向右移動 $\frac{1}{8}\lambda$ 的距離。

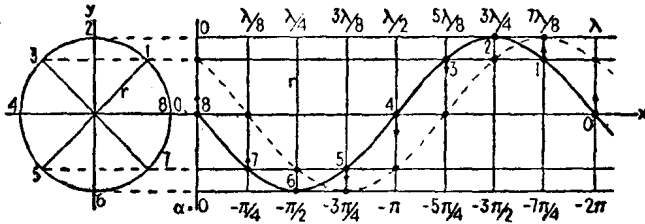


圖 1E 簡諧波的進行。

利用方程式 (1g) 中 $\lambda = vT$ 的關係，可把方程式 (1f) 寫成

$$y = r \sin \frac{2\pi}{vT} (vt - x) = r \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right). \quad (1i)$$

另外一個很方便的形式是

$$y = r \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{vT} \right) = r \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right). \quad (1j)$$

這裏我們立刻看到週相常數是隨 x 而變的，因爲 $\alpha = -\frac{2\pi}{\lambda} x$ 。質點的週相常數並沒有特殊的重要性，因爲它的數值要看怎樣選擇時間的零點而定。然而兩點的週相差却和這個選擇沒有關係，因爲對於在 x_1, x_2 的兩質點來講，我們有下列關係：

$$\begin{aligned} \text{週相差} &= 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) - 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1). \end{aligned} \quad (1k)$$

設兩列相同的波以同一週相從某一定點出發，則沿某一波列在 x_1 距離的質點，和沿另一波列在 x_2 距離處的質點，它們的位相之差可以從方程式(1k) 得出。在這種情形下，我們談到程差，在下面各章裏我們常常用下式把程差化為週相差：

$$\text{週相差} = \frac{2\pi}{\lambda} (\text{程差})。 \quad (1l)$$

用上面那些簡諧波的方程式能確切地描敘的光，稱為純粹的單色平面偏振光，就是具有一個確定的波長並且振動的方向是局限於包含進行方向的一個平面內的那種光。後面我們將要見到，產生能够嚴格滿足這些條件的光是不可能的事。一個明顯的理由是方程式(1j) 代表的乃是一個無限長的波列，它從 $x = +\infty$ 伸展到 $x = -\infty$ 。

§ 1.4 波的速度 我們在前面所提到過的那些波可以在一根水平張緊的繩子上產生出來，祇要使繩的一端上下作簡諧運動即可。這樣，繩端的振動機構便成爲一個波源，當繩端移動時，其鄰近的一小段因張力的關係而被引動，被引動的一小段又轉而引動它鄰近的一小段，於是波便沿繩前進。因爲它的慣性，每一小段被引動後都比在它前面的一小段的落後，這就是波的週相沿着波逐漸改變的原因。擾動進行的速率顯然地隨兩鄰近點間底作用力的增大而增大，對於張緊的繩來說，這種力是由繩的張力而來的。繩的慣性較大時，就是繩較粗時，擾動進行的速率也較小。

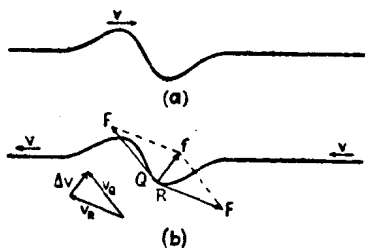


圖 1F 作用力使波沿繩傳播的表示圖。