

CH1 光的歷史和特性

- 1-1 光是什麼
- 1-2 光線
- 1-3 光粒子或光波
- 1-4 光是電磁波和此觀點的巨大影響
- 1-5 波動和粒子雙重性的新觀點
- 1-6 光電效應的影響無遠弗屆
- 1-7 從「光速是多少」到相對論



1-1 光是什麼

- 陽光從太陽而來，是不說自明的道理，但太陽是什麼？這個問題一直到哥白尼之後才瞭解到，地球繞著太陽運行，而太陽是宇宙眾多星球中的一個。
- 光是什麼？較為「科學性」的觀點有三種，分別是光線、光粒子和光波，以下我們就先來看看這些觀點所衍生出來的探討。



1-2 光線



- 光線的觀點可以從陽光經由樹林中的縫隙穿透下來理解，在還不知道光的本質之前，光線的觀點可以幫助我們瞭解和預測光的行進方向。
- 光線的觀點讓科學家們發現了折射定律，我們把折射定律也稱為司乃耳定律（Snell's Law）。



1-2 光線



- 單單光線的觀點就可以讓我們設計一些光學儀器，如顯微鏡、照相機、攝影鏡頭等。甚至於最近開始流行的立體影像，如阿凡達電影，也需要使用光線的觀點來設計。



圖 1-3 照相機的實體相片和光路示意圖。



1-2 光線

- 光線說比馬克士威的電磁方程式還早被提出。科學家根據他們對光線所觀察到的現象，認為光的行進軌跡應該要滿足以下方程式

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{d\vec{r}}{ds} \right) = \nabla n$$

- 此方程式稱為光線傳播方程式(Ray propagation equation)。其中 \vec{r} 為光線到達某位置的座標， n 為傳播介質的折射率， s 為弧長，也就是光線傳播累積的路徑長度。



1-2 光線

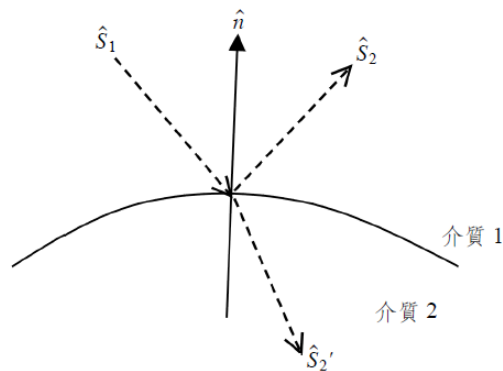


圖 1-4 光線從介質 1 傳播到介質 2，在介面處路徑會偏折。



1-2 光線



- 光線說 (ray optics) 構成幾何光學的基礎，對光學系統的正向影響極大，也造成光學儀器的蓬勃發展，如放大鏡、顯微鏡、望遠鏡等的發明。
- 放大鏡和顯微鏡的發明促進了生物學的進步，因為可以看到微小生物以及細胞的構造。另一方面，光線說也使得人們對觀察到的太陽上升時間和真正上升時間有更清楚的認識，還有對星座位置有更精確的計算，加上望遠鏡的發明，也對天文學具有相當貢獻。



1-3 光粒子或光波



- 在光線的觀點之外，最讓科學家們爭論不休的焦點為，光到底是光粒子或光波？早期的著名人物大多認為光是粒子，這些人物包括有笛卡兒和牛頓。
- 光粒子的觀點可以用來解釋折射、反射和影子等現象，牛頓還用光粒子說來解釋彩虹的顏色，他認為白色光是分屬各種色彩的不同微粒之混合體，而這些不同色彩之光微粒在經過不同介質的界面時，受到不同的作用力，因此折射後的路徑不同



1-3 光粒子或光波



- 因為有笛卡兒和牛頓這些偉大人物認定光是粒子，因此當時的主流意見就採用了光是粒子的觀點，在其後的100多年裡一直佔著主導地位。
- 從光粒子的觀點可以推論出，光在水中的速度比在空氣或真空中快，現在我們知道這是錯的，但在牛頓的年代，還沒有技術可以測量光速，因此當時無法判斷光粒子觀點的謬誤。



1-3 光粒子或光波



- 相對於粒子觀點，光波的觀點可說是發展得很慢。發現彈簧遵守著某個定律的虎克在1685年發表《顯微術》一書，他認為光是一種振動，並初步建立了波面和波線的概念。
- 惠更斯在他的著作《論光》當中，更進一步提出光是一種波動的主張，他解釋光是一種介質的運動，該運動從介質的一部分以某種速度依次地向其他部分傳播，然而沒有實驗證據證實這些觀點。



1-3 光粒子或光波



- 要確認光是波動，必須要有類似水波或聲波的波動現象，最明顯的是干涉現象和繞射現象。但是這類波動現象的發生，還要有一個非常重要的特性，即波必須有同調性或相干性（Coherence）。
- 特別是干涉現象，必須要來自不同位置的波源具有相干性，也就是說，得要有兩列相干光才可能看到光的干涉，這在當時是很困難的技術，因為自然界的光源幾乎都不具有相干性。



1-3 光粒子或光波



- 另一方面，透過單狹縫的篩選，光變得非常弱，因此要紀錄干涉條紋，底片就得長時間曝光。在長時間裡，若是稍有振動，明暗相間的干涉條紋就會互相重疊而變得模糊，因此必須在長時間曝光當中，整個實驗架構都要維持在振動小於100nm以內

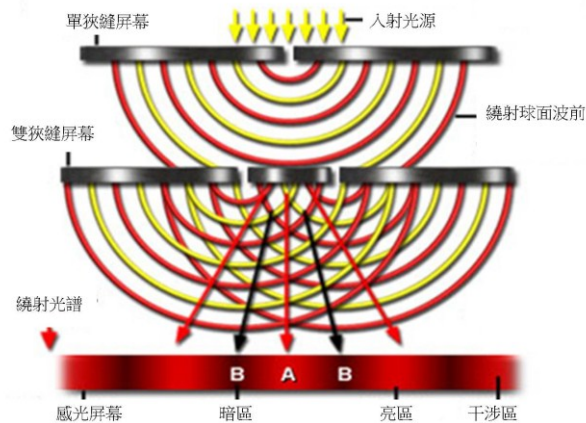


1-3 光粒子或光波

- 可想見他當年進行**雙狹縫干涉**的實驗有多麼困難，以及需要多大的耐心和毅力。
- 但是**托馬斯·楊**的實驗可說是驚天動地，因為**光波**的觀點從此橫掃物理界和科學界，把光的粒子說掃進了垃圾堆。



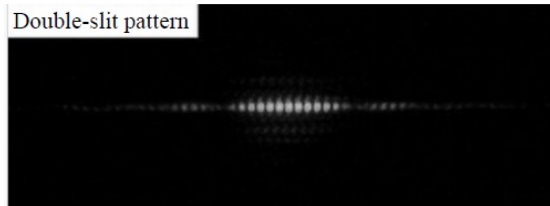
1-3 光粒子或光波



1-3 光粒子或光波



(2)



光的雙狹縫干涉條紋。



1-4 光是電磁波和此觀點的巨大影響



- 馬克士威由電磁學的四個定律，即馬克士威方程式，推導出電磁波的波動方程式，進一步推論電磁波的速度就是光速。
- 而赫茲根據馬克士威的推論，由實驗產生電磁波。
- 因此在十九世紀末，確定了光就是電磁波，其特性可由電磁波的波動方程式預測，而其傳播速度就是光速，現在我們確定光和電磁波其實就是同樣的「東西」。



1-5 波動和粒子雙重性的新觀點



- 就在光的波動說獲得壓倒性的勝利之後，二十世紀初，卻又被一位二十幾歲的年輕人給推翻了。
- 推翻光波觀點的實驗是所謂的光電效應。
- 此現象的情形如下，當金屬表面被光照射時，金屬會吸收光而發射出電子。光的波長必須小於某一臨界值時，才有電子釋出，臨界值取決於金屬材料，而釋出電子的能量取決於光的波長而非光的強度，這一點無法用光的波動性解釋。



1-5 波動和粒子雙重性的新觀點



- 這些奇怪的現象困擾了十九世紀末的物理學家們，但是卻被當年一位二十幾歲的年輕人解開了這個謎團。這個年輕人就是愛因斯坦
- 他解釋光是由小的能量粒子組成的，稱為「光子」，並且光子可以像單個粒子那樣運動。「光子」理論開啟了新的觀點來看待微觀世界的基本特徵，亦即波動和粒子的雙重性。



1-6 光電效應的影響無遠弗屆



- 前面的這個現象，稱為**光電效應**，解釋這個現象讓愛因斯坦獲得了**諾貝爾獎**。
- 而它的影響更是無遠弗屆，因為光粒子說解釋了**黑體幅射**，也促成了**光電工程**和**量子理論**的發展。
- **黑體幅射**的認識讓電燈泡發光獲得長足的進步，叫人類從二十世紀初至今約一百年間擁有安全可靠的照明，不用擔心煤油燈或蠟燭造成火災。



1-6 光電效應的影響無遠弗屆



- 而光電工程的進步，讓**雷射**和**光纖**被發明出來，產生了**光纖通訊網路**，並進一步演變出**網際網路**；而且光電工程還在繼續開發省電的**發光二極體**，讓照明不僅安全可靠，更是節省能源。
- 此外，**光電科技**的進步導致了**電影**、**電視**成為日常生活的一部份，這使得許多人在漫漫長夜當中，不僅不會無聊，更有**音樂**和**影片**等精彩內容陪伴，叫人們的生活變得豐富精彩。



1-7 從「光速是多少」到相對論



- 邁克森設計了一個極精確的實驗方法，以測量光速，然後進一步發現光速不隨座標系統的相對運動而改變，這也促成了愛因斯坦假設光速是定值，進而推導出相對論以及質能互換公式。
- 而由質能互換公式，粒子可以消失，化成光的能量型式；光也可以消失，變成電子等類的粒子。於是光可以從不是東西，變成是物質的東西，再由物質的東西變成不是東西的能量。



1-7 從「光速是多少」到相對論



- 愛因斯坦發現了電磁場或光波的觀點和過去的力學觀點有了本質上的矛盾，因為對光波或電磁場而言，以下的兩個論述無法同時成立：
- (1) 位置與速度會依照古典的轉換律（伽利略轉換式），從一個慣性系統轉換到另一個慣性系統。
- (2) 在兩個做等速相對運動的座標系裡，大自然的所有定律是相同的，亦即數學型式是一樣的，因此我們無法分辨出誰在運動，誰不在運動，也就是說，只有相對運動，沒有一個絕對靜止的系統。



1-7 從「光速是多少」到相對論



- 這個本質上的矛盾是，把伽利略轉換式套用在光波和電磁波的波動方程式上，發現其數學型式不再相同。
- 後來，愛因斯坦捨棄了古典物理之轉換律，採用第二個論述，並加上這個假設；「光在真空中的速度是固定的，與光源及接收者的運動無關」。然後導出了相對論，被稱為是科學上的大革命。
- 愛因斯坦還提出了「光子」理論。使用波動和粒子的雙重性來解釋光的行為，大自然的更多秘密也因此被揭露了。

