

什麼是光

譯者 潘家寅

徐氏基金會出版

什麼是光

譯者 潘家寅

徐氏基金會出版

我們的一個目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識的傳播，是提高工業生產，改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。科學宗旨，固在充實人類生活的幸福也。

近三十年來，科學發展速率急增，其成就超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成事實。際茲太空時代，人類一再親履月球，這偉大的綜合貢獻，出諸各種科學建樹與科學家精誠合作，誠令人有無限興奮！

時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的急要責任，培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如生物、化學、物理、數學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。科學研究與教育的學者，志在將研究成果貢獻於世與啓導後學。旨趣崇高，立德立言，也是立功，至足欽佩。

科學本是互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的意外收穫。

我國國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年之間，所可苛求者。因此，從各種文字的科學圖書中，精選最新的基本或實用科學名著，譯成中文，依類順目，及時出版，分別充作大專課本、參考書，中學補充讀物，就業青年進修工具，合之則成宏大科學文庫，悉以精美形式，低廉價格，普遍供應，實深具積極意義。

本基金會為促進科學發展，過去八年，曾資助大學理工科畢業學生，前往國外深造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選譯出版世界著名科學技術圖書，供給在校學生及社會大眾閱讀，今後當本初衷，繼續邁進，謹祈：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者；

主動地精選最新、最佳外文學科技術名著，從事翻譯，以便青年閱讀，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世，助益學者。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。掬誠奉陳，願學人們，惠然贊助，共襄盛舉，是禱。

徐氏基金會敬啓

譯者序

一本書係就 A, C, S Van Heel 及 C, H, F Velzel 兩氏合著之 "What is light" 之 J, L, J Rosenfeld 氏英文譯本逐譯者。

二本書所譯學術名詞均採用教育部所公佈者，但其中亦間或有未經公佈之名詞，則係本人試譯，尚求方家指正，而人名地名除非特別熟悉者譯成中文，否則一律採用英文。

三本書之作者強調儘量避免使用高深數學式解釋，故行文多由淺入深，內容豐富，但譯者愚見以為如能隨時參閱有關之物理書籍必更能融會貫通也。

四本書倉卒譯就，容有誤失之處希指示俾便修正，是幸。

潘家寅

民 58 年 12 月底於

美國麻省

1
AR 358 S

目 錄

譯者序

第一章 傳播.....	1
第一節 一個天真的問題.....	1
第二節 陰影.....	4
第三節 一個學說的探討.....	4
第四節 Huygens 原理.....	5
第五節 波.....	7
第六節 光波.....	10
第七節 光速.....	10
第八節 測定光速之重要性.....	13
第九節 在物質中之光速.....	14
第二章 折射與反射.....	15
第十節 在一邊界之折射.....	15
第十一節 反射與全反射.....	17
第十二節 全反射之應用.....	19
第十三節 波長與顏色.....	21
第十四節 虹.....	30
第十五節 透鏡.....	32
第十六節 球面像差.....	34
第十七節 離軸之物標.....	35
第十八節 Airy 氏盤.....	37
第三章 干涉.....	41
第十九節 兩個光源及干涉.....	41
第二十節 如何獲得相干的光源.....	45
第二十一節 波前之繞行.....	47

VI

第廿二節	星體干涉計.....	52
第廿三節	牛頓環.....	55
第廿四節	在薄層中之干涉現象	58
第廿五節	Fabry-Perot干涉計.....	62
第四章	繞射	65
第廿六節	據Fresnel所言之繞射	65
第廿七節	天空之藍色.....	72
第廿八節	據Fraunhofer 所言之繞射	75
第廿九節	繞射光柵.....	80
第五章	偏極	87
第三十節	偏極	87
第卅一節	雙折射	90
第卅二節	在起偏鏡間之非各向同性介質	94
第卅三節	感應非各向同性	101
第六章	光之產生及偵測	105
第卅四節	光源	105
第卅五節	亮度：全輻射.....	110
第卅六節	照度強度：光度計	112
第卅七節	人眼.....	116
第卅八節	回顧.....	119
第七章	電磁場	121
第卅九節	以太.....	121
第四十節	動的介質.....	122
第四一節	電場及磁場	126
第四二節	光爲一電磁波	130
第四三節	無線電波.....	131
第四四節	並無以太.....	133
第四五節	電磁輻射之種類.....	135

第八章 振盪子及光子	139
第四六節 盪動子模型	139
第四七節 選擇性吸收	144
第四八節 選擇性發射	145
第四九節 “黑體”輻射	148
第五十節 光電效應	150
第五一節 光譜與原子	151
第五二節 光子	154
第五三節 雷射	158
第五四節 慎重之結論	161
繼續研讀之文獻	163
感謝狀	165
名詞對照表	167

第一章 傳播

第一節 一個天真的問題

什麼是光？這問題好像是夠天真的，在你尚未請教科學家時確是如此。畢竟任一門外漢曉得光是“在你看見些什麼了”，但物理學家對這樣簡單的答案並不滿意，他們試圖在一種合理的或至少在一種有用的方式下敘述此現象，將其所觀察得的事實，做成摘要，換言之，一種做得到的描述。因此，意謂有良好機會，使預言之結論將對“真理”提供一種“寫照”。

茲舉物體下落為例，若在空中持一蘋果，鬆手後，至少在地球上做此實驗，則確知其必下墜。自牛頓思考此論題以來，人類已用一種廣義的引力術語，即所有物體施力於其他物體上（在此例中即地球與蘋果），且吾人掌握縮短其間距離之責任。

此廣義的定律在預言太陽系中行星的軌道及依地球軌道以及許多其他星球之如月球的軌道等等成就上，更令人相信所敘述之精密方法，使我們走上正確途徑。

雖然此定律展示出最初“思潮”，最初“模型”，並未完全令人滿意，必須有一種“廣泛”或“深入”或“更細密”的結構，俾能在許多場合中我們以引力的簡單定律從事工作。

此等引論之主旨著重在答覆“什麼是光？”的問題，使其明朗化。將用“思考結構”（thought-constructions）或“模型”（model）討論之。

有時此等模型易於想像，但有時亦極抽象，例如“構想”：“光可設想為一種波動”對許多人是易於具體化的，且為有助益的觀念。他人亦可用此“模型”解釋及瞭解甚多細節。但可惜不能解釋許多其他現象，因其他現象却需要另外的模型也。今將察見在事物之本質上頗難對什麼是“真正的”光這問題做一答案。即使更深入的其他問題：“什麼是真理”？沒有一位物理學家能如此大膽的對此哲學問題冒險解答。他在單純的知識水準中活動，在

2 什麼是光

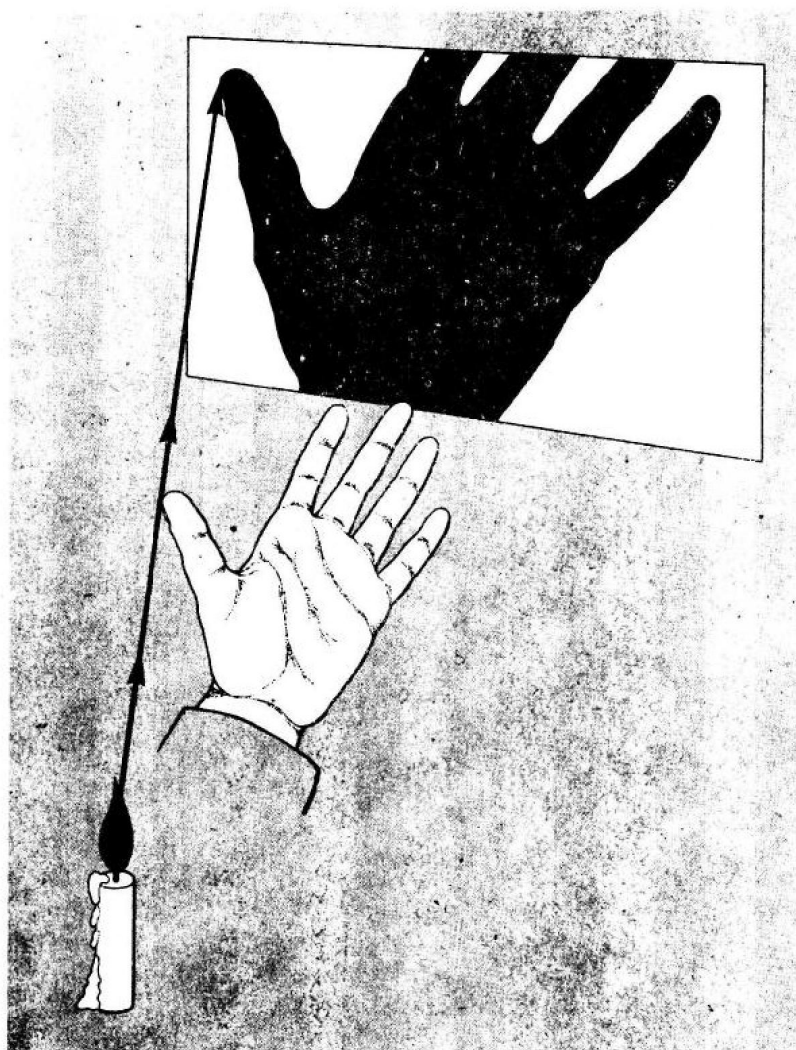
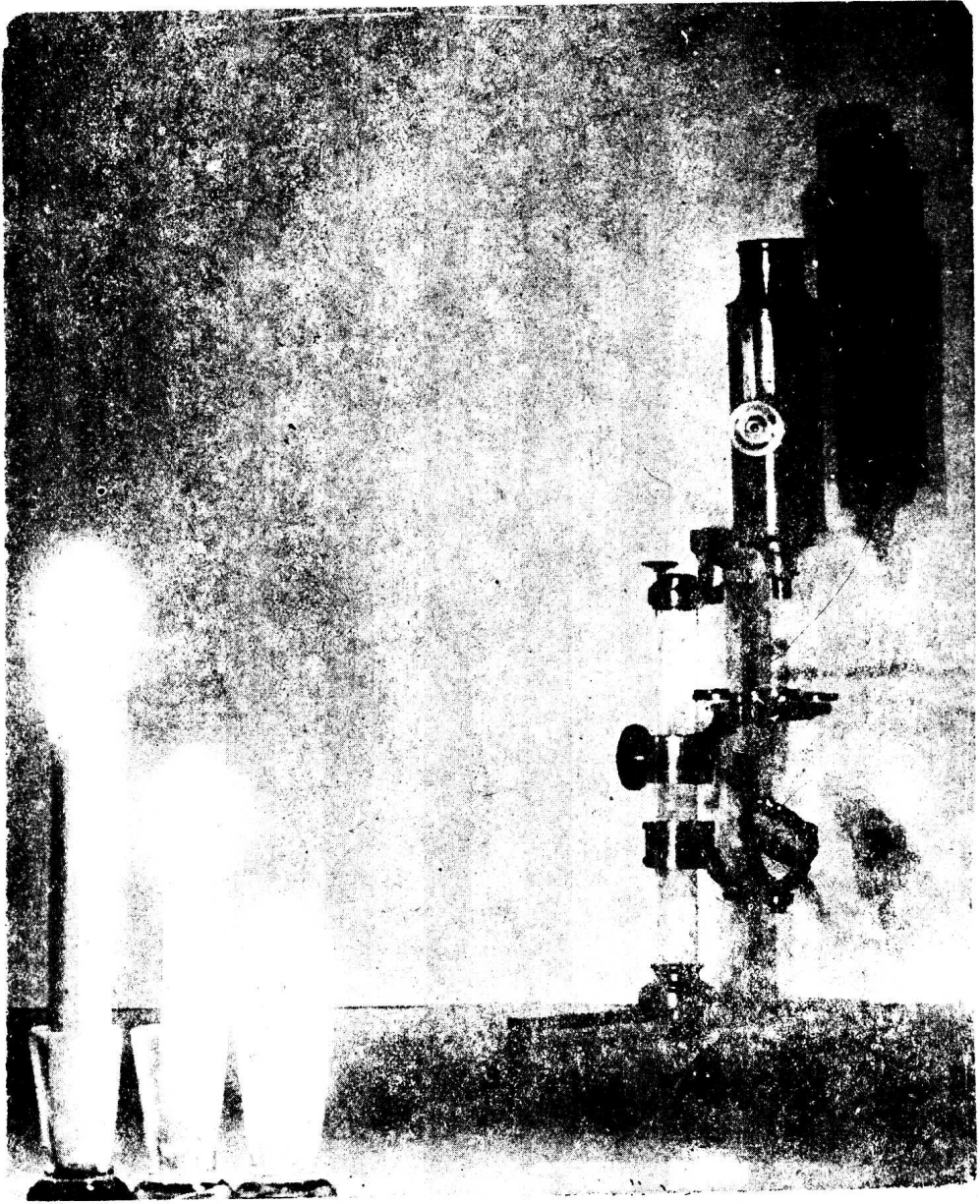


圖 1.a 一陰影之形成。聯結光源及一手指尖之直線經過陰影之相當部份，此直線稱為一光線



此處境中，考慮：“用我的思維我能有什麼成就？”他專心致力於統一觀念的構想，而以簡捷的數學形式表示之。

今後我們亦將從事此等“模型”之如何啓示我們的主題，將盡量避免用數學式，且在現象中發展概念，我們必須敘述才能使此等概念有發展之可能

第二節 陰影

光前進：例如由太陽或由一燈處收到光。一簡單實驗教導我們有關此運動的若干事項。一光源如此小，只能假定其一點源 (point source)。一光源照在一不透明物標 (object) (見圖 1a)。此物標之後置一白色屏 (screen)，則見一陰影投在此屏上，其形象與被照明之物標相同。由此得一結論謂：光線依直線進行，故稱為“光線” (light rays)，今又能瞭解在物標被一個以上光點 (見圖 1b)。照明時，所發生之效果。故見在屏上黑暗區並無任何光源有光抵達。又有些區域則所有點源之光均抵達，而在此兩者極端中間亦有半陰影區域或稱半影 (penumbra)，即僅有若干點源之光抵達此屏。

但此模型，此光線沿直線前進之“寫真”並不良好，或無論如何並非夠好的。凡在山中看過日出的人注意到太陽上升前，朝向太陽的山被光線之邊緣所籠罩。此光線並不能由太陽依直線抵達人眼，因該時太陽仍在水平線之下！此種現象稱為光之繞射 (diffraction of light)。光線彎曲故謂越過山嶺向我們進發。在第一次實驗中所形成的陰影與此類似。若仔細利用一非常小的光源，撤去屏幕，而在黑幕中實驗（更有人在黑暗中做光的研究如 Goethe 氏被人做不贊成的批評，則見陰影之邊緣並不清晰而由許多明暗條帶組成。有黑暗區域該處光線應一直線的進入，而明亮處則否。此繞射效應在日常生活中不甚注意，因情況具相當實驗性，不另直接觀察之。

第三節 一個學說的探討

故有機會光線由其直的路徑中偏離，即謂光柱 (light beam) 遭遇若干邊緣。

我們必須尋求一個光的運動學說亦能解釋繞射效應的。大物理學家牛頓 (Isaac Newton 1642-1727) 及 Huygens (Christian Huygens 1629-1696) 已捷足先登。牛頓，認為光線是一柱小粒子由所有光源發射出來，

且依直線進行，遵守力學定律（亦係牛頓首先偶然解釋的）。在光之粒子進入一物體之附近處，則被吸引而轉變方向，故此光能抵達之區域並非直線運動所能抵達者。這是一個很合理的繞射效應的解釋。

本書中將論及光的許多其他性質，其中有若干性質則不能與此學說符合，如此困擾，應利用其他模型，即Huygens所創立的光波學說。大多數現象可用以解釋，十分簡捷明瞭。無論如何，至本書之末，將見光粒子在現代物理中之地位，尤其在原子的尺度上，光之產生發生此類現象。

第四節 Huygens原理

今就Huygens之學說及其同時代人物之見解略加詳述之。

光運動，但如何運動？在光源中有事發生，其結果，一種擾動經過空間向我們進發，而此擾動傳至人眼。藉此運動，但介入之物質彷彿仍未擾動，由力學使Huygens想起如下的類推，許多完整的圓球以繩懸吊而相接觸。若拉起第一個球，再任其下落打擊第二個球（見圖2），則見反而最後一球飛離，其中介之各球却停止不動。故依Huygens之見解，可想像光的運動亦是一種衝量（impulse）在空間的所有方向中運動。若衝量在 P 點開始，待一時間後（見圖4）見其效果則為以 P 為中心之球面上有許多點。此球Huygens稱之謂一波前（wave front）。以後此擾動又在另一球表面上發現此球仍以 P 為中心，唯半徑更大。可想像此第二波前之形成乃由後者之每個 Q 點以其為一新的衝量由此各球形的波前再向外運動。故整個表面擴張，此等第二波前2成一新的波前。

此種由此一波前構成另一波前之方法稱為Huygens原理（Huygens' Principle）。依此結構之性質，若畫一線與第一波前垂直則必與第二波前在直角上相交。意即波前各點均可視為產生第二球面波之點波源，而在時間上設波前新位置為此等第二波之切面。此等垂線起源於 P ，且指向波前之運動方向：此即所謂光線，如前所述。依此方式，衝量學說與光線之直線運動相吻合。但亦可用此學說解釋繞射現象，但解釋時必須先擴大為較多之點。或問在其邊緣波前性質如何？（如在圖4之 A 處）則較多之點更為清晰知由 A 再向外形成第二波前，但如何在中間過程中再與其他第二波前聯合，且在此方向中光線是否由邊緣發射出去？又如何與“光線”之觀念相聯繫？

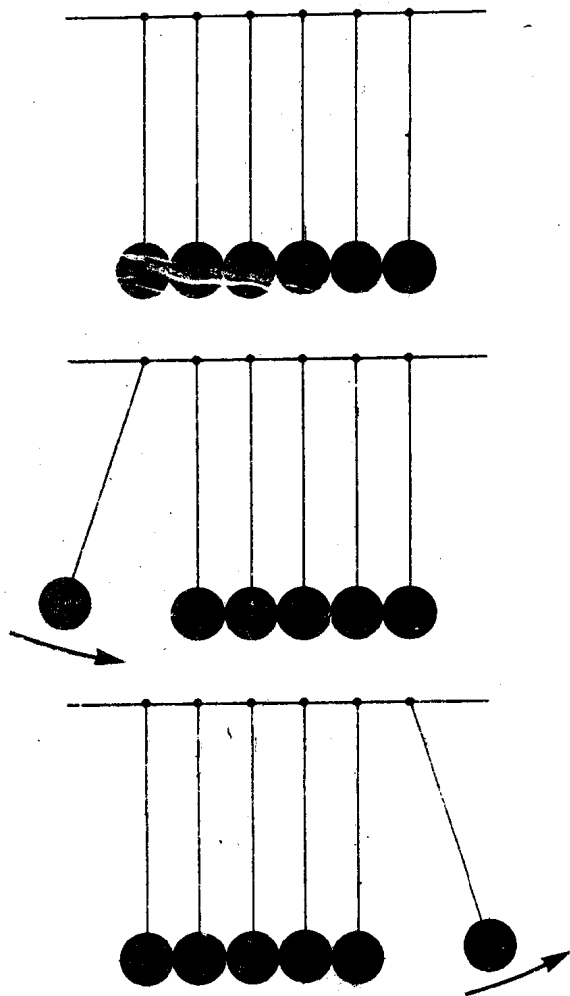


圖 2. 一衝量之傳遞。



圖 3. 在水面上一個軟木塞的運動；平衡位置以空圈表示之。

.06267

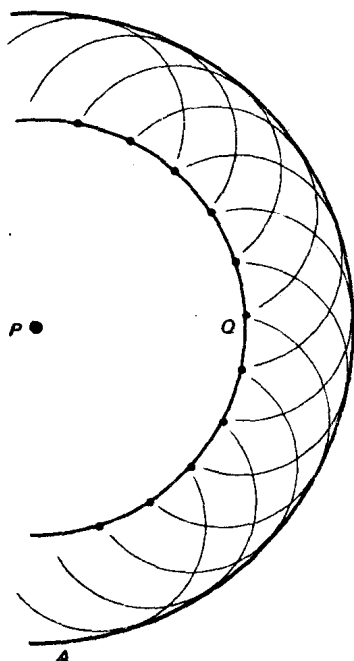


圖 4：Huygens 氏的結構法
由前一波前推出第二波前。

第五節 波

我們需要以類似的水波將衡量學說加以推廣。誠然，圖 4 使人想像波在一池塘表面的橫貫運動乃部分的發生擾動，例如投一石塊在池塘中所引起者。但水波與光之不同處乃是水波在表面上運動，而光則在三度空間中經過。

茲以一軟木塞放在水面上作“點”的運動，則見並非發生側面的運動，而主要運動乃在水表面上作上下垂直之進行，而在直角上為波之運動方向。在圖 3 中，表示軟木塞在不同時間的位置。空圓圈代表每個軟木塞在無波時之位置，而黑圓圈代表每個在稍後一些時間的位置，軟木塞在每一時間之速度以箭號之長短表示之。軟木塞依一中間點，經歷一週期運動。此種運動稱為一振盪 (Oscillation)。經過某一數量之秒數 T ，軟木塞之位置及速度又再與前相同，則此時間 T 稱為振盪之週期 (Period of Oscillation)。

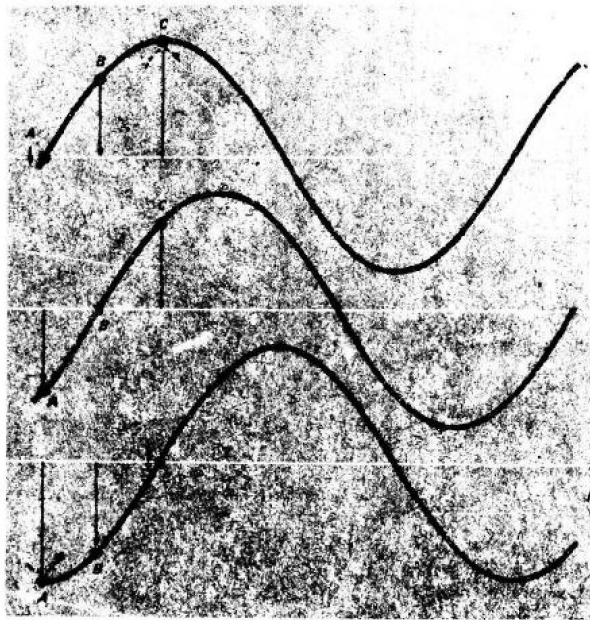


圖 5. 一波在三個剎那時間中波峰向右進行。

T 之倒數等於每秒振盪數或稱為頻率 ν (frequency ν)。軟木塞所受之最大位移 (displacement) 則稱為振幅 (amplitude)；將可用來測定振動之強弱，而振幅之正負相間 (端視軟木塞在水波之波凸上或波凹中而定) 的事實並無不明確的意義，故取振幅之平方且稱之為振盪的強度 (intensity)。即比例於波之能量。今檢討水面上一點所發生的事故，波為有規律在空間成起伏之整體；兩峯之間距稱為波長 (wavelength) λ 。在圖 5 中畫出水波之橫斷面，在若干時間，同時經過若干點的情形 (此實即圖 3 中之相同圖片，但在若干點均取其一瞬間的情況)。今注意圖 5 中 A 、 B 及 C 處之軟木塞。在第一圖中軟木塞在 B 處其在振盪中較在 A 處者為遠；即在相 (phase) 中落後。在第二圖中 B 抵達 A 之位置，但 A 已遠離。在第三圖中在 C 處之軟木塞抵達 A 在第一圖中抵達之位置及 B 在第二圖中抵達者； A 再開始以相反的方向運動，易見此波由左向右進行。在均勻質中發生之速率 V 等於波長與頻率之乘積，其數學式為

$$V = \nu \lambda$$

爲簡明計今僅討論在運動中形狀保持不變的波；此種波稱之謂諧波 (harmonic waves)。在數學式中其形狀以正弦函數 (Sinus = 波) 表示之，包括弦振動、聲響、光、無線電波等，且其形狀可看出，猶如波紋狀金屬版的橫斷面，任意一波在一剎那時間上可設想爲一數量諧波之重疊。放在空間，一剎那時間中，在某一特定點之位移即重疊諧波位移的結果。圖 6 中可見一波由兩條諧波組成，此二諧波僅在波長中微有不同，且有相等振幅。在圖 7 中所示之三角形波包括一無窮數的諧波，其振幅愈小則波長愈短。許多成份如圖所示其振幅爲 λ ， $\lambda/2$ ， $\lambda/3$ ， $\lambda/4$ 每種均各有其特具的振幅。

波長不同之諧波成份一般均具其自己的速度，故所有波之形狀隨時間變動，此效應稱之謂色散 (dispersion)。必須確切瞭解諧波爲一數學的觀念論：一條在運動中永不變化形狀的波既無開端亦無終結。故任一真正的波至少由若干諧波組成。例如能在一組鐘聲中從主音節中聽出許多泛音 (overtone)。在一波中諧波之集合稱爲光譜 (spectrum)；若干諧波之強度稱爲光譜強度 (Spectral intensities)。

前已說明所謂振盪之相 (Phase) 乃在一波中之一特定點上，爲一小體積之水 (或一軟木塞) 所經過。例如在一水槽中若聯接相等“相”之點，則達到最大向下振幅，於是所得之曲線稱之謂一個波前 (Wavefront)。

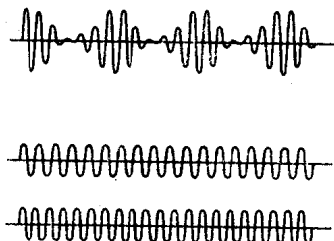


圖 6：不同波長之兩條諧波重疊。

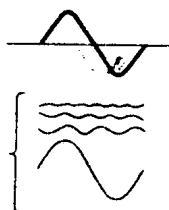


圖 7：一條三角形波及其諧波成份。

在水表面中由一點源發出之波前爲圓；對於在空間向所有方向進行的光波可望有類似的球形波前。故可利用波理論證驗Huygens之波前。

第六節 光波

此種波的觀念對光線亦證實非常有用。今暫先擱置如何振盪之問題不論。但假定能之經過空間是以三度空間之橫波 (transversal waves) 形式運動的 (即謂波之振盪運動爲垂直於傳播方向，恰與水波之場合相似)。我們亦附帶知道其他種類的波，例如聲波 (Sound-waves)；却爲縱波， (longitudinal waves)。其振盪運動亦與傳播在相同方向。光波與彈性波 (elastic waves) 如水或聲之間的重要不同處爲後者需要一介質始可進行爲空氣；或水、或一種氣體，而光則由銀河 (Milky Way) 經空的太空而抵達地球。

光振盪之頻率有多大？在水面上軟木塞之運動可用眼睛追視。在光的場合，其運動非常令人困惑：在一秒鐘內，約有 $3 \cdot 10^{14}$ 次振盪，故其波長極端的短：有時短至一毫米的千分之一或一千個十億分之一米 (Nanometer, nm) 按一千 nm 約等於一吋的五千萬分之一。具有 600 nm 波長之光看出是紅色光； $\lambda = 400$ nm 則爲藍色。故波長與顏色有密切關係。

頻率及波長之乘積等於傳播之光速。對於光其值極大。在空間對所有波長均相同，約爲每秒 300,000 km (即每秒 186,000 哩)，因對於所有波長光速均相同，在空間無色散。將見此現象在透明介質中不發生。

第七節 光速

如此驚人的速率如何能測定？Galileo氏曾試圖變更兩處遙遠空間之兩點間的光信號，而測定其時間 (見圖 8)，他發現光之進行如此快速，以致所測之時間非常微小，小過觀察者反應時間，故用此法實不可能測出光速。

丹麥天文學家 Römer，在十七世紀首先估計光速以 C 表示之。木星之四個衛星正在此時發現，且已知繞此行星一周有多長。因此等衛星本身並不發光，一俟進入此行星之陰影中立即見其消失。故注意在此等位置中，地球與木星間之距離何其遙遠，由衛星繞木星運動預言其時間後，此等衛星之變暗始發生，而在地球與木星間距離較小時，此等衛星之變暗則提早甚多。就測定時間之差及歸因於光在第一場合中乃經歷較長之距離，再與第二個場合相