

萬有文庫

第二集七百種

王雲五主編

光的世界

(二)

布格拉著

陳嶽生譯

商務印書館發行

光 的 世 界

(二)

著 格 拉 布

譯 生 獻 陳

自然科學小學叢書

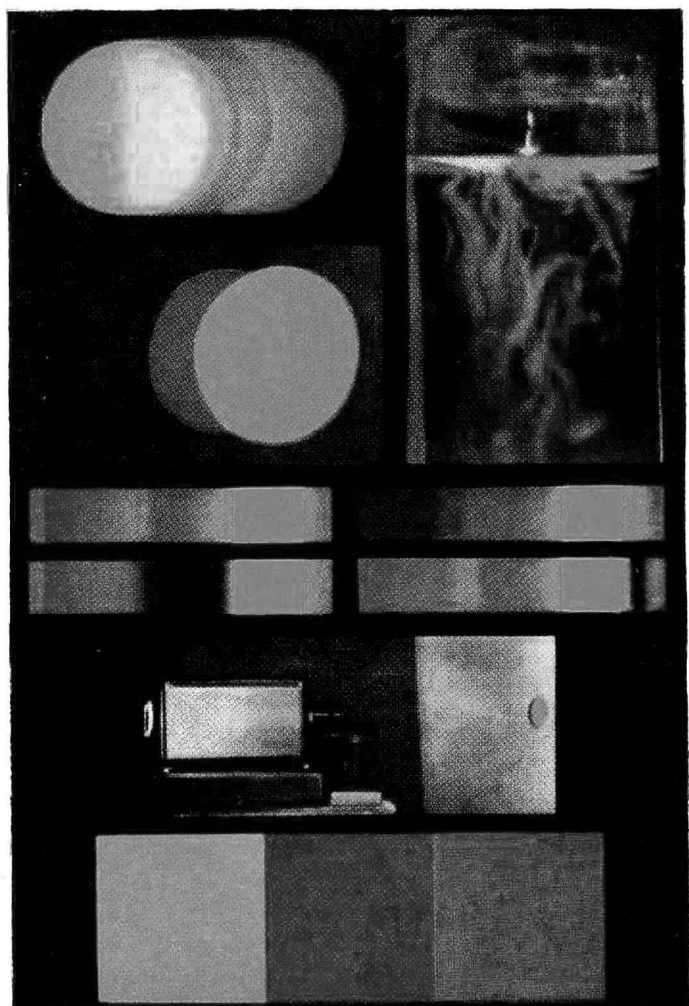
萬有文庫

種百七卷二第

五 雲 王

五 雲 王

商務印書館發行



第三章 色

彩色光譜

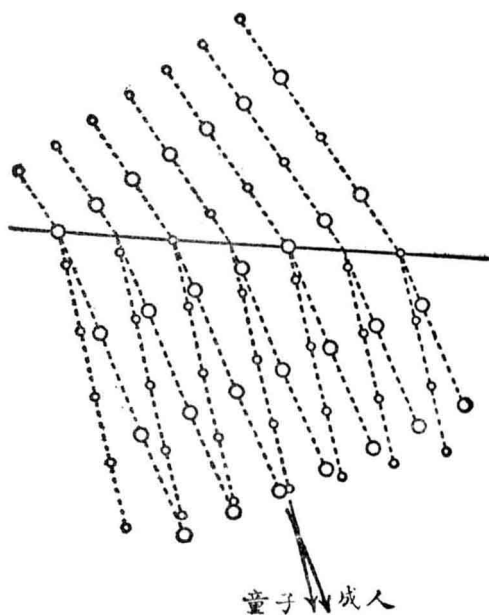
光有一種品質，我們叫它做色，我們常自己發問——色所倚靠的，是光的機構所具何種特徵？假使把光看做一列之波，在我們叫它做以太的介質內進行，那麼這個問題的答案，馬上可以寫出來。色所倚靠的，是光的波長，這就是說，倚靠任何一波的峯，與其鄰波的峯相隔的距離。這一句很簡單的話，它的證明，現在最好先擱一擱，不過這一件事實記在心裏面，不要忘掉，卻是很便利很有益處的。

從任何光源出來的光，大概都可以分析為一串的成分，這些成分，就各自引起色的感覺。各成分彼此不能顯然劃分，只是深淡漸漸變化，幾乎融成一片。最簡單的分析方法，有賴於稜鏡的利用。

牛頓就會用這方法，研究到一大串的實驗，這些實驗立下了物理光學的基礎，成就了他對於科學的最大貢獻之一。他的布置，如銅版圖十二C與一B所示。在此圖中，見有太陽光束一道，穿過光開關上的小孔，射入一間暗室之內，照在一枚稜鏡上面。太陽光從稜鏡冒出來的時候，已完全被分析了：這道光束拉成了一條色帶，叫做光譜。光譜的紅色一端，是透過稜鏡，屈折最小的光線所造成，其紫色一端，是透過稜鏡，屈折最大的光線所造成。其他各色，都排列在這兩個界限之間；雖然依照色的天然定義，可在這一條光譜帶裏面，找出紅、橙、黃、綠諸色，以及濃淡各級不同的青色與紫色來，但是彼此間都沒有清清楚楚的界線。銅版圖十四D所示的，便是光譜的彩色照相。

我們又要預先說一句話了。我們所見光譜裏面的各色光波，以紅波為最長；在光譜那一端的，波長最短。我們早已用正在進行的隊伍，比喻過光的折射。這一隊人從容易行走的地面，步入崎嶇不平的地面，其陣線若與後者斜交，那麼各隊伍就有偏轉的傾向，其陣線與兩地的交界，更近於平行。正在進行的光波，由一介質斜行而入另一介質，也要改變它們的方向，其情形正與這隊伍相同，而且所偏的方向也相同。現在我們可以把這比喻，推廣一下。假使這正在進行的隊伍，是由童子組

織成功的，並不是成人所排列的，那麼陣線的偏轉更大，因為他們的腳較短，當他們走進這塊高低



(圖五十二) 在這簡圖的上半截，童子與成人相間排列，正在光滑的地面上，向前進行，各守隊伍不亂，彼此的距離也不變。圖中大圈代表成人，小圈代表童子。下半截代表粗糙的地面，童子與成人走到此處，都向左偏轉，而各排童子比各排成人，偏得更左一些。這個圖因為要做比喻的緣故，所以假定各排都竭力保持其隊伍不亂；並且假定各排不會互相衝入別排的陣線。各排間的距離，並「不」代表波長。

不平的地面時，所受的阻礙較大之故。假使這隊伍中既有成人，又有童子，相間排列，如圖五十二所

示一般，那麼成人必將與童子分離：童子的陣線，比成人的陣線更爲偏轉，非但落後，而且在實際上依照不同的方向進行。稜鏡使長短各異的光波，互相分開，情形正與這童子成人的隊伍相同；而且這一個比喻，還可使我們記得，短波的偏向，大於長波。

一切長短不同的光波，或顏色不同的光波，在自由空間內，都依同一速率進行。如果不是這樣的話，一粒星隱在別的天體後面，例如隱在月亮後面而不見時，就會顯出顏色來。假使青光行得最慢，這粒隱藏的星就呈青色；因而在再出現的時候，就要呈紅色了。光在透明的介質內，比在空間裏面行得慢一些，而且大概說起來，短波比長波慢，即青波比紅波慢。

彩色銅版圖一B的照相，表示牛頓實驗的推廣。這推廣的實驗，是讓光譜的一小部分，通過屏上的小孔，再照在第二枚稜鏡上。於是可見第一枚稜鏡的分析工作，是已經做完了：挑選出來一部分的光束，並不被稜鏡展成第二組光譜，好像原來的光束一樣，而且也沒有新的顏色出現。屏上兩次所現的光痕，的確稍微放大了一些，因爲光所經過的兩條狹縫，多少必有一定的寬度，這寬度就引起各色光的互相重疊。所以從第二條隙縫中通過，而由光譜中選出來的波長或顏色，就給第二

枚稜鏡展開了一些隙縫愈狹，其選擇性愈高，那麼這種效應就愈微弱。反過來說，假使把第一條隙縫張開，那麼屏上所現各色光斑，互相重疊的很多，以至於在中央部分，一切顏色都疊合在一起，又變成白色，如銅版圖十四所示了。

由這幾個實驗，可知由稜鏡的折射作用，以實行分析，立即可以達到完全的地步。其實不獨稜鏡如此，凡是利用光速度隨波長而異的性質，對於白光行分析之術，所得的結果，莫不如此。在眼睛看來，這是顏色的分離；然而可以說它是長短光波的分離；我們不久就要知道，第二種說法，較為妥善。

光的品質

現在要講到極重要的一點了。當稜鏡的分析工作，已見成效的時候，我們就覺得眼睛可以查察的分離作用，是不能夠再使之發生了。光的可見品質，已被我們窮究到極點。光是有速度的；在自由空間內，一切波長的速度均相同；不在自由空間內，光速度隨波長而變，又隨它所通過的介質所

具的本性而變；折射作用與光譜分析，就從速度的變化而來。光顯然還有強度；又有波長。僅就視覺而論，光的品質已盡在於此了。其他還有一種特性，通稱爲偏極度，這種特性，有賴於各波單獨運動的方向，其間的關係，卻甚簡單。我們知道海裏的波，是上下起伏的；但是就光而論，卻沒有這種獨一無二的方向，波的運動，既可以或左或右，也可以一上一下，更可以在上下左右之間，依任何方向忽來忽去。這種效應，到後來適當的地方，再提出來講，現在不過先列一席，使光的品質表中，沒有虛位罷了：我們的眼睛，是看不見它的。

所以僅就眼睛所能見及者而論，光的強度與波長，一有定義之後，光線的本性即已臚列無餘。假使光線的組織很複雜，是波長不同的光線混合而成，那麼更須說出各成分的強度來；但是舍此以外，也沒有別的事情了。我們對於顏色的感覺，的確是千變萬化，層出不窮，但是這許多的感覺，並非光的本身變化其品質所致，卻由眼睛與腦筋變化其反應而來。前者與後者，是不可不加以區別的。

我們自己要想像光，就想像它是一種波動，這種方法，我們覺得有很大的益處，至少在以前是如此。光的主要品質，恰恰是波動所宜表示的特性。既有這種情形，我們天然要自己問問自己，我們對於其他各波的行動，例如水波的行動，所具的各種經驗，是否暗示有幾種效應，應當在光這方面，找得到同等的效應，不出我們的意料之外。

須知海面上的波，其極顯明的特性，就是波長的變化甚大，這就是說，相連各波之峯，其間的距離，或遠或近，相差甚大。在極遠的一方面說，有大洋中的巨浪如山，在極近的一方面說，有微風所拂起的漣漪若繡。當我們從這一個觀點來考究光的時候，我們立刻就要遇到一件有趣非凡的事實，而爲之大吃一驚。這便是可見的光波，其波長祇限於極狹小的範圍之內。

紅光的波長，竟比一釐米的萬分之一還要小，而在光譜他端的短波，其波長不及紅光的一半。其他一切可見的波長，都限於這兩個極端之間。

既然如此，是否有其他波長的可能呢？光裏面是否有何隱匿，一向沒有給我們知道，以致光的波動說，因爲並不暗示我們的視覺，須受到這兩種限制，就此失敗呢？

由實驗知道，波動說未嘗使我們失望，又知道這種制限的原因，要在我們的視覺能力方面去找尋，不可在我們所能看見的這方面來搜求，如果我們的眼睛，換過了構造，所見的就一定不同了。就我們現在的經驗而論，知道波長的範圍，廣大異常，從廣播無線電所用，以幾百公尺計算的長波起，直到某種放射質所發，比我們所能看見的無論什麼東西，都要短小好幾萬倍的短波爲止。我們的眼睛，其有效範圍，不過是波長全範圍的極小極小一部分，無論我們的估計，是根據何種比較的標準。

這一個狹小的範圍，當然對於我們非常重要，因爲視覺的一切現象，都包括在內。所以就目下而論，我們自己限定，專在這個範圍裏面討論。須知一切關於色的事件，都要看這個區域裏的波，如何生成，如何在物體表面從該物體受到反射的影響，或如何透過該物體，以及最後如何爲眼睛與腦所接收而加以猜詳，然後可定。

顏料的作用

我們先配好一套裝置，使弧光幻燈所發的光，可從一條狹縫中穿出來，射到一枚透鏡上去，而由這枚透鏡，把這狹縫的像，映在屏上。現在我們若把一枚稜鏡，放在這條隙縫的前方，那麼屏上本來有的狹長而呈白色的像，就被這稜鏡展成彩色光譜，如銅版圖十四D所示一般。這光譜可以看做一串隙縫的像，彼此疊接而成；稜鏡把入射的光，分解為不同的波長，所以生出這些像來。我們若再取紅玻璃一片，放在隙縫的前方，那麼光譜中除紅色以外，其餘一切諸色，都被滅盡（參閱銅版圖十四E）。我們察得這並不是此色轉變到那色的作用，只是破壞的作用罷了。一塊紅的玻璃，其特性並非把其他各色都變成紅色，卻是除紅色以外，把別的顏色都毀掉。這的確是一切着色作用的主要特點。物體所以有各種顏色，其故就因為本身好比一張篩子，把不是自己的顏色都篩掉，而把自己的顏色留下來。

我們已經說過，用紅玻璃遮在隙縫前方，屏上就留下紅的像。假使我們向這紅色的像，細細察看一下，我們即見像的頂部與底部，界限很分明，而像的左側與右側，卻模糊莫辨。前者是隙縫頂部與底部的像，各種波長的光都把它們排成一線。但是兩側的模糊，卻使我們知道，組成這像的，並不

是恰恰祇有一種波長的光，卻是紅光附近的各波長，在其狹小的範圍內被抽出來的光。因為如此，所以兩側有與他色稍稍重疊的地方。

假使我們用一片黃色的玻璃，來遮蔽那隙縫，那麼兩端的重疊部分，甚為顯著（參閱銅版圖十四F）。在事實上說來，我們初看這光譜的時候，見它似乎未嘗受到什麼影響，但是仔細一看，即見青色的極端，已經沒有了。黃色的玻璃，竟會容許這麼複雜的一組波長通過，實令人驚異得很。我們不禁要這樣想，以為黃色是純粹色。因為我們由實驗發見，透過黃玻璃的光，含有很多的波長，其分別對於眼睛所生的影響，各各不同，所以我們必定得一結論，說稜鏡與眼睛，使我們對於「純粹」一詞，不能下同一的定義。這是視覺過程中非凡有趣的一個特點。然而在我們尚未詳論此事以前，且讓我們對於着色的現象，再作稍進一步的討論。

有色的液體，其色之產生，即由色之破壞而來，有色的氣體也是如此。這一種過程，又是固體着色作用的原因。當我們把水彩畫的色料，塗在一張白紙上的時候，我們並未產生具有新品質的光，不過把早已存在的光，毀掉其一部分罷了。我們把色料塗在那張白紙，凡是照上去的各種

色光，它都要反射出來。現在我們是把一薄層透明的液體，鋪在這紙上了，光從這液體經過兩次之後，再到我們眼睛裏來；第一次是射入液體而到液體下方的紙上，第二次是被紙反射後，再鑽出液體來。假使這液體把紅色以外的一切波長，都吸收進去，那麼就祇有紅光，回到我們的眼睛裏來；而我們所着在這白紙上的，便是紅的水彩色。假使這液體祇吸收紫光，那麼白紙就把黃光反射到我們的面前；假使這液體祇吸收紅光，結果顯出綠青色，諸如此類。我們把各種水彩色，一層一層的罩上去，紙面上的破壞主動者，其數即漸漸增多；若不是丹青妙手，那殘留下來，送入目中者，當然是黝黑而不鮮明的顏色。

油畫的着色作用，卻與此不同。油畫所用的顏料，是含有「實體」的，這就是說，含有一種固體，可以把入射光反射與散射出來，而且與水彩畫的白紙，具有同一功用。是以射在油畫上的光，並不達到帆布；而且後塗上去的一層顏料，其厚度已足以把先塗上去的一層，完全遮蔽起來。水彩色料中和上鉛粉，也有同一的效應。

顏料的產生顏色，是由破壞顏色而來，這是事實，而我們對於色的觀念，卻很容易料想到一色

變成他色；這一件事實與這一種觀念，當然是直接矛盾的。我們在此處，又見波動說予我們以合理的解釋。我們都知道，一組波決不能直接變成波長不同的另外一組波。海洋中的巨浪，在沖入港口的時候，或從塘岸被反射之後，並不會變成一組微波。所以當紅光通過有色透明體，或從一物體被反射出來的時候，不可預期它會變成青光，青光也不會變成紅光的。光源便是光中一切諸色的來源。我們不可不假定，在某種情形之下，從太陽發出來的白光，在未被稜鏡分析之前，含有整個光譜裏面的一切諸色。

假使我們用同樣的方法，把其他任何光源所發的光，加以分析，那麼我們覺得光譜的顏色，大都不相同。例如石蠟燈的黃燄，它的光譜就不含波長短的各色。就是太陽的光譜，也時時變動。一塊青布，其所以有此青色，與因此而得青布之名者，就因為在完全日光裏面，布上的顏料把照在布上的光，吸收去大部分，祇把深青色的光，放回到眼睛裏來的緣故。把這青布放在石蠟燈光之中，看起來就是黑的，因為石蠟燈光中，並不包含青布所能反射的唯一色光；所以沒有什麼光給它反射出來。

假使我們取一束名爲「純黃」色的櫻草花，而命光譜的各色，陸續照在花上，這一束櫻草花的顏色，就隨着所處的地位而變化。這櫻草花在紅光裏面，看起來是紅的；在黃光裏面，顯出它的天然色；在綠光裏面，看起來是綠的；但是在深青光中，就顯得是黑的了。這最後的一種，便是櫻草花不反射的唯一「波長」。同樣，其他任何物體的顏色，在我們看來，非但有賴乎它自己所染的顏料，而且還靠着使它可見的光。日光流入房內，或許先照及白壁，或彩色牆、或地毯，而全房間的陳設，其顏色因此受到了影響。

我們的一切顏色，似乎都可由分析法得之於「白光」，然則「白光」是什麼東西呢？我們當然很容易說，白光便是平常白晝的光。但是我們都知道，這白晝的光是品質不一的：攝影家知道得很清楚。當黃昏將近，太陽快要沈沒的時候，日光就變得比較富於橙色及紅色。在高山頂上所見的日光，比在地面所見的富於青色。所以白的日光，不容易立它的定義。我們所謂「白光」實在是各種波長的某種平均組織：這一個定義，平常用起來也够了。假使要說得更精密一些，那麼各成分的相對強度，應當用某種光標準，直接或間接逐一加以規定，這些光標準，其本身都可以詳細敘述，正