

萬有文庫

第二集七百七種

王雲五主編

光的世界

(三)

布格拉著

陳徽生譯

商務印書館發行

光 的 世 界

(三)

著 格 拉 布

譯 生 嶽 陳

萬有文庫

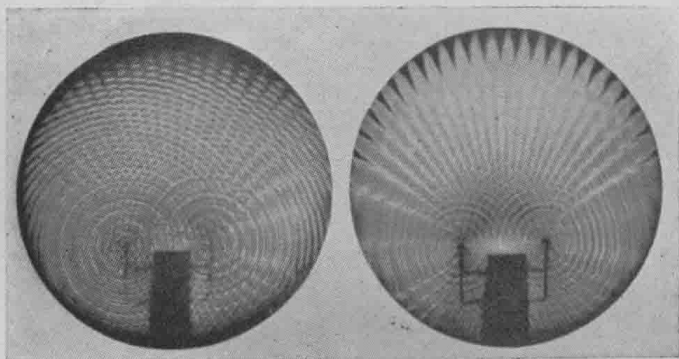
第二集七百種

總編纂者

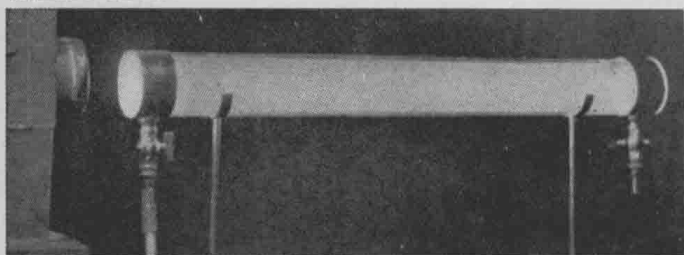
王雲五

商務印書館發行

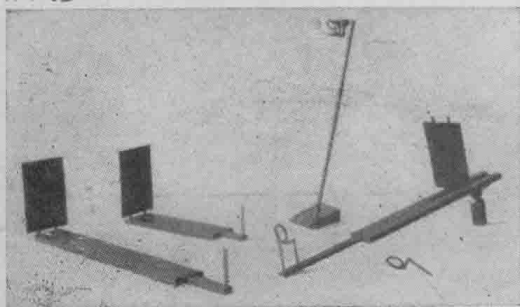
銅 版 圖 十 五



A. 這兩幅照相，是安特雷特教授所攝的。它們代表水銀表面上波紋傳布的情形。波紋從兩點出發，激波器隔開一定的時間，屢屢在這兩點打擊水銀表面。左面的照相，用電花攝取；右面的照相，用閃光攝取，閃光時間一秒鐘。干涉作用，很容易看見。波紋分成輪輻狀的線叢，可表繞射光柱產生的樣式，這些光柱為數甚多，因為激波器分離頗遠之故（參閱第一六三頁）。



B. 丁達爾對於空氣中懸浮細質點所散射的光，作實驗時所用的管子（參閱第一八二頁）。



C. 楊氏所製與所用的測毛器。各器有纖維夾一，開小孔的屏一，滑尺一，用的方法（見第一九七頁）。



A. 在這幅畫裏面，河水清澈，岸上橫過河中的樹，在水面上並無影子（參閱第一八七頁）。



B. 但是在這幅畫裏面，水是混濁了，樹影即現於水面。把這兩幅畫比較，卻不可加以推廣，乃至兩幅畫整個的相對色調，也拿來考究一下。泥水實際上確被太陽所照；不過這樣的兩幅簡單圖畫，要把它們的色調，加以相對的調節，使濁水被太陽照耀的情景，也能顯出來，這是很不便當的事情（參閱第一八七頁）。

第五章 天空之色

光的選擇散射

天空的顏色，變化多端：晴朗無雲的時候，常呈一片純青，這是基本的顏色；雲氣遮蔽日月，有時候在日月的四圍，現出數重環形的暈，繽紛五彩；朝日初昇，或夕陽西墜，就有紅色、金黃色，以及綠色的霞光發生；此外尚有其他種種效應，不能盡述。凡此天空各色，它們的成因，都是組織大氣以及浮在大氣裏面的各種分子與質點，遇到了光的各波，彼此之間發生反應所致。大氣之中，並無着色的物質存在，沒有一種東西，其作用好比顏料，也會吸收若干種一定的顏色，而讓別の色光過去。天空中祇有顏色的分離作用，卻沒有顏色的破壞作用。以前某一時期，曾有人料想過，以為空氣裏面包含着一種青色氣體，或者空氣本身就是青的，紅光是被它吸進去了。不過此事如果屬實，那麼日月

與衆星當它們愈挨近地平線，因而它們的光線，在尚未達到我們的眼中以前，愈須橫過更多的空氣時，它們的顏色，就要顯得愈變愈青了。我們應當看見當頂是一片淡青色，而四圍的下腳是呈深青色；但是實在的情形並不如此。

從波動說，卻可想出一個較佳的解釋來。光在空氣中經過，必定被那懸浮在空氣裏面的質點，向四方散射，好比海洋中的波浪，沖激在凸出海面的礁石上，被它們轉過一邊而散射出去一般。組成光譜中青色一端的短波，一定比較長的紅波，更容易被轉向一邊，正好比微小的水波，撞在礁石上激回去，而較大的浪頭，卻自己鼓起來沖過礁石，再往前進。這樣一來，分離的作用就此發生，而顏色也出現了。根據這一個假說，我們應當預料太陽的光，在日出日沒的時候，傾向於黃色，甚至於紅色，因為光波橫過空氣的路愈長，青色光線的除掉，就愈近於完全。這被轉向的青色光線，同時就使天空變成一片青色。

這種效應的例子，是甚多甚多，普通得很。從煙肉裏面冒出來的煙，襯着黑的背景，望過去就見它是青的，尤其在煙中所含散射光線的碳粒，是很小很小的時候，看起來更青；例如一盆木炭火或

一爐煤炭火，在尚未添進生炭或生煤的時候，火中出來的煙色，就是如此。一塊一塊的碳，顏色當然是黑的，不過煙裏面所含的碳粒，極細極細，這些細碳粒的散射作用，其效果遠比顏料性質的吸收作用來得大。要得好看的青色，碳粒子應當比光的波長更小纔行，而在這種情形之下，吸收的效應，卻也比較的更小了。在另一方面說，假使這煙的後面是光明的背景，或是發光的雲，或竟是太陽本身，那麼看過去就見透出來的光，呈褐色或紅色。

捲煙燃着的一頭，發出來的煙在空氣中上昇的時候，顏色是青的，但是曾經吸入口中，再噴出來的，卻呈灰色。就後一種情形而論，煙中的粒子已從呼出來的暖氣，得到一層潮氣，包裹在外面，因而加大了一些，粒子一大，就更有散射長波的趨勢了。

在有霧的大氣裏面，紅光的輸送，比較白一些的光來得容易，因為水的質點，所能散射的紅光長波，沒有像它所能散射的青光短波那麼多。在霧氣籠罩之下，要攝取照相，鉅細不遺，祇須把黃色玻璃一片，遮在照相機的透鏡面前，就可以容易得多，因為這樣一來，被散射的青光，都給黃玻璃吸收了。駕駛汽車的人，因為車燈發出去的光線，有一部分被散射回來，回到他的眼中，很容易使他

目眩心迷，所以往往在汽車的頭燈前面，罩一塊紅色玻璃，以便剔去那些較短的波，使餘下較長的波，不容易受到散射作用。在大霧之中行車，常用紅光信號來幫助，也是爲了這個緣故。然而近來的實驗，卻已經證明紅光的應用，其利益不甚可靠，因爲大霧的質點很大，大得足以散射一切波長。唯有紅外波，方始長得足以避免散射作用；這紅外波不久就要講到了。

分子散射

如是看來，當光線橫過含有細質點的大氣時，其所以呈現顏色的原因，可用波動說來解釋，頗爲容易。這些細的質點，或許是飛揚的塵埃，或許是飄浮的水蒸氣質點；兩種東西，都有人提出過，說它是發生顏色效應的主動者。不過已故的爵士雷理（Rayleigh），曾由計算方面證明，若欲尋覓天空顏色的成因，無須在空氣本身的分子以外，更去找旁的東西。空氣的分子，當然是很小很小。比光的長度小得多，但是各分子彼此所發的微弱散射作用，卻也可以集腋成裘，分子的數目既然龐大可驚，這積聚的作用一定可觀，而我們從青天所見的光，其原因當然藉此足以說明了。靠近地球

表面的地方，大氣之中有很多的物質，懸浮飄蕩，這也是發生散射作用的一個原因。不過地球面上的塵埃，飛揚起來的高度，最多不會超出三千英尺以外，而且在高出海平面五千英尺，美國加利福尼亞州威爾遜峯觀象臺上，已能測量天空所發之光的強度，其結果與從 Rayleigh 學說推得的，互相比較之下，發見彼此完全符合。

從太陽光向旁側被散射的光，穿到了較下層的空气時，其所現青色，就不像在上層空氣中那樣的純粹，因為在上層空氣裏面，並沒有塵埃在空氣分子本身所散射的短波以外，再把較長的波也散射出來。緯度較高的北半球地方，尤其是在我們英國境內，空氣裏面所含的溼氣，通常總是很多很多，所以天空的青色，與緯度較低的別國境內，所見的深青色相比較，前者帶灰白色，並且是水汪汪的。然而這些緯度較低的國內，雖有這種鮮明的青天可見，卻也不能常常享受：有時候熱而燥的風捲下來，吹起了塵埃，飄揚在空中，愈飄愈多，直到青色全消，天空變成黑暗無色為止。於是或許有雨帶着空中的塵埃灌注下來，真把天空洗了一洗。

丁達爾慣常做一種實驗，用以說明青色的生成，由於懸浮細質點的這一種學說。這實驗用玻

玻璃管一根，大約三英尺長，其裝配情況，如銅版圖十五B所示。玻璃管的兩口都封閉。而封口的是玻璃板兩塊，所以可使光柱由兩端通過此管。先把玻璃管中的空氣完全抽出，然後把空氣、鹽酸以及丁烷基亞硝酸鹽蒸氣，這三種的混合物，再灌進去。在數分鐘之內，就起化學反應，以致生出極細的質點，懸浮於這混合氣體之內；其大小都是均勻一致，這卻是很重要的一點。這些質點遇到青光，就要把它向一邊散射；若有觀察者從這玻璃管的一端，向內窺望，由這些質點開始生成的時候望起，望到它們漸漸增多，他就要看見管中先有暗的深青色，然後因質點的大小增加，也跟着愈變愈鮮明，愈變愈濃。丁達爾發明這實驗，甚為高興，他自己有這樣一句話：「我們所造的青色，縱使不能超過最濃厚最純粹的意大利青天，卻也可與它彼此媲美了。」

此項實驗，另外還有一種方式，很容易說明。取玻璃缸一隻，注入極稀薄的一硫硫酸鈉溶液。使光線通過此缸，射在屏上，屏上所現的是一個白圓斑。若再把稀鹽酸加進去，硫磺的質點就在一分鐘或兩分鐘內分離出來，而且大小漸漸增加；當這些質點由分離以至增大時，通過水缸的光，其顏色就從白變為黃，由黃再變成紅，而屏上的白圓斑，也先變成一個黃太陽，再變成西落的紅太陽。這

效應的顏色照相，見於銅版圖十四H。

丁達爾曾相信過，假使他從他的玻璃管內，把所有的塵埃與所有的蒸氣都拿掉，那麼玻璃管內就沒有什麼東西留下來，可以散射光線，因而光沿玻璃管直進的時候，從光線的橫側望到管中，就沒有什麼東西可以看見。在這一點上面，丁達爾是錯了。不過他的實驗，卻極宜於表示質點散射作用的存在，以及被散射的顏色倚靠質點大小的關係。

現在的爵士雷理 (Rayleigh) 曾表明空氣分子的散射作用，即使在丁達爾所用那樣大小的玻璃管中，也應當有察見的可能性。他指示天空即使在祇被月亮照着的時候，也有光從其中出來，所以太陽光既然比月光強，強至五十萬倍，那麼太陽光橫過的空氣層，若祇有大氣高度的二百萬分之一，這空氣層所散射的光，也應當與月夜的天空一樣，很容易看見：在實際上說來，幾英寸厚的空氣層，其所散射的光量，已足以使我們看到了。當我們用適宜的光學儀器，來做這實驗的時候，情形確是如此。

在早晨與將晚的時候，太陽與天空常呈燦爛的顏色，這顏色的一大部分，當然是空氣分子所

引起的效應以外，再加上塵埃與水蒸氣的散射作用所致。大火中冒出來的煙，例如森林偶或着火而發的濃煙，有時候使天空再罩上一層深紅色。當克刺卡陀阿（Krakatoa）火山在五十年前爆發的時候，把最細的塵埃，噴射到空氣裏面，噴射了不少；那一年全世界所見的天空顏色，都是出奇的美麗，隔了幾個月之後，方纔消失：這是因為飛揚在空中的塵埃，飄到了全世界，久留於空中之故。在輕煙淡霧籠罩之下，遙望遠處的山色時，看見它們似乎都是青的；不過這些山送到我們眼前來的光，當然不僅是青的而已。這一片青色，也來自山與我們中間的大氣分子與質點；我們與這遠山，其間當然隔了一部分的天空。

通常的雲，總是水滴的集團，而這些水滴，其大小都足以散射光譜的一切色光，因其如此，所以當那一片片的雲，把太陽光線反射到我們的眼中時，它們都現作一塊塊閃光的白絮。當它們適在太陽與我們的中間時，它們或許把太陽光一齊遮沒，於是看起來就是黑的了；祇在四周沿邊的地方，有充足的太陽光通過，纔被散射而顯出銀光燦爛的輪廓來。

海的顏色

深海的所以呈現青色，也可以用同樣的理由來解釋。不過這一件事情要證明它，卻已覺得比較困難一些，即使是大觀測家如已故的爵士雷理，也對於此事有些懷疑。海的青色，有許許多多確然是反射天空所來的青光而發生的：起初的時候，或許以為如此解釋，其理由已很充分。在青天白日之下，我們不得不察見海的顏色，看起來也是青的，尤其是在輕風吹皺海面，激起微波盪漾，而這些微波的斜面，把天上照下來的青光，反射到我們眼中的時候，更不能不祇見青色一片。在天色陰暗的時候，海面看起來就呈灰色了。

然而在海灘近旁的水色，卻是綠的，因為在這地方的海水裏面，有極細的沙粒懸浮着，這些沙粒可以散射較短的波，所以當太陽光照入水中，照到了沙粒上面的時候，就有被反射的黃光，加在被散射的青光之內，這樣一來，自然呈現綠色了。假使水中有海藻，那麼它的紅褐色光，與青色光及綠色光相混合，就成功紫色光。不問淡水或鹹水，有時候若含有許多分得極細的懸浮質點，或含有

許多空氣細胞，那麼即使少許的水，看起來也是綠的。新西蘭（New Zealand）地方的普卡基湖（Pukaki），它的水是冰河裏灌來的，這湖裏的水，即使汲取一吊桶，看起來也現綠色；而且這種現象，的確不是不常見的現象。

如此說來，表示懸浮物質可使海水呈現青色的例子，是很多的了；然而還可以證明水的分子，也能散射青光，與空氣的分子一樣，加爾各答（Calcutta）的拉曼爵士（Sir C. V. Raman）近來在渡過海洋的時候，從觀察得到一個結論，說深海的紫青色，就可以如此解釋其原因：他曾在實驗室中做了幾次實驗，的確證明了光線通過極純粹的水中時，也有散射作用發生。

光線投在光滑清潔的水面上，並不是從水面投射的地方，向各方被散射的。所以水面不可得見；水面上並沒有什麼細微之處，可以辨認。樹枝橫懸在清水的上方，不會把影子投在水面。然而水中若是混濁不清，其中的懸浮質點，又足以在光線尚未深深透入之前，把它散射出來，那麼就有影子可以看見了，因為在這種情形之下，眼睛纔可以察出水面上太陽光照不到的地方，與其他各處有些異樣。這種影子，切不可與樹的反射像相混：前者浮在水的表面，後者則在水的底下，其離水面

的深度，正與樹在水面上方的高度一樣。波浪起伏的海面，可以看見其上有雲的影子，因為雲把太陽光截住，而浪頂波峯，卻把太陽光反射到我們眼中之故：在波平如鏡的海面，我們祇可以看見雲在水中反映出來的像。假使在大海輪上，憑欄俯望水中的船影，就看見船的影子，不會伸展到海水平靜，海色深青的那一部分海面上去。祇有輪船的運動激得浪花四濺，氣泡堆滿的地方，纔看得出船的影子來。在這些地方，水泡的四面，都把光轉向一側，教它射入我們的眼中，所以輪船的龐大身軀，若把光遮斷，散射的現象就此消滅，而影子也出現了。

在渾水河的水面上，影子是又濃又完全（參閱銅版圖十六）。

日暈與月暈

太陽與月亮周圍，有時候現出一輪一輪的彩暈，其原因也是散射效應，不過這種散射效應，須在特殊的環境之下，纔會發生。懸浮質點是很小很小的時候，它們可把光向四方散射：當它們與光的波長相比，要算很大的時候，它們就會把光反射出來，像固體或水滴一樣。在這兩個極端的界限

之間，有一個臨界大小，這便是發生日暈與月暈的原因；這臨界大小，便是質點約與波長同大。當我們觀察繞射光柵的作用時，我們就有一個相同的例子。就繞射光柵而論，光柵上條紋的間隔，其大小與波長同級（參閱圖六十六）。祇在兩者的大小，約略相等的時候，光柵的繞射光柱，纔有觀察之可能。假使各細隙的中心，相離得太遠了，這些中心就各自發生作用，彼此獨立，沒有關係；假使它們相隔得太近了，圖六十六的副波前，就不能夠成功。所以當水滴發生繞射效應的時候，水滴也是萬不可以過分大，萬不可以過分小。

我們很容易察知，假使一滴水滴懸浮於大氣裏面，而多少有一些繞射效應，這就是說，假使它可以使顏色的分離作用發生，那麼它就一定顯出日暈或月暈來，因為可以表示此項效應的，沒有別種現象了，假使有一道特殊波長的光，在水滴旁邊專依某特別方向散射出去（這是繞射的主要特點），又若以一屏放在光的路徑中，承受這被散射的光，那麼這光在屏上必定現出一個環狀來，其中心是C，如圖七十二所示者便是；這C點就是水滴在屏上射影的中心，其所以有此現象之故，因為我們所說的某特殊方向，可以隨便在DC的周圍排列，祇要它常與DC交成等角好了。我們還