

趣 味 中 心

正 中 科 學 知 識 叢 書

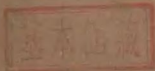
談 光

胡 珍 元 編 著



正 中 書 局 印 行

116603



談光



趣 味 中 心

正 中 科 學 知 識 叢 書

談 光

胡 珍 元 編 著



版權所有
翻印必究

中華民國三十三年六月初版

談 光

全一冊 正定價國幣二元七角
中版
本

(外埠加郵費)

編 著 者	胡 珍	元
發 行 人	吳 正	常
印 刷 所	正 中 書 局	
發 行 所	正 中 書 局	

(1261)

42502
4711

~~04717~~

~~425~~ 40940
~~4711~~ L0041-1

04691

目次

第一章	光的傳播	1
第二章	光的反射	14
第三章	光的折射	23
第四章	透鏡	37
第五章	簡單的光學儀器	50
第六章	球面鏡	63
第七章	光的分散	73
第八章	光譜	87
第九章	色	115
第十章	光度	105
第十一章	顯微鏡與望遠鏡	116
第十二章	X射線的應用	130
第十三章	X射線的治療價值	140
第十四章	紫外線	148
第十五章	輻射線與放射線	156
第十六章	可見的奇光	161

第十七章	太陽光	...	...	...	...	...	...	168
第十八章	人造光的起源	...	...	...	...	...	...	170
第十九章	路燈小史	...	...	...	...	...	...	189
第二十章	電燈的發明	...	...	...	...	...	...	199
第二十一章	發光塗料	...	...	...	...	...	...	211

第一章 光的傳播

我們要看見一種物體，必定要有我們所謂光 (light) 的東西，從那物體上射到我們的眼睛裏來，才能看見。在完全黑暗的房間裏，那兒就沒有光，我們便看不見東西；假使把眼睛緊閉，光線不能射入，我們也看不見東西。

電燈能自己發光，叫做發光體 (luminous body)。其他的物體，放近燈光，雖然自己不能發光，但是我們也能看見的，叫做被照體 (illuminated body)。因為燈光照在物體上，再反射到我們的眼睛裏，我們就看見物體了。

光是什麼東西呢？光是一種能 (energy) 的方式。例如由電燈所發的光，就是由電能轉變成的光能。光能仍可回復成電能，只要把光射到光電池上就可以。

光能從太陽（如無太陽，地球即冷無生氣）射到地球，到達時就成為光，和其他與光相類似的不可見的放射。

光能真正的方式是怎樣的呢？有沒有個一定的解釋呢？

關於光學的原理，有兩個有歷史的理論，經過三百年的抗衡，到現在尚沒有那一種能完全佔勝。其中一個曾把另一個

蔽了一百多年，後來竟全不受人相信，但是到了最近，把它重新修正，又重新用來解說某種現象了。

這兩種理論，一種叫做微粒說 (corpuscular or emission theory)，大部是由牛頓 (Sir Isaac Newton) 創說的。他假說光是一條微質點或稱微粒的動流，微粒從光源射出，走入眼睛，刺激網膜，於是引出視覺。又一種叫波動說 (wave theory)，是荷蘭科學家惠更斯 (Christiaan Huygens) 所創說，約和牛頓同時。他說光和聲一樣，都是成波動的方式。擲石池中，在石入水處便有圓形的波環向四圍擴散。手槍一撥動，在空氣中的聲浪，就以手槍為中心，向周圍擴散，使人耳鼓震動，就得聞聲。但是光卻走過真空，波浪又是非有介質 (medium) 不能存在，所以惠更斯 便不能不假說光所經過的空間，儲有一種看不見又完全觸不到的以太了。其時牛頓 的名聲甚大，波動說極少有人注意，直到十九世紀的開頭，方始有人提及。說也奇怪，牛頓 在時，他也相信光的傳播，有一部分是要用波動說來說明的，那時他發見一種現象，微粒說解釋不通，如用波動說來說明，那就很圓滿可信了。舉例來說，兩條光線，在一種情狀之下，能夠互相消滅，生出黑帶。這種現象，叫做干涉 (interference)。用波動說來說解這個現象，就是兩波適巧相合；一波的頂點和又一波的低處，在以太中適占同一的地位，結果它們便互相抵消了。

要詳細地說明干涉的現象，雖然超出本書的範圍，但是我

們所以要提及的，乃是因爲干涉的現象，雖是樹立波動說的基礎，與干涉現象相類似的，還有我們的新所謂非干涉現象。兩波能夠互相穿過，在相交的地方，雖然生有干涉，但是牠們所再現出來的，卻毫無變化。這個理由，就解說着一柱白光，穿過了一柱紅光，白色仍然顯現無色的道理。在微粒說方面，就難解釋怎樣有此現象了。從前有個批評微粒說的人說，假使光真是微粒的說法，我們的眼睛，便不能看出別個人了。因爲從我們眼睛裏放出來的光微粒，要和從他人眼裏出來的光微粒相撞，光微粒撞掉了，我們怎樣能看見人呢？

在十九世紀的時候，所有一切已知的光學事實，都用波動說來解釋，微粒說則棄之如敝屣。各種新發見，也無一不與波動說相吻合。但是到了二十世紀的起初，發見了更進一步的事實，用波動說就難說得通了。從光源射出來的能，並不成連續的光流，卻成細束，或微粒式的能，叫做光子(photon)。

把光照在一種金屬上，就有陰電的微粒發射，這微粒就叫電子(electron)。這現象就叫做光電效應(photo-electric effect)。電子放射的速率，並不如我們所想像的一定依紫光的強弱，就是對於各種不同的金屬，也沒有什麼大異。射在金屬上的光，不論怎樣的微弱，電子的速率總是相等的。在此似乎無法逃出微粒說的範疇，光能是含有微粒或光子的，在光子去刺激原子，或去受原子吸收的時候，電子便從原子中放射出來。

波動說對於此種現象，不能自圓其說，看了布喇格 (Sir William Bragg) 所說的類例，就益明白，他說：『假說我們從高出海面一百呎的地方，投一狹板於海中；那兒便有漲水，浪花便由此從水面擴散出去。浪花經過船舶並沒有什麼影響，在經過了幾千哩路以後，找得了一隻船，對那船的拳撞就可怕了；狹板粉碎在船旁，捲入空中，高達九十呎或說五十呎，或說二十呎，這些數目，看來都是同樣的荒謬可笑。但是這種情形，正和用單純的波動說來解說光電效應一樣。』

要解說干涉和光電效應這兩種現象，看來波動說和微粒說有混合的必要，這也是現在物理學上最有趣的問題。我們研究光學，就是自始至終在討論兩種理論所解釋的各種現象。

因為我們的得見物體，只有在光能夠從物體上射到我們眼睛裏來的時候，假定光是直線，我們就不能見圓形的物體了，這現象叫做光的直線傳播 (rectilinear propagation of light)。所以為便利起見，光可用直線來表示，叫做光線 (ray)。許多光線集合起來，叫做光柱 (beam)，或光錐 (pencil)。

如要試驗光是否依直線進行，只要用一條狹光柱觀察它是否成直線。從探海燈或活動電影機的投射燈放出來的光柱，邊緣銳直，這是普通所見的事實。當我們在旁邊觀察的時候，那支光柱就沒有一條光線能夠射入我們的眼睛。假說光是成直線進行的，除非有幾條光線偏轉到旁而來。這種偏轉，或稱散射

(scattering) . 是由光線擊撞空氣中的微塵而成。從油燈射出的光柱，如在光柱的中途散落白雲粉，就可使光柱更看得清楚。反之如果把一光柱經過完全沒有微塵的空間，我們在旁面就無法看清了。

天空晴朗時在日出前日沒後，所見朦朧晦澀之光，即是由光的散射而成。在太陽落下地平線以後，假使大氣中沒有微細的質點來把穿過地球面上的太陽光線偏轉向下，地球就會立刻完全黑暗，不會漸漸兒暗了。

一個可以確證光行直線的證據，就是針孔照相機 (pinhole camera) 的作用，這照相機是一個不通光的長方形暗箱，在一面的中央鑿一針孔 (普通用薄金屬穿成的)，另裝一個孔蓋子，用以啓閉針孔。在暗箱裏面針孔的對面，放一照相片。

照相機的作用，可用簡單的器具來試驗。把點着的蠟燭放在一張穿有針孔的硬紙板前面，再在針孔紙板的後面，放一屏障。屏障上就會看見一個清楚的倒像，燃燭可當作物體。因為燃燭放出很多的光亮，所以能夠產生一個清晰的影像。

現在火燭的頂部，是向四方送出光線。然而只有一極狹的光柱經過針孔，在屏障上成一個小的照明處。假使孔太大了，物體上的每一點，在屏障上就成一大方；那兒就有很多的部分重疊起來，像便模糊。孔愈小，則像愈明顯。但是孔太小了，光線穿過的便很少，像也要幽暗的。在真的照相機上，就要有長時間的

露光。假使孔的直徑(與照片的距離有關)減少到不滿 $\frac{1}{10}$ 毫米時，像非但不能明晰，反更模糊了。光穿過這種極細的針孔以後，卻不繼續成直線進行，而成極微的擴散了。這種現象，叫做繞射(diffraction)，可用波動說來說明的。

孔的形狀對於像的點明程度，卻沒有顯著的影響，為什麼道理呢？

孔與屏障間的距離增加，像仍明晰，不過像形放大，光量減少。同時物體距針孔的各種距離，在屏障上都能生出明晰的像來。

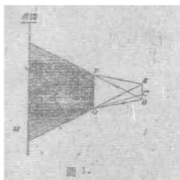
針孔照相機的應用，並不廣大。它主要的缺點，就在針孔所能穿過的光是太少，不得不有長時間的露光。它主要的好處，就在它的價廉，又有廣闊的視界，沒有附帶的畸變。

有種叫鸚鵡螺(Nautilus)的原始動物，牠們的眼睛，就是依針孔照相機的原理造成的。生活進步的動物，牠們的眼睛，就用透鏡來代替小孔了。

影子(shadow)的形成，又是光不能繞物體而彎曲的一個證明。但是大多數的影子，包括一切物體阻擋了太陽光而生出的影子在內，都是模糊不明的。我們將怎樣解釋呢？

用一個尖頭光源，如汽車的頭燈，或其他類似的小絲燈，插入一個障礙物，使它投出一個影子來。但是如果用了普通煤油燈或鴨蛋燈的擴大光源來投影，就得有模糊的影子(圖1)。圖

中。AB 是燈，PQ 是障礙物。影的黑暗部，叫做本影(umbra)，陰暗部叫做半影(penumbra)。屏上的影子，實在就是整個影子的一個橫截面，假使障礙物是圓球，影子就包含一個中心黑圓片，有清楚準確一定的圓周（即本影），外面圍繞一個圓形的較



淡的黑帶，有個模糊的圓周（即半影）。半影向外邊漸漸兒淡，直到全無黑影為止。

從圖上看來，沒有一種光源能夠深入本影的了。但是從光源部分來的光，還照明了半影。例如在半影中的 M 點，接受光源 CB 間各點的光，但沒有從 CA 來的光。從光源漸漸增大的面積上來的光線，能夠到達屏上，直到最後從整個光源來的光線，達到屏上，半影也就中止。

蝕時所現的巨大黑影，那是天體所投成的。日蝕為月插入地球與太陽之間而成。地球表面在本影以內的地方，就是太陽完全被月遮蔽的所在，叫做全蝕。在半影以內的地方，太陽不完全被月遮蔽的，便是部分蝕。地球表面在月影內的各處，觀察太陽的外表，則各處不同。

因為地球自轉同時又繞太陽旋轉，月又繞地球而轉，所以。

日蝕的全面不能在一一定的地方延長到八分鐘之久。七分鐘就要算全蝕可有的最長時間了。

日蝕時的任何時候，地球面上的月影總是成卵形的（因光線傾斜的緣故），但在日蝕進行的期間，這卵形部分在地面上的行程，則為一帶。這條帶的行動，好像一條黑鞭橫掃地球；卻是個動人心目的景象。祇有在全蝕時纔能看見的一個美觀的現象，就是日冕，在太陽的周圍現出明亮的珠光，或許因為空中的微塵受了光的壓力，壓出了太陽表面外千萬里外地方燃燒起來所致。太陽的紅焰，或稱紅焰大舌，也同時可見。

因為月繞地球，每二十八日一周，所以可以預料每一太陰月中，就有一次日蝕。但是月繞地球的軌道和地球繞太陽的軌道，並不正交，而稍有傾斜（斜 5° 度），所以要太陽、月，和地球在一直線上，機會就少了。

月繞地球的路線，略成長圓形，叫做橢圓，所以月與地球的距離有長有短。普通日蝕時，月距地球的距離總是地球正落在本影中。月的視大小，於是比太陽的略略大些了。偶而地球在本影之外，月的視大小就比太陽的較小，不成全蝕，而成環蝕了。

月是不能自己發光的，她的亮光，不過受太陽的照耀，祇有那向太陽的半個月面是被照的。因為這個緣故，月亮祇有那被照的部分，纔能從地球上看出來。當太陽光所射到的月面，向地球或對面的時候，我們就見月的整個被照面，那就是滿月，太陽

光雖流過地球而後射到月面，但是我們不能目觀，因為那兒沒有塵埃來把日光分散得使我們看見的緣故。假使太陽、地球和月三者在一直線上，太陽光就無法射到月面，便成月蝕。

在月蝕的時候，本影甚大，整個的月面，正可被包圍在裏面。假使月球在本影之內，那就沒有真正的月蝕，因為整個的月，有一部分受着太陽光，月面不過少亮光一些罷了。假使月球一半在本影中，一半在半影中，那便是部分蝕。地球的影子，映在月上成圓形的吃蝕，正和太陽部分蝕時的外形相似。

用微粒說來解說光行直線的現象，則假說微粒從光源射出是成直線的。但在波動說上，就沒有這樣簡單而直捷的解說了。音波和水波，實在都是成圓角擴布的。牛頓不能找得什麼證據，來證明光是成圓圈的散布，因此而摒棄了波動說。光行直線的現象，要有完善的解釋，還以微粒說為勝。

在針孔照相機上我們早已說過，從牛頓的時代起，光的纖維彎曲叫做繞射的現象，早已發見了。光的彎折比了音波，為什麼彎折得這樣小呢？其理由則在光的波長很小，不過十萬分之幾厘米而已。當光穿入小孔或受小的障蔽時，纔有顯著的彎曲。

用波動說來解釋光成直線傳播的現象，是法國人夫累涅爾 (Fresne) 用數學方法計算出來的。我們只能舉個譬喻來說明他的解說。假說一羣人成直線的相並前進。直線就表示波面，每人走的路程和直線成直角的，就代表一條光線，所有一切的行

程橫列，都和直線的波面平行，就代表一下行的光柱。假定各個人都和波一樣，沒有要向特定方向走去的趨向，但是他不能不向前進，因為無論要有怎樣的旁面行動，都要受隣人阻住的。同樣的理由，光波不會向旁面擴散，因為向旁的光波要受干涉現象消滅的。

現在假設這一行列的人遇到了一面牆壁，牆上有個門，祇容兩個人走過。這兩個人一走過，他們就能夠擴散出來了，因為他們沒有隣人來擁擠他們走直線了。這就表示着繞射。

有一個時期，看着光的行徑，好像是不費時間的。伽利略 (Galileo) 曾做過試驗計算光的速率，但是光走得太快，不能使他測計出來。他的方法是叫兩個觀察人，各帶一燈，在夜間駐紮隔開的兩個山頂上。第一個觀察人，先開亮燈，同時記錄亮燈的時日。第二個觀察人看到了那燈光，隨即把自己的燈也開亮。第一個觀察人看見了回響的燈光，隨即記錄那時間。幾次反復試驗，總得不到一致的結果。實在這偶試驗，不過計算出第二個觀察人能怎樣迅速的開燈，和第一個觀察人能怎樣快記出時間來罷了。

這個方法的原理，嗣後卻應用成功的。在第二個觀察人地方放架鏡來把光反射，用極快的速率來轉動一個齒輪或旋鏡計算時間(因為最精製的停表還是無用的)。

第一次決定光的速率，是在 1675 年，丹麥天文學家勒麥

(Roemer)從觀察木星的一個衛星蝕，算出光經過地球軌道直徑約為186,000,000哩所需的時間。他的數值雖只近於真確，但方法卻是正當的。光真確的速率，是每秒186,000哩，或每秒300,000,000米。

光的速度雖然大家知道是極大的，但是這樣多位的數值，在勒麥同時代的許多人看來，總是嫌太多的，直到1728年英國天文學家布拉德利(Bradley)用另一種天文學的方法證明了他的數值，纔普遍的被人承認了。

布拉德利觀察得恆星的視向，一年中總略有變動。這變動叫做光行差(aberration)，成20秒的角度。據說這個現象的解說，是布拉德利在航行於泰晤士河中發見的。他注意着桅竿上旗幟的飄揚，就風吹的方向看來，在船行動時就有變動，而且當船每次轉換方向的時候，旗幟飄揚的方向也同時改變。同理從恆星來的光，因為地球依軌道進行的緣故，它的視向也要變動了。

圖2中，假設從恆星來的光，沿着A到B的方向下來，達到望遠鏡，望遠鏡因為地球繞太陽的行動，就要旋轉的從AB轉到BC的方向。光的視向將為DB，望遠鏡也必須依此方向夾緊，恆星纔能在目鏡的中心



圖 2.

顯得，正像一個人在雨點直下的時候，要迅速的行走，必須把傘

得得向前斜些才好。

在地球行動經過 BC 距離的時候，光就走着 AB 的距離。

因此
$$\frac{\text{地球的速度}}{\text{光的速率}} = \frac{BC}{AB} = \tan \angle ABD$$

這樣，知道了地球的速度（每秒 19 哩）和 $\angle ABD$ 角（ $\angle ABD$ 角在地球和行星成反對方向轉動時，是行星兩極端截向所成之角之一半），那就可以計算出光的速度來了。

1849 年菲佐 (Fizeau) 設計一真確的方法，用一高速的齒輪，使光走過一個比較短的距離，成為陸上決定光速的第一個方法。

將一束條光柱通過玻璃板 G (圖 3)，再穿過輪齒間的缺

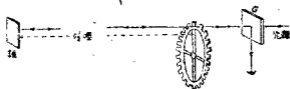


圖 3.

口，經過約 4 哩路以後，用鏡子把它反射過來，使它再經過缺口一次——只要旋轉輪能旋轉得不可感知就得——再被玻璃板反射到眼睛裏來，如圖 3 所示。於是再把旋轉的速度增加，直到無光到眼為止。這就表示輪齒代替了缺口的地位，原來光過

缺口再向外走的，現在被阻擋了，光便不能回復過來，知道了齒輪的速率，和輪齒的數目，非左就計算出光來回所需的時間。

他的齒輪有齒720。因此從缺口的中心到旁齒的中心，其中的距離是齒輪圓周的 $\frac{1}{1440}$ 。旋盤所用的速度為每秒12.6轉。

$$\therefore \text{一轉所需的時間} = \frac{1}{12.6} \text{ 秒}$$

$$\frac{1}{1440} \text{ 轉所需的時間} = \frac{1}{12.6 \times 1440} \text{ 秒}$$

此時光所走的總距離 = 10.7 哩。

因此光的速度 = $10.7 \times 12.6 \times 1440 = 194,000$ 哩/秒。

最近決定光速的方法，是邁爾爾松 (Michelson) 在 1924—6 年完成，用旋轉鏡計量光來回 22 哩路所需的時間。這是由孚科 (Foucault) 第一次所用的的方法改良而成的。

第二章 光的反射

不發光的物體，例如紙張等，有了一柱光線射在上面，就各方面可得看見了，由此可知光必定從紙張的表面向各方向射出的。這種現象，我們在第一章中已經述過，叫做散射或漫射 (scattering or diffuse reflection)。

有時紙張好像只向一個特定方向放光。這種作用，可用黑板來觀察。這是因為光向那方向的反射比其他方向特別多的緣故。十分光滑的物體，例如平面鏡，射上一柱光，實際上一切的光就向一特定的角度反射，如從此角去觀察，眼睛就要眩了。這種現象，就叫單向反射 (regular reflection)。

從油燈或隙縫得來的狹光柱，在平面鏡上可以反射出來，光柱的方向，在反射的前後部可在紙張上表現出來。

射在鏡面上的光線，叫做入射線 (incident ray)，垂直於鏡面的線，叫做法線 (normal)，法線與入射線所夾之角，叫入射角 (angle of incidence)。



圖 1.

圖 4 併繪有反射線 (reflected ray) 和反射角 (angle of reflection), 可參閱。

光生成單向反射時, 常常要從兩條定律, 叫做反射定律 (laws of reflection)。

1. 入射線, 法線和反射線均在同一平面內。
2. 反射角等於入射角。

當我們向鏡子一照, 我們就看見自己的像了。像藏在裏面呢? 像怎樣做成的呢?

讓我們用最簡單的例子來說明: 設物體的物體 O , 在平面鏡 NM 上照出的像, 用 I 的眼睛去觀察 (圖 5), O 發出向各方向的光線, 但從鏡面上反射出來的光線, 只有那在 OAB 和 OCD 之間的射入眼睛。

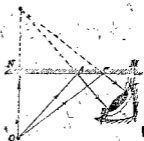


圖 5.

在眼睛裏出現的 AB 和 CD 兩反射線, 好像來自 I , I 實是它們的交叉點。照任何事看來, 反射定律的結果, 從 O 來的一切光線, 在鏡上反射以後, 好像是從 I 來的, 換言之, 向後引伸, 它們就齊一齊交叉在 I 處, I 就叫做 O 在鏡中的像 (image)。從鏡後引出的光線, 常是虛線, 實際光線並不深入鏡後, 所以叫做虛光線 (virtual rays), 同理能

I 叫做虛像 (virtual image)，因為它沒有物質的存在，不過存於心目中，不能把它射到屏幕上去的。假使你走到鏡子的後面去，看出像在那裏，那是指不出什麼具體來的。

用幾何學來證明，我們知道 I (虛像) 在鏡後的距離，適和 O 在鏡前的距離相等。

一光線 ON (圖 5) 依與鏡面成垂直的方向擊撞鏡面後，會沿原路反射回來。又一光線 OA 則沿 AB 反射回來。 I 是 ON 和 BA 兩線延長的交點。我們要證明 $IN=ON$ 。

(證) 依反射定律 $\angle NAO = \angle MAB =$ 對頂 $\angle IAN$ 。

在 $\triangle IAN, OAN$ 中， NA 為公有。

$$\angle INA = \angle NAO = 90^\circ,$$

$$\angle IAN = \angle NAO,$$

$$\therefore \triangle IAN \cong \triangle OAN$$

$$\therefore IN = ON.$$

因為 OA 可為從 O 來的任何光線，這個證明對於一切來自 O 的光線都是對的。這樣我們就可以推論一切的反射光線，假使引伸出去，都會經過 I 點的。

把張報紙持近鏡子的平面，鏡中報紙上的字，都是反的。像和物體兩邊相對調，就叫旁轉變 (lateral inversion)。我們將怎

樣解說呢？假說一個人在右眼上戴一個眼鏡來照鏡子，鏡中的像，眼鏡就戴在左眼上了。因為他的面部比較他的背後，近於鏡面，所成像的各部，其在鏡後的距離，正和該部實物的距離鏡前相同，人就和像成反向的面對面了。這樣，人的右眼，正對着像的左眼。所有旁轉變的現象，都是因為物體面向鏡中，而像則面向鏡外。

如在室中對壁放兩面鏡子，互相並行，你在鏡中就見室中很多重複的像，按排下去，簡直成個無窮的長景。假使兩面鏡子，真正是並行的，你只能見自己的一個像（因為這個像把其餘的一概蓋沒了），但是有個同伴站在你旁面，他可以告訴你，他能看見你的像，有前後交迭的一長串了，這些像怎樣形成的呢？

要解答這個問題，我們可用一點的物體 O （圖 6）， O 在像

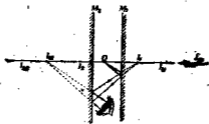


圖 6.

M_1 中現出 I_1 像，在鏡後的距離正和 O 在鏡前的距離相等。但像 I_1 在鏡 M_2 中又現出另一像 I_{12} 來， I_{12} 又在 M_1 中現 I_{121} 像。

出來，再依此類推。因此在兩鏡中即有一連串的像。表示 O 向 M_1 鏡的一邊，我們可以稱爲 O 的前面像。又一串的像 I_2, I_{21}, I_{212} ，由 M_2 中 I_2 的背觀所生出。這些像就叫 O 的背面像。眼睛所看見這些像的光，必定是從 O 發來。光在兩鏡之間，向後向前的反射。

圖 6 中所繪的光線，是眼得見 I_{12} 的光線。如圖所示，從 O 發的光線，先在 M_1 反射（此後光線好像來自第一像 I_1 ），於是再在 M_2 反射；光線入目，好像自 I_{12} 分散而來。此地應注意 O 所發的光線，各方向都有，但是只有那些在反射後而入於目的，圖上繪給出來。假使眼睛的位置一動，則眼睛所見的 I_{12} 就要完全另另一組的光線了。

把兩鏡傾斜成 60 度的角度，你就能看見五個自己的像。圖 7 (a) 即示五像之所由形成。像之位置，畫成圓圈，易於決定，取兩半徑傾斜成 60 度的角，代表兩鏡的位置，在圓周上取一點 O

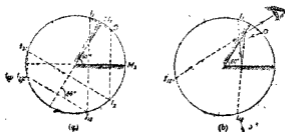


圖 7.

代表物體。因為在圓內畫一弦垂直於半徑，就為半徑所平分，所以連接物體和在平面鏡中的像之間的線，是垂直於鏡，又為鏡所平分了，所有的像必須位於圓周之上。

圖 7(a), O 在鏡 M_1 中現一像 I_1 , I_1 在 M_2 中現 I_{12} , 而 I_{12} 在 M_1 中現 I_{112} 。依圖可知 I_{12} 雖然已在 M_1 端頭以外，但是還在前面，因此現出一像。反之 I_{112} 在兩鏡的後面，不能再顯出像來了。

同理， O 在 M_2 現出 I_2 , I_2 在 M_1 現出 I_{21} , I_{21} 在 M_2 現出 I_{212} 。兩面鏡確離 O 成 60° 度時， I_{112} 與 I_{212} 則合併為一。

兩鏡傾斜成 θ° 角度時，所得像數的公式為

$$n = \frac{360}{\theta} - 1$$

例如 $\theta = 60^\circ$, $n = \frac{360}{60} - 1 = 5$ 。

在平行鏡的情形裏，使人看見一種像的光線，繼續在兩鏡面上反射。

一塊透明的平面玻璃，也可有鏡子一樣的作用。例如冬季暗昧的下午，房間內生了火爐，穿過玻璃可以看得好像街上也在那裏燃燒的，玻璃窗就做了鏡子。

魔術家比伯教授 (Prof. Pepper) 曾利用此意製造鬼怪。用一塊大玻璃放得和舞臺的前臺成 45° 的角。一個人 M 著了適當的衣服，再把光照明站在舞臺的側面，觀客就在玻璃中看見

他的像 G ，便是鬼怪，叫做比伯的鬼 (Pepper's Ghost) (圖 8)。

其他的戲子，在玻璃後面行走，顯然是穿戴了鬼怪，鬼怪也是半透明的。戲臺的腳燈不亮，觀客不知道有玻璃的。

航海上要觀測太陽和恆星的高度，就得用六分儀的一種儀器，六分儀在測量上也要用的。它所用的原

理，就是一平面鏡所轉變的角度等於反射光所轉角度的一半。

從太陽來的光

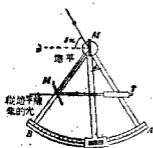


圖 9. 六分儀

光線走入望遠鏡，和它原來的方向並行了。在望遠鏡中看來，就有兩個併合的地平像可以看見，一像是由 M_1 和 M_2 反射光所成，又一像是光穿入 M_2 未鍍銀的部分所成。

舞台後面

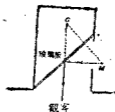


圖 8.

六分儀如圖 9。一平面鏡 M_1 固定在可以旋轉的一個帶上，旋轉的角度，則用半圓的圓尺來計算。又一鏡 M_2 ，一半鍍銀，一半透明，固定在上一鏡旋轉。 T 是望遠鏡，也是固定的。

當把旋轉臂的頂端沿 A 向上推起時， M_1 和 M_2 就會平行。因此在 M_1 和 M_2 上繼續反射的

如果要求出太陽的高度，就得把旋轉臂轉動，使 M_1 和 M_2 反射光所成的太陽像，和那由光經過 M_1 未鍍銀部分而成的地平像相併合為止。這樣旋轉臂所轉動的角度，就等於所需高度角（在圖9中為 2α ）的一半，因為鏡所轉的角度，等於兩入射線所成角度的一半，反射線便固定了，因為這個緣故，六分儀圓尺上的每一度是當作兩度算的。

船上的職員，常用六分儀來記錄出太陽的高度。在午時所得的記錄，就可決定一地方的經度。從太陽來的光如嫌光強，可用顏色玻璃來減其光度，以便窺視。六分儀最大的好處，就在船雖繼續不停的行駛，用六分儀觀察仍可得到準確的測量。

在海洋中，地平線同海水相連的一線，但在陸地上，就必須用人為的地平線了。為要測出，靜止的鏡面，確確實實是地平的。把六分儀的 M_2 鏡面同海面反射的像不和從地平線來的相併合，而和用水銀做鏡面反射來的像相合。從圖10看來，走入六分儀兩光線間的角度等於太陽視角的兩倍。

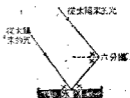


圖 1.

用微粒說來解說反射，微粒要當作完全有彈性的了。牠們在平面鏡上跳躍，有些像彈子在彈子桌幾上反彈一般，彈子球大概是服從反射定律的，假使彈子球具有完全的彈性，彈子球就會正確的

服從反射定律。

波動說對於反射，也有一個完善圓滿的解說。波動的服從反射定律，我們在此只要舉個實驗的例子就足夠了。

波浪在平面上的反射，可用水池波來表明。水池中放一阻礙物，水波到達阻礙物時，則反射而流回，反射波對阻礙物的傾斜度，適與入射波的傾斜度相等。

第三章 光的折射

光線由一個介質走入另一個介質中去——例如從空氣中走入水中——就會彎折。這種現象叫做折射 (refraction)。

在圖 11 內，用在折射方面的名稱，都寫上去了。從空氣通入水的光線，叫做入射線 (incident rays)。在水面折射以後，就叫折射線 (refracted rays)。入射線與水面法線所成之角，叫做入射角；折



圖 11。

射線與法線所成之角，則叫做折射角 (angle of refraction)。

光線從光學上看來較稀薄的介質，走入光學上看來較厚實的介質中去（例如從空氣走入水或玻璃），便向法線彎折，反之則背法線彎折。

試取一燈或一直鏡投射一柱光於白紙上，中間使光線穿過

一個長方形的玻璃板。光線穿入後再申出來，就看見它和原來的方向並行，而兩側互和換了。入射線第一次擊撞玻璃板的地方，有反射線，反射和折射常常遇在一起。如果把玻璃板面對入射線放得更傾斜一些，反射光線便較多，穿過板的便較少。

我們可記出光線和玻璃板的位置，計算入射角和折射角（一為光線入處，一為光線出處）。把玻璃板對入射線的斜度屢次變換，就能得幾種不同的值。

記載入射角和折射角的第一人是埃及托勒密（Ptolemy），耶穌降生前二世紀，他在亞歷山大城的希臘大學教書。托勒密把光從空氣通入水中，從空氣通入玻璃，和從水通入玻璃，一一表出各個值。他也想在這兩種角度之間，尋出一個關係來，但是結果沒有找到。

八百餘年，在阿剌伯的時代，阿爾哈仁（Al Hazen），也做了許多試驗，想把入射角和折射角的關係決定出來，但也未能成功。刻卜勒（Kepler）既是數學家，又是天文學家，費了很多的時間，專心試驗各角的讀數，是否合於各種公式，最後得到一個精微的結論，與實際相近。然而真確的關係，卻是萊頓大學教授斯涅爾（Willebrord Snell, 1591—1626）所發見，約在托勒密發表讀數後一千五百年了。

折射定律有兩條：

第一定律 入射線和折射線在相反的兩邊，和法線都同在

一平面上。

第二定律(或稱斯涅爾定律) 一光線由一介質通入另一介質的時候,入射角 i 的正弦和折射角 r 的正弦成一個不變的比數。這比數就叫做從一介質到另一介質的折射率(refractive index),用希臘字母 μ 表之,即得

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$$

μ 的數值依介質的性質而異。例如從空氣入水 $\mu = \frac{4}{3}$, 從空氣入普通的鈣玻璃 $\mu = \frac{3}{2}$ (近似值)。

下表中數字,係用玻璃塊做試驗,和前述的方法相似。

$\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$ 的數值,已經用各對的 i 和 r 的讀數計算出來。從此

可見 μ 是近乎不變的常數:

i	r	$\sin i$	$\sin r$	$\frac{\sin i}{\sin r}$
14°	9°	0.242	0.156	1.56
35°	$21\frac{1}{2}^\circ$	0.574	0.366	1.56
49°	29°	0.755	0.485	1.56
59°	33°	0.857	0.547	1.56
$69\frac{1}{2}^\circ$	$37\frac{1}{2}^\circ$	0.937	0.609	1.54
88°	$39\frac{1}{2}^\circ$	0.999	0.636	1.54

光線如由空氣走入水中，就要彎折，因為它在水中的速度小於空氣中的速度。緣故。

圖 12 即示平面光波從空氣走入水中。虛線就代表光波前

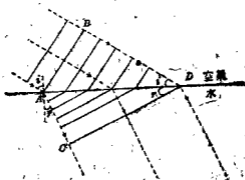


圖 12.

走的方向，也就是光線的方向。

假想波面 AB ， A 端正入水面， B 則在空氣中再進幾吋， A 端已在水中走了 AO 的一個短距離，因此那波面便旋轉到 CD 的地位，在 AB 和 CD 中間的地位，都在圖中顯出。

假使 μ 是光由空氣入水的折射率，那可證明

$$\mu = \frac{\text{空氣中光的速率}}{\text{水中光的速率}}$$

由圖 12 得：

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BD}{AO}.$$

牛頓用微粒說來解說折射，他是假說光在較密介質中的速度例如水中，要比在空氣中的來得大。1850年孚科用試驗證明此說為不確，並認此試驗足為微粒說的致命傷。不過那時的微粒說，還是個難敵的學說，雖然因為不能解說干涉的現象，在前也曾被棄了五十年之久。

把一支燭光，放五一塊厚玻璃的鏡面斜視鏡面，就見有幾個燭焰的像，從前面數來第二個最光亮。

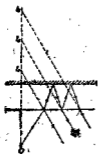


圖 13.

形成這些像的理由，則如圖 13 所示。第一像由光線在玻璃的前面所形成。第二像由光線進入玻璃在鍍銀處一次反射出來。第三像由在鍍銀處反射的光，在玻璃裏表面又在鍍銀處反射一次。光在玻璃裏面，繼續的反射，像就更多，直到光折射得太暗淡了，方始不見。這種情形，我們可以回想到上面所說的面平行鏡中的事實。

因為光有折射的緣故，所以我們看池水的深淺，不會和實在

形成這些像的理由，則如圖 13 所示。第一像由光線在玻璃的前面所形成。第二像由光線進入玻璃在鍍銀處一次反射出來。第三像由在鍍銀處反射的光，在玻璃裏表面又在鍍銀處反射一次。光在玻璃裏面，繼續

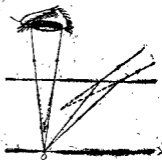


圖 14.

一樣了。從水面下物體 O (圖 14) 來的光線，達到我們的眼睛，並非走的直線，在它們離開水面的時候，就彎折了。如把它們引長回去，它們便在 I 處相交。於是 O 好像在 I 的地方，兩種光線也都像是從那兒來的，因此 I 就叫做由折射而成的 O 的像。

當我們研究平面鏡中由反射而成的一點物體所成的像，我們可用幾何學來證明，從物體射來的一切光線，假設反射定律是實在的，在鏡面反射以後，再把牠們引長回去，必定相交於一點，即像處；換言之，牠們好像是從簡單的一點來的，這一點的位置，無論我們從什麼地位去看，總是相同的。然而從折射所成的像去看，則所有的折射光線並不經過一點的。在圖 14 中，畫的第二對光線，就是從一個傾斜位置來看 O 的。這個像在折射線的交點上，但是這點並不和 I 併合。實際上，只要眼睛的位置變動，像的位置也就變換。池水的深度，斜觀起來，甚至比直觀時還要淺。當眼睛移動時，像就成曲線移動，叫做散曲線 (caustic)， I 則叫做會切點 (cusp)。

眼睛垂直下視透過透明的介質，例如水或玻璃，所視的深度，和實在的深度，其中有個簡單的關係，叫做折射率 (refractive index) μ ：

$$\frac{\text{實在深度}}{\text{視深度}} = \mu$$

從空氣入水的 $\mu = \frac{4}{3}$ ，那麼直視水深的視深度只有實在深

度的大了。

一光線自水中走到空中，垂直於水面，這走直線並不彎折。

光線如傾斜於法線，就是向法線彎折出去了。如圖 15，光線 OP 則折射到 PQ 的方向去了。光線對法線的傾斜愈大，那麼折射線所處的地位，就愈會正在水面上了。光線 OR 就是沿 RS 折射的。

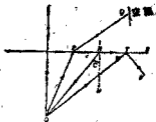


圖 15.

ORN 角就叫臨界角 (critical angle)，即 C 。光線 OT 和法線所成的角比 C 更大了，便不能穿出表面，而沿了 TV 成完全內反射 (total internal reflection)。

現在有個反其道而行之的光線。例如圖 15 中有向 SR 方向的光線，就會沿 RO 而折射。在這個例中， $i = 90^\circ$ ， $r = C$ 。

假使 μ = 由空氣到水的折射率。

$$r = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin C}$$

但是 $\sin 90^\circ = 1$ $\therefore \sin C = \frac{1}{\mu}$

我們知道水的折射率是 $\frac{4}{3}$ ，從這個簡單的公式，就可算出臨界角：

$$\sin C = \frac{1}{\frac{4}{3}} = 0.75$$

$$C = 43^{\circ} 35'$$

知道了玻璃的折射率是 1.5，我們就可以計算出玻璃的臨界角了。

反之，決定了 C ， n 的數值也可算出來了。這就是多數商品儀器決定 n 所用的基本方法，因為此法只要簡單一試，儀器就能直接用 n 的名稱表示出來的。



圖 1

用個試驗管，斜放在一個盛了清水的玻璃杯中，讓從燈發出的光線從地下的方向，射到玻璃杯的壁上（圖 1），垂直的看下去，試管現出彎曲的銀光，其理由乃在光不能直射到試驗管內的空氣中去，成為完全

的內反射。假若把試驗管充滿了水，反射就很少了，彎曲的銀光也不見了。玻璃板鏡中完全的金邊也是這個道理。

鈣玻璃的臨界角約為 43 度。因此光線常常從入射在一個 $90^{\circ}-45^{\circ}$ 的玻璃板鏡的一面，在透面上和法線所成的角，就比臨界角大，所以是完全內反射了。這種稜鏡（有鏡子）效用，在光學儀器上也常常用來代替鏡子的。牠們專管被照主光，而且只能單反射，不生多反射。

例像（例如由幻燈所發生的）應用稜鏡就能反正。

因為折射和全內反射的兩種現象，魚就有一種很特別的觀

變，可以看出水世界以外的東西。

從地平線來的光線落到水面上，和法線折射成 $48^{\circ} 35'$ （即水的臨界角）。所以西沉的太陽，在魚看來，就在這個高度，並不是地平面的整圓圈。魚游到水面上來看時，就會看見一個光亮的圓洞，在牠的眼上成了一個 $48^{\circ} 35'$ 的半頂角。在這光亮的圓形以外，就沒有光能深入，除去水底物體反射得來的模糊影像以外，其餘一切都比較是黑暗的。在光亮的圓圈內，整個的外圍世界，一起壓縮在裏面。

從一水平的噴口，噴出來的水霧，射上一柱光線，就成所謂光噴射 (luminous jet)。假定噴水的速度是一定的，由噴射所成的折光，就是全內反射，因為牠和表面法線所成之角大於臨界角了。於是光便相繼的受到全內反射，被陷於噴射中，直至後者落地為止，地上便有一柱光流過。假使噴水震動或斷裂了，它就在表面外時時刻刻放出閃爍的光點。這種現象，有時在傾倒瓶水的時候也能見到。

圖 17 是根彎曲的玻璃棒，是培克耳 (Messrs C. Baker) 所創製，用來做顯微鏡上承物玻片的照鏡。把燈光陷於棒中，好像把光陷於噴霧中一樣，穿過顯微鏡的承物玻片向上反射。用這相似的玻璃棒裝上一個小袋燈，也有許多醫生用來照病人的喉背部的。



圖 17.

金剛石之所以燦爛奪目，就在它有高的折射率(2.42)，因此就有小的臨界角。金剛石的需要琢磨，就在要使走入的光線全內反射幾次，只在一定的方向射出。射出的光柱又十分強烈，使金剛石燦爛眩目。

大氣中的折射現象，普通可見的有三種：

1. 星的視高 高處的空氣要比海平面的稀薄些。例如當住峯(Mount Everest)頂上的空氣，它的密度只有海平面的四分之一。這樣說來，從一個星來的光繼續的前進，總是從比較稀薄的介質到漸漸濃厚的介質中。為簡明起見，讓我們把大氣當作由同一密度的幾個地平層組合。從星來的光線向着法線漸漸彎折，結果星在天上的高度，比實在的高度高了。星近乎地平，彎折就最大——約 $36'$ ，大於太陽所成的角度。這在船員要決定太陽或恆星的高度方面，是不能不顧慮到的，天文學家自然也得留意。

2. 西沉的太陽 因為大氣折射的關係，晚上的太陽實際已經西沉了以後，和早上的太陽實際還沒有升起以前，我們都能看見太陽在地平線以上。圖 18 即示太陽光線在地面大氣中折射的情形。假使大氣可以移去的說法，我們便看不見太陽了。這種現象，能把日間延長七八分鐘。



圖 18.

象，能把日間延長七八分鐘。

8. 海市蜃樓 大氣折射最著的例子，便是沙漠中的海市蜃樓。旅行者遠望有閃閃光的湖，湖內便反射着周圍的沙丘。那湖就是折射的天像，映影便得相似於光源。

圖 19 即所示所選的情形。沙漠變得極熱了，近地面的空氣就變得較熱，於是比上面空氣的密度小了。在圖 19 中，為簡明



圖 19.

起見，把空氣表示着層次，實際上空氣是漸漸兒變化的。現在天上的光，或沙丘頂上的光，在特定的方向走入冷空氣，就會向法線彎折出去，以次到達熱空氣的最低層為止，與法線所成之角，則比臨界角為大。光在那兒是全內反射，在再通過冷空氣的時候，光便向法線彎折進去。圖 19 中，在觀察人看來，沙丘頂的引入眼簾，好像沿着光的最後方向現出的。沙丘因此而顛倒。天上的光，在沙丘後面的，好像也來自地面，於是成湖的影像。只有在某方向的光線是全內反射，所以只有一部分的天有像。湖就沒有限制了。如果是直接光線，觀察者得見直立的沙丘，天像則在後方。

夏天有時在柏油馬路上，也能看見小形的海市蜃樓，尤其是觀者在極傾斜的時候。例如在上午的時候，這室的現着泥水潭，走近去看實是沒有的。

海市蜃樓有時也在海面上出現，其時船舶的像可在天上看見。這種情形，近海面的空氣比較上面的稍冷，而光的折射和全內反射則同前述的情形差不多。

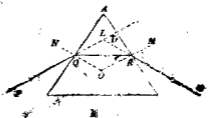
用燈光或太陽光穿過狹縫而射入玻璃稜鏡，光入稜鏡向法線彎折，走出稜鏡，則背法線彎折。入射線與出射線 (emergent ray) 所成之角，叫做偏向角 (angle of deviation)。

假使把稜鏡漸漸轉動，入射線的方向仍舊不動，出射線的方向就變動了。假使把稜鏡轉成使出射線漸漸向上行的方向去，那麼偏向角便減小了。轉到了一個時期，無論稜鏡怎樣的旋轉，出射線在那方向不能再前進，只能重新退回去。這時的偏向角是最小。用實際或數學都可證明偏向角在最小的位置，出射線和入射線對於稜鏡的表面有相等的傾斜，假使稜鏡是二等邊的，在稜鏡中的光線就和稜鏡的底邊並行。

最小偏向角 D ，和稜鏡的折射角 A (註明於圖 20 中) 以及稜鏡的折射率 μ ，其關係可表明如下：

$$\mu = \frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

圖 20，是 PQR 是在最小偏向 (即對稱) 的光線，經過稜鏡的位



置。\$QO\$ 與 \$RO\$ 爲在 \$Q\$ 與 \$R\$ 的各法線。因此

$$\angle PQN = \angle SRM = i$$

又

$$\angle OQR = \angle ORQ = r$$

$$\therefore \angle LQR = \angle LRQ = i + r.$$

在四邊形 \$AQOR\$ 中，

$$\angle AQR = \angle ARO = 90^\circ,$$

$$\angle QOR = 180^\circ - A$$

因爲 \$\triangle QRO\$ 中三角之和等於 \$180^\circ\$

$$180^\circ - A + 2r = 180^\circ$$

$$\therefore r = \frac{A}{2}$$

現在 \$\triangle LQR\$ 中

$$D = 2(i + r) \text{ (外角等於兩內對角之和)}$$

$$\therefore 2i = D + 2r = D + A$$

$$\therefore i = \frac{D + A}{2}$$

$$\therefore \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A + D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

假使 A 與 D 都從實驗上證明出來了，就可算出稜鏡玻璃的折射率，把稜鏡轉到偏向最小的位置，計量入射線和出射線所成的角，就得到 D 了。

從狹束光柱的兩面，反射到稜鏡的兩柱並行光線，就可得到 A 角。兩反射線（那在稜鏡外的）間的角等於 $2A$ 。

用上述的方法，要正確的算出 A 和 D 來，要用分光計。

鐵絲玻璃，它的作用就好像許多稜鏡，有時用來把光線分散到地下室去。

製造透鏡和製造光學器械的人，對於他們所用的一切玻璃，都要決定牠們的真實的折射率。他們所採用的方法，就是前述的稜鏡方法。

例如牛乳、牛油、人造乳酪、菜油、糖漿和啤酒多變化的物質，它們的純粹度和濃度，都可用它們的折射率來迅速的計算出來。在這方面採用的方法，就是決定臨界角，只要一讀便知，無須計算的。

第四章 透 鏡

一塊薄玻璃，一面或兩面成了相當的弧度，就有一種特別的性質：能夠把從一物體任何一點射來的光，引到它又一面的另一點上，由此可以在屏障上顯出整個物體的像來。這樣的一塊玻璃，就叫透鏡 (lens)。例如照相機的透鏡，能在照相片上投出清晰的像來，幻燈的投射透鏡能在屏障上形成一個幻燈映畫的放大像。

透鏡在英文為 lens，所以這樣命名的，乃在它的形狀和扁豆 (lentil) 子相似，古代希臘人早已知道的。但是在希臘人知道的幾萬年前，自然神早已在多數動物的眼睛裏造成透鏡了。人眼中的透鏡作用，我們在下一章再來研究。

透鏡有兩種主要的方式，會聚的 (或凸的) (converging or convex) 和發散的 (或凹的) (diverging or concave)。前者使光會聚在一起，中間常比邊緣厚；後者使光發散，中間比邊緣薄。圖 21 卽示這兩種透鏡的各種普通形式。

一種簡單的透鏡，具有兩個球形表面，球面的中心就叫弧形面的中心。把兩弧形面的中心聯成的線，就叫透鏡的主軸



圖 21.

(principal axis)。透鏡主軸上的一點 O (圖 22)，在兩表面的中點，便叫光心(optical center)。

AB 為透鏡之闊度或直徑，叫做透鏡的口徑(aperture)。一平面經過 O 而垂直於主軸的，叫做主平面(principal plane)。

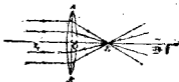


圖 22.

我們所研究的透鏡只講薄的透鏡，為畫光線簡便起見，我們只講透鏡的主平面。

所有的光線都平行着小口徑透鏡的主軸射來，經過透鏡折射後，都通過主軸上一點 F_1 (圖 22)，這一點便叫做主焦點(principal focus)。 OF_1 的距離，就叫透鏡的焦距(focal length)。一個透鏡有兩個主要的焦點(在圖 22 中為 F_1 與 F_2)，因此光線可任意從那一邊射入的： $OF_2 = OF_1$ 。

一柱平行的光線向着凸透鏡的主軸斜射，經過透鏡的折射後，穿過一平面，這平面若是垂直於主軸而含有焦點的時候。

就叫做焦面 (focal plane)。

一柱光線和主軸平行而射在凹透鏡上，就好像從主焦點 F_1 (圖 23) 發散出去了。 F_2 是另一個主焦點。這些名詞用於凹透鏡也用於凸透鏡的。

在圖 22 和圖 23 中，所有光線到達主平面時，都成遽然的

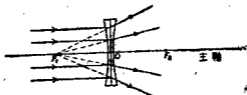


圖 23.

彎折之勢。這是為作圖的便利起見，並不是實在的情形。

一個透鏡可視由多數的稜鏡所組成 (圖 24)；就是一個凸透鏡和一個凹透鏡當作幾個稜鏡拼合成的。光線走入各稜鏡便向

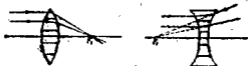


圖 24.

法線彎折。走出稜鏡便背法線彎折。這就顯明光在透鏡中真正所行的一種曲程。

光亮物體像窗之類的像，可用凸透鏡來集中在一張紙上。

假使知道了那透鏡的焦距以及物體離透鏡的距離，像的大小和位置就可預知了。可從物體的頂部畫兩線來說明：

1. 經過透鏡而走出的光線若是穿過主焦點，則其入射光線必與主軸平行；

2. 一光線穿過了透鏡的光心而走出就不偏向。

第二條光線卻有解釋的必要。一透鏡的中心可以當作平行邊的玻璃板，我們在第三章中已經知道光線穿過玻璃平行邊板以後現出的，仍和原來的方向平行，不過左右對調罷了。假使透鏡極薄，左右的對調可以置之不問，光線也可以視作成直線進行。

凸透鏡可成兩種像：

1. 當物體離透鏡的距離大於它的焦距，就成實像 (real image) (圖25)。這個像常常倒置的，可以縮小，可以放大。成實



圖 25.

像時，我們也可以分為下列幾類：

令 u = 物體與透鏡的距離，

f = 透鏡的焦距。

(a) $u > 2f$ 時，像縮小。

(b) $u=2f$ 時，像與物體同大，

(c) $u<2f$ 時，像放大。

2. 物體與透鏡的距離

短於透鏡的焦距時，則成虛像 (virtual image)

(圖 26)。這個像常是直立而放大的。像係虛光線

所成，沒有實體的存在，所以不能射到屏障上去的，在圖上也畫虛線以表示之。



圖 26.

則透鏡常常形成真物體直立而縮小的虛像(圖 27)。

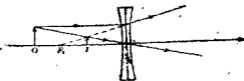


圖 27.

因光線的方向可轉換的緣故，物體和實像就可互換了。那，在圖 25, 26, 27 中的 O 點和 I 點就叫共軛點 (conjugate points or conjugate foci)。

在圖 28 中，使 f 代表透鏡的焦距， u 代表物體與透鏡間的距離， v 代表像與透鏡間的距離。在這些數量中，有 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$



圖 26.

$\frac{v}{f}$ 的關係，讓我們來證明它。

$\triangle JIC$ 和 QOC 是相似三角形。

$$\therefore \frac{JI}{QO} = \frac{CI}{CO} = \frac{v}{u}$$

$\triangle JIF_1$ 和 ACF_1 為相似三角形。

$$\therefore \frac{JI}{AC} = \frac{IF_1}{CF_1} = \frac{v-f}{f}$$

但是 QA 平行於 OC , $AC = QO$ 。

$$\therefore \frac{JI}{QO} = \frac{v}{u} = \frac{v-f}{f}$$

$$\therefore vf = uv - uf$$

雙方除以 uvf ,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v}$$

$$\text{即 } \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

應用圖 26, 我們可得一相似的方式,

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

應用圖 27，我們可轉變得

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$$

應用記號慣例，只要有這一個公式，

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

就能把那三個方程式一起包括在內了。

把光真實所走的距離作正數，沿虛光線量出的距離作負數，這樣從實物到透鏡的距離以及從透鏡到實像的距離常常是正數，虛像到透鏡的距離，則為負數（注意， u, v, f ，等的距離都是要沿主軸量的）。

凸透鏡的焦距是正數（圖 22 中的 OF_1 ）。

凹透鏡的焦距是負數（圖 23 中的 OF_1 ）。

圖 28 所有 u, v 和 f 三數都是同一記號；它們都是正數。因

此所得的方程式是訂正過的一個， $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 。

在圖 26， f 是正數， v 是負數， u 是正數。如不顧代數符號，

則得 $\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 的公式，酌用符號，那公式就成 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 。

再圖 27, f 和 v 是負數, u 是正數。不用符號慣例, 則得 $\frac{1}{u}$

由 $\frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$ 的公式, 利用符號, 也可變成 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 的方程式。

因此假使能善視符號, 只要一個方程式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$, 就可作各種的用途了。那只要在代入公式的時候, 把 u, v 和 f 的數值, 各給它們正當的符號就得了。

一個透鏡所生的像, 有物體兩倍的高, 就叫放大率 2 (magnification 2)

$$\text{放大率} = \frac{\text{像高}}{\text{物高}}$$

放大率的公式得簡化為

$$\text{放大率} = \frac{v}{u}$$

在圖 28, 因 $\triangle JIC$ 和 $\triangle QOC$ 為相似三角形,

$$\text{放大率} = \frac{QO}{JI} = \frac{CO}{CO} = \frac{v}{u}$$

例如物體高 2.5 厘米垂直於主軸, 放在距凸透鏡 15 厘米的地方, 透鏡焦距 20 厘米。求像的位置及高度。

在方程式
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

中, $u = +15$ 厘米, $f = +20$ 厘米。

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{v} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{20} - \frac{1}{15}$$

$$= -\frac{1}{60}$$

$$v = -60 \text{ 厘米。}$$

因此像在透鏡前 60 厘米，而是虛像。

現在

$$\frac{\text{像高}}{\text{實物高}} = \frac{v}{u}$$

$$\frac{\text{像高}}{2.0} = \frac{60}{15}$$

$$\text{像高} = \frac{60 \times 2.0}{15}$$

$$= 8 \text{ 厘米。}$$

單純的一個透鏡，具有種種缺點，在完全集中焦點以前，必須把所有的缺點校正，方能得到不怪醜的像。校正的方法，常常把幾個透鏡併合一起，有的還用水泥來膠合起來。

此地只能講一種缺點，那便是球面像差 (spherical aberration)，與主軸平行的光線射在口徑大的透鏡上，並不完全穿過主焦點而折射的。折射线並不經過一點，而包有一個散焦點。所以用廉價透鏡不正確的照相板除非用口徑極小的透鏡——需

要常長時間的曝光——像就不能完全集中的。

因為早已說過微粒可以隨着光線的路徑，所以透鏡的作用在微粒說方面沒有特別解說的必要。但在波動說方面說來，就沒有這樣簡捷了。把塊厚薄均勻的玻璃，使邊緣彎曲，成透鏡的形狀，放在一個起波的水池裏面。在這透鏡面上的水，就比其餘的池水淺薄，因此透鏡上水的速度便減小了。透鏡把水波的彎曲也改變了。

透鏡的焦距愈短，使光線彎曲的度數也愈大。透鏡度 (power of a lens) 定為 $\frac{1}{\text{焦距}}$ 。假使把一個凹透鏡和一個大度的〔短焦距的〕凸透鏡接合起來，結果便是凸。假使凹透鏡的焦距較短，度數較大，併合的結果便是凹了。

透鏡的度數是用度 (diop^{tr}e) 來計量的。一個透鏡的焦距有一米，即稱一度。所以用度數來表透鏡度，就等於 $\frac{1}{\text{焦距(米)}}$ 。

現在球面波的曲度定為 $\frac{1}{\text{半徑(米)}}$ 。

例如：假使 u 為物體距透鏡的米距離， v 為像距透鏡的米距離，在透鏡上的入射波和出射波就是 $\frac{1}{u}$ 和 $\frac{1}{v}$ 。公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 又得了一個新意義。

假使我們寫成 $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$ ，它的意義就變為

出射波的曲度 = 透鏡的曲度 - 入射波的曲度。

眼鏡商人往往用度數來額分他們眼鏡(用凸透鏡)卻不用牠們的焦距。

假使把兩個薄透鏡(焦距 f_1 和 f_2) 接合起來，併合的 f 就是公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

換句話說，併合的力就等於兩組成透鏡度數之和(即 $D = D_1 + D_2$)。

如要求一個凹透鏡的焦距，有較便利方法，把它和一個大度(即焦距短)的凸透鏡併合起來，併合的結果是凸的。併合鏡的焦距和單個凸透鏡的焦距，都可用方法求出，用上述的公式，凹透鏡的焦距也可知道了。

要製造高等的透鏡，例如用在照相機上的透鏡，卻是一個費時又費錢的手續。

玻璃是由石英、砂土、礆和石灰鎔合成的，玻璃中加了鈉、鎂和鉛等鹽類，在光學上的性質，不相同，鎔爐用礆土製成。製鏡廠用的直徑有五呎，可容玻璃二噸。加熱到 1500°C ，經 18 小時之久，用礆土棒在爐中搖動，使一切的自由氣體逸去。於是從爐上取出放在另一個火爐上去讓它慢慢兒冷卻。待一星期之

久。就是這樣緩慢的冷卻，玻璃還要裂成許多不規則的塊子。用錘子把這些碎塊打碎，再把它一塊塊的再鎔化起來。放在長方形的耐火黏土模型中鎔化開來，直到玻璃成黏稠液為止。這時的冷卻，需要一個月的時間，最好三個月，務使玻璃所有一切可能的內張力減至最少。玻璃冷卻了，需要極謹嚴的方法試驗它的內張力，如果平均還有原玻璃的百分之 85 的，則可棄而不用，不適於光學之用的玻璃，就售給製造普通玻璃器具的廠家去製造玻璃器具。

經過了這些試驗以後，乃割取一小玻璃板使成稜鏡的形狀，用來求出那玻璃的折射率和其他光學上的常數。從這些決定數，數學家就可算出透鏡面所需要的曲度。

磨琢透鏡的器具，是一個淺而扁的鐵杯或銅杯，有和透鏡相反的曲度，於是放在一個旋盤上很精確的琢磨。要造凸透鏡，就要用凹器具，要造凹透鏡，就用凸狀的器具。

玻璃在磨琢以前，先用特種圓鋸鋸成粗坯，圓鋸是個圓鐵板，邊上鑲着精細的金剛石碎粒。

磨琢時把玻璃緊緊在工具上，觸着旋轉的軸，工具內放一種金剛砂和水的磨琢物。當透鏡形成了以後，磨琢物就要愈改愈細，最後的磨光，則用紅鐵粉。

檢驗透鏡是否合適，如有必要，可和其他透鏡結合，定要保證所磨的透鏡和軸都能相合，那是必須特別

性的，最後還得受更精確的試驗，攝影試驗，重量試驗的一種。

第五章 簡單的光學儀器

(1) 照相機

照相機實是一只不透光的暗箱，前面裝一凸透鏡，能對後面的感光片或照相片投上實像。照相片塗着飽和銀鹽的膠頁，銀鹽受了光的作用，具有一種特別的變化，那些受到光的部分，用適當的還原液或叫做顯影劑的來處理它，就隨時成為黑色，精巧的把銀分析出來。銀鹽沒有變化的部分，於是用定影液來洗去，便不再受光的作用，再加以洗滌，工作便完成了。所得的像顯然是負的，因照相透鏡原來所成的像，其光明部分，適等於照相片上的黑暗部分。

要把各種物體與鏡頭的距離，調整得能在照相片上集像，所以透鏡常裝在可移動的箱子上，以便向照相片移進或移出。但是手提攝影箱，就沒有這種設備，普通就把透鏡來移動了。如鏡箱透鏡的焦距短（約 $3\frac{1}{2}$ 吋），口徑小，那麼離鏡箱六呎以外的物體，在照相片上都應得有相近的集中。

裝有摺疊箱的照相機，在透鏡的後面裝有可開閉的隔板或門板，可使口徑變小，有個小指針，可使門板的直徑依照普

通焦距的分數： $f/32, f/22, f/11, f/8, f/5.6, f/4.5$ 而調整。

門板的面積與直徑的平方成正比。假使把 $1/32^2, 1/22^2, 1/11^2, 1/8^2$ 等等計算出來，就可看出牠們約成 1:2:4:8 等的比值。因此用不同的門板，入鏡箱的光量，也就不同，其比例正與其面積之比同，所用 $f/8$ 的曝光要兩倍於 $f/22$ 了。

用小門板的時候，比用大門板時，曝光要久長，它的利益，乃在有個大的焦點深度 (depth of focus)。所謂焦點深度，就是最近物體與最遠物體間的距離，這最遠最近的物體，都能適正集中焦點，且顯出來，也適當的清晰。

圖 20 即示縮小了透鏡的口徑，焦點深度怎樣會增加的理由。透鏡將物體的尖端 P ，在 A 處形成一像。把照相片放進去，使 P 的像現在照相片上，不是一點，而是圓形的部分 BC 了。假使把門板縮小，這圓形部分（此時所說者在圖中為虛線）也縮小。只要這圓形部分小於百分之一吋，照相片上所成的 P 像，實際上總是集成焦點，除非大大的放大，就非從虛像映出不可了。所以用小門板， P 像總是集焦在照相片上，用大門板就不能集焦了。

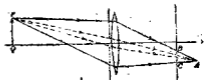


圖 20.

(2) 幻燈

幻燈和照相機所用的原理是相似的，不過把實物和像的位置互換罷了。用投射燈的凸透鏡（或一組透鏡）把幻燈映畫玻片的實像，在遠遠的布幕上放大出來。因為像是倒的，所以映畫玻片就要倒放在框子裏。

因為像要放得很大的緣故，映畫片便不能不有極度的照

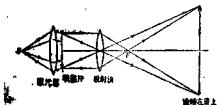


圖 30. 幻燈

亮，否則像就沒有光亮了。所以映畫片就用弧光燈或強光的電燈來照明，還有個叫聚光器 (condenser) 的凸透鏡，使光會聚在映畫片

上(圖 30)。近代的電影機，也是用的和幻燈一樣的原理，不過映畫玻片改了照相片罷了。

(3) 反射映畫器

圖 81 是反射映畫器 (epidiascops) 光學的裝置；反射映畫器也是一種燈，用來在幕上投射如書頁等的放大像。書頁先用強度的電燈和特製的反射器(圖中未畫)來照得極亮極亮，凸透鏡 L 形成書頁的實像，其光再由一鍍銀的平面鏡， M 經過差不多 90° 的反射，因此在前面抵消了許多反射。



圖 81. 映畫器

(4) 眼

我們人類的眼，和一只小暗箱相像。眼睛的主要部分，就是一個凸透鏡，在眼後敏銳的膜板上投射出實像(圖 32)。

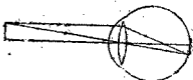


圖 32.

這整個的光學組織，包括在一個小球裏，直徑約為一時，叫做眼球 (eyeball)。

眼球裝在頭骨的眼窩裏，有肌肉能使它轉動，因為它的背後，伸入頭中，所以只有前面的一部可以看見。它的圖形，可用手指摸出。

圖 33 是眼球圖。外面的藍皮，是一種堅韌不透明的白色物質，叫做鞏膜 (sclerotic)。

只有一部分的眼白可以

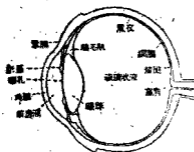


圖 33.

眼球不是一個完全的球體。顏色部前面，是一個凸形膜部，那兒的鞏膜，變成角質，透明而極細的外膜，叫做角膜 (cornea)。

取一小鏡，用一眼觀之。注意角膜會像玻璃一樣發光反射的。

角膜後面是個有顏色的隔膜，叫彩簾 (iris)，中間有個圓洞，叫瞳孔 (pupil)。我們說一個人眼睛的顏色，那顏色就是彩簾的顏色。

瞳孔看起來是黑色，因為眼睛裏面塗上一層叫做黑衣 (choroid) 的黑色素（像一暗箱），防止內反射，免致映像模糊。生而髮膚蒼白的人或白兔的眼睛，都沒有黑衣，瞳孔成淡紅色，其色乃眼後微血管中的血色。

彩簾遠處照如棧中的門板相當。在日光甚烈的時候，瞳孔便縮小，減少走入眼的光量；夜間瞳孔便張大，盡量的把光吸入眼中，這個現象，有幾種物象眼睛，例如貓的眼睛，就是顯著，縮小的瞳孔不成圓形，卻像裂縫似的，以背向窗，取鏡看自己的瞳孔像，再轉身向窗，觀察瞳孔的收縮。瞳孔的收縮和擴張，是一種反射作用，我們無自製之權，就是眼科醫生用了類茄精藥劑，也只能暫時使瞳孔張大一些，幫助醫生驗目的好否。

瞳孔後面，就是眼珠 (crystalline lens)，由果漿狀的物質造成，它前面的曲度比它後面的要小得多，由無數同心圓的各層次組成，都向中間增加密度。這些一層層的透鏡，目的就在減少球面像差。

照相機要把各種遠近的物體，築焦點在照相片上，就得把照相機上的透鏡稍稍移動。但眼睛，卻沒有這種機械，就用睫毛肌肉的動作來變眼珠的焦距。人在睡眠的時候，平常健全

眼睛，總是集焦點於無窮遠處，眼珠總是成最薄的狀態。張大了眼珠去集中近物體的焦點，叫做調節 (accommodation)，調節的能力，並非與生而俱來，且依年齡而衰減。

眼後面有敏銳的神經板，叫做網膜 (retina)，像就映在上面。網膜是形如桿棒和圓柱的末梢神經所組成，專受光的刺激。神經的尖頭，有紫色素的顏色物質，得光便漂成白色，繼而又生出紫色。紫色素的漂白，似乎就是視覺作用的一個主要部分，由此所得的知覺，沿了視神經而帶到腦的。在光亮的日光之中，眼睛中的紫色素就比較的少，因此漂白起來，速度也慢些。當我們走進黑暗的房間，如影戲院，要使我們的眼睛慣於黑暗，就必須經過幾分鐘的長時間。在這個時期，網膜上就要製造大量的紫色素，因此增加了眼睛的感光性，約高一百萬倍。

在角膜與眼珠之間，有種弱鹽類的溶液，叫做前房液 (aqueous humour)。在前房液與網膜之間，有種膠質狀的物質，叫玻璃狀液 (vitreous humour)。這兩種液體，再加上眼珠，就成一個複雜的透鏡組織，使眼睛近於無色。

網膜並不各處一樣敏銳的。它最敏銳的部分，在一小面積的左近，這小面積的顏色是黃色，所以叫做黃斑 (yellow spot)，位於眼珠的軸上。我們看一樣東西，便自動的把那東西在黃斑上集成焦點了。除人類以外，只有猿猴 (在哺乳動物門) 的網膜上，也有黃斑。

視神經分支的地方，有一部分網膜，對光是沒有感覺的，叫做盲點 (blind spot)。因為視神經離開兩眼，都在近鼻的一面，所以兩眼中的像決不會同時映在盲點上去的。



盲點的存在，可解說如下。閉一眼，譬如左眼，

圖 34.

單用右眼看圖 34 中的十字。看的人雖然沒有直接去看黑圈，而黑圈也看見了。把此書移近眼睛，到某一定的距離，黑圈忽然不見了。它的像已經映到盲點上去。(十字形集焦點於黃斑上，因像是倒置的，黑圈集焦點，則在比黃斑近鼻一點)。

(5) 視覺

圖 32 為簡明起見，把一切折射，都當作在眼珠上折射的，然而實際上角膜上的折射要比在眼珠上的大些。因此眼在入水以後，光從水中再經過角膜，便不會有適足的折射度，眼睛就不能把物象看得清楚了。

網膜上的像，是顛倒又左右相反，但是我們的腦生來就把這事判斷得很真了。

眼睛患了白障眼 (cataract)，有時使用手術把眼珠割去。這種疾病，能使眼珠變成硬而且暗不見光，好像蛋白質煮熟時的變化一樣。一隻眼睛沒有了眼珠，仍舊能成影像，但不映在網膜上，而且模糊得多。眼睛已經失了調節的能力，要用眼鏡來補

款，有時必須要用兩副眼鏡，一副看近，一副看遠。

(6) 視覺暫留

假使把根着火的木片迅速的旋轉，就暫時的成爲一條繼續不斷的光線。這是因爲網膜上的像，所成的知覺能延長到 $1/10$ 至 $1/8$ 秒的緣故。所以在原知覺喪失以前，看起木片來，是在很多很多的位置。這種現象叫做視覺暫留(persistence of vision)。

試看一個迅速旋轉的車輪，就辨不出它的許多條幅的輪廓。這因爲在網膜上旋轉得很快的像，使知覺重疊，於是影像便模糊了。假使只許一個像映在網膜上——瞬目而視，或最好在暗室中用電光火花（火花祇延長 $\frac{1}{20,000}$ 秒，照耀了轉輪——各條幅就看得清楚了。

影戲院裏能夠產生連續的活動影片，就靠視覺暫留的結果。每秒鐘二十四張圖（有的是十六張），每張同它的前一張，只有細微的變更，投到映幕上，就現出連續的像來了。

(7) 雙眼視覺

有兩隻眼睛的好處，乃在使我們看物格外清晰。每隻眼睛各由稍微不同的地位去察看周圍的物體，在網膜上所映的像並不相等。左眼所見物體的左面，較右眼所見的左面爲多，反之亦然，可以使我們體會看出一物體的實像來。

實物鏡(stereoscope)就是利用這種事實的儀器，用兩個構

微不同的觀點，相當於一人兩眼的地位，拍出同一風景的兩張照片。每張照片就代表各眼所見的風景，併合起來就成人目所見的風景了。

有了兩隻眼睛，也可以判別遠近。在兩隻眼睛都直射一物體的時候，兩個眼球總稍有傾斜，所以它們的軸在物體上相交。由肌肉的作用來傾斜它們，我們就估計得物體距我們的遠近了。但是這不是我們用來決定距離遠近的唯一方法。遠物看來，大小減縮，乃是估計物體遠近的一個有力的指導。大家都知道江、湖那面的山，如果那兒沒有已知大小的物件如樹木房屋之類作為幫助的判別，那山的遠近，就難判定了。

我們有兩隻眼睛為什麼不見兩個像呢？這兩像在網膜上正在相當的部分，結果由腦傳來的知覺便完全融合了。假使兩像不在兩網膜上的相當部位，就得看見兩像。你把兩隻食指舉起來，和鼻成一直線，一距鼻十吋，一距鼻二十吋，以眼直視遠指，你就見近指有兩像，移去遠指，兩像就更清楚。

(8) 視覺的缺點

重要的視覺缺點，可分下列四種：

1. 近視 (short sight or myopia).
2. 遠視 (long sight or hypermetropia).
3. 像散 (astigmatism).
4. 老眼 (presbyopia).

這些缺點，都可用透鏡，即所謂眼鏡者來補救。據傳說羅馬皇帝尼祿 (Nero) 曾戴綠寶石的單眼鏡，以校正他的近視眼，培根 (Roger Bacon 1214 -94) 想出了眼鏡的意義，但是眼鏡的開始應用，則在第十四世紀的初期。最近：眼鏡方式，因為一班戴眼鏡的人，以為戴了有邊的眼鏡，損了他們的美觀，因此採用接觸眼鏡，裝在角膜上。接觸眼鏡是並行邊的玻璃皿，儲有眼淚，以此使角膜的曲度改變到有效的適當範圍，起初雖然討厭，但過了若干時，也覺得安然無事了，好像裝假牙一般。

1. 近視 一個近視的教授，不戴眼鏡，不能看見教室後面的學生。缺點就在他的眼球太長，就是在眼球的最薄地方，眼珠的焦距還是太短，不能把遠的物體映在網膜上(圖 35 a)。補救

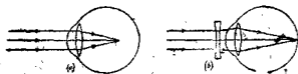


圖 35. (b) 近視眼。

(a) 用眼鏡校正。

的方法，就是用凹透鏡，使光線入眼之前先發散，使像映於角膜的更後處(圖 35 b)。

尋常眼睛，所能清楚而舒適的見到最遠和最近的地方，叫做近點 (near point) 和遠點 (far point)。近點約距離 25 厘米或 10 吋的地位(清晰視覺的最小距離)，遠點則在無限。

近視眼的遠點，則比無限的近得多了。近點也比尋常眼的近些；因此近視眼的人，把他的眼鏡戴到額上去以後，能比尋常人看得一物體更為精細，因為他能將物體更持近眼睛也。

例如一個近視人最遠的清楚視覺 200 厘米，他要看這物清楚，須戴何種眼鏡？

眼鏡的功用，就在把無限遠的物體，搬近到離眼睛 200 厘米的地方來。於是眼睛就能看得清晰了。

應用公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 於眼鏡，

$$u = +\infty (\text{無限}), \quad v = -200 \text{ 厘米。}$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{-200} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{-200} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = -200 \text{ 厘米。}$$

因此需要焦點 200 厘米(或 0.5 度)的凹透鏡了。



圖 89. (a) 遠視眼。

(b) 用眼鏡校正。

2. 遠視 遠視的人，能看得遠物很清楚，看得近物，就很模糊了。其缺點乃在眼球太短，眼珠不能張大得足以（不用過分的緊張）把近物體映在網膜上（圖 36 a）。凸透鏡的眼鏡便必要了。（圖 36 b）。

例如遠視人的近點是距眼 50 厘米，要讀距離 25 厘米的書籍，須戴怎樣的眼鏡？

眼鏡的透鏡作用，就在把離開 25 厘米的物體，移到離開 50 厘米的地方去，由此眼鏡可以看得清楚了。

應用 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 的公式於眼鏡的透鏡，

$$u = +25 \text{ 厘米}, \quad v = -50 \text{ 厘米},$$

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{-50} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = 50 \text{ 厘米}.$$

因此凸透鏡需要焦距 50 厘米（或 2 度）了。

3. 像散 一個患像散病的人，看圖 37，會有一條線比其餘各條映得更外清晰的現象。這是因為他的角膜不成其球形，有一方面的曲度比他一方面的特大。在最大曲線和最小曲線成直角的時候，就叫做規則像散。這種像散現象可



圖 37.

以用圓柱透鏡來校正的，一方用正的來加大最小曲度，又一方用負的來減小最大曲度。不規則的像散，普通是不能校正的。

4 老眼 老眼是眼睛的調節能力喪失，年老人的眼睛大都是如此的，因為他們的睫毛肌和其他的肌肉一樣，依年齡而變得柔軟了。老眼用老花眼鏡 或兩用的一副，透鏡有兩焦點，下半片用為讀書，上半片用作遠視。

第六章 球面鏡

球面鏡有成實像的性質，所以可用它來代替透鏡。

取一燃燭放近在一凹鏡的前面，所謂凹鏡就是在球面的薄片鏡，向着遠遠的牆壁，把燭前後移動，直到壁上現出燭焰的一大倒像來為止。注意只有在燭和鏡成一特定的距離，像纔能集成焦點。

假使把燭持近了鏡子，那就沒有像現在壁上了。然而對鏡一看，卻有一個直立而放大的燭焰像，位於鏡子的後面。同理把凹面鏡持近了下頷，就產出一個放大的下頷像。

我們在這一章內所要詳細研究的曲面鏡，只有球面鏡。球面鏡的曲度，是像一個空心球殼的一部分。球面鏡有兩種方式，依照反射面在球殼內或球殼外，而分為凹鏡或凸鏡。圖 38 即是一凹鏡。剃髮鏡是凹的，汽車上的車夫鏡是凸的。

球面鏡裏面的中點 P ，叫做鏡極 (pole of mirror)，鏡的闊度 AB ，叫做鏡徑 (aperture)。組成鏡面圓的圓心 C ，叫做曲率中心 (center of curvature)。 PC 的長度，便是曲率的半徑 (radius of curvature)，這條線就是鏡主軸 (principal axis)，必要時，得

延長之。

一切與主軸並行的光線射入小徑的凹面鏡上，反射後都在鏡面與曲率中心中間的一點上通過，這一點 F (圖 38)，就叫主焦點 (principal focus)。為什麼會這樣的，我們且到下面再講。 PF 的距離，就叫鏡的焦距



圖 38.

(focal length)。因為光線與焦點可以互換，如果它一物體放在 F 上，從 F 來的光線在鏡面反射以後，就會和主軸成並行的。

在凸鏡裏面，主焦點 F (圖 39) 便是虛的。

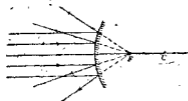


圖 39.

如要確定球面鏡所成像的位置，祇要從物體的頂部畫兩條光線。那兩光線反射後相交的一點，就是像的所在地。

決定像的所在，分

兩步畫法：

1. 一條光線平行於主軸，反射出來通過主焦點 F 。

2. 一條光線經過曲率中心 C ，射在鏡面上，再沿自己的原路反射出來。

這兩線畫在圖 40 內，像在它們的交叉點，和軸垂直。這像

是實像顛倒而縮小。像的所以稱為實像，因為確有光線經過像

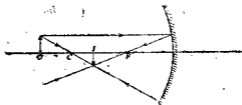


圖 4

的，把幕放在適當的位置，像便會映在幕上的。這是和平面鏡所成的虛像不同。虛像處並無光線經過，不過光線好像在那兒經過罷了。所以虛像不能映在幕上。

上面的畫圖方法，能把像的性質，大小和位置，都正確的決定出來。

一個人離開一面大而垂直的凹鏡，老遠的站着，他會看見自己倒立的小像。這像和鏡的主焦 F 極近。如果他向鏡走近去，他的像仍舊倒立，但是漸漸兒變大，位置也從 F 移向 C 去了（圖 40）。

人與像遇於 C 處，像和人一樣大小，但仍倒立。但是這個人不會看清自己的像了，就是連續下去的實像，也不能看清，因為他不能把成像的光線聚焦到他的網膜上去。只要像的位置比人眼的近點近了，像便模糊。

在人從 C 移向 F 時，倒像便放大，而且永遠加速度的移出

C 外，在到 F 時，他的像就在無限的遠處。

現在假使這個人正經過了 F 向鏡走去，他的像就會驟然的在鏡後後面清晰的顯現出來，在鏡後銀面後的很遠處。那像是虛的，直立而放大(圖 41)。



圖 41.

圖 41. 鏡後的光線是虛光線。它們並不真正存在，所以用虛線表示。這光線走入鏡前的眼中，好像是從鏡後的虛線來的。

常人再走近鏡去，他的像仍舊直立而虛的，不過稍形放大，從鏡後漸來和他接近。

實物在凸鏡中所成的像，常是直立而虛小的。在圖 42 中，

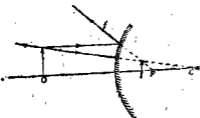


圖 42.

兩光線從物體的頂上畫來，一線並行於軸，反射出來好像從 F 來的。又一線向 C 方向射到鏡，又沿自己的原路反射回去。這兩條反射線(延長)的交點，就是像頂的位置。

鏡後的虛線，就是虛光線的代表。

如和透鏡一樣用記號變例，那麼公式

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

可以計算凹鏡和凸鏡所成一切像的位置。

依慣例，把凹鏡的曲率半徑和焦距作為正數；凸鏡的曲率半徑和焦距作為負數。

公式 放大率 = $\frac{v}{u}$

對於球面鏡，也和透鏡一樣可以應用的。

試證公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$

當一條光線在球面鏡上反射出來，它也服從光線在平面鏡上反射的反射定律。所以我們可以利用這種反射定律，從物體追尋反射光線，再求像的位置。

我們可以取一最簡單的可能情形，把物體 O 點（圖 43）位於鏡的主軸上。一光線從 O 沿軸照常規射擊在鏡面上，再沿原路反射回來。又一光線 OA ，沿 AI 而反射。該反射線 PO 於 I 點。我們祇要能證明其他各反射

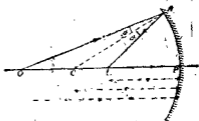


圖 43

線都經過 I (假定鏡徑是小的), I 就是 O 的像了。

我們用公式
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$$

來說, 此地的 u = 物體與鏡的距離, 即 PO , v = 像與鏡的距離即 PI , r = 鏡的曲率半徑, 即 PC 。

這個方程式只有鏡徑小的時候才能真確; 圖 43, AP 是必定要小的。

現在從 A 畫法線, 就是半徑 CA , C 是鏡的曲率中心。由此用反射第二定律, 則得

$$\angle OAC = \angle CAI$$

在 $\triangle AIO$ 中, AC 是 $\angle A$ 的平分線。

$$\frac{AI}{AO} = \frac{IC}{CO}$$

假使 AP 是小的,

$$AI = PI \text{ (近似)}$$

$$AO = PO \text{ (近似)}$$

$$\frac{PI}{PO} = \frac{IC}{CO}$$

$$\frac{v}{u} = \frac{r-v}{r}$$

$$ur - uv = rv - v^2$$

$$ur + uv = 2uv$$

各用 uvr 來除，得 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ 。

不論怎樣的入射線從 O 射來，只要入射點是近於 P ，就能得到同樣的方程式，因此 v 的數值也相同。所以一切反射線必須經過 I ， I 便成 O 的像了。

假使把軸轉一小角度 C (圖 44)，物體就隨走 OO' 的路程，像便走 $I'I'$ 的路程。假使以 CP' 代替 CP 為鏡的主軸，那麼我們

用來證明 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ 的方法，仍

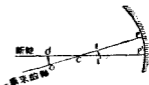


圖 44。

可應用，因為 CP 和 CP' 都是半徑，這是很明白的。

I' 因此而成 O' 的像；同理 $I'I'$ 上的各點，都是 OO' 上相當各點的像。只要 PP' 不大，我們就可把 OO' 和 $I'I'$ 當作垂直於 OCP 上的直線。所以這個公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ ，對於和軸成直角的線物體，同在軸上的點物體，都是一樣適用的。

再證

$$f = \frac{r}{2}$$

我們可從我們的公式，證明焦距 f 等於曲率半徑的一半。假使把一點物體放在 F 上，反射線便並行，始終不遇，或依數理

設法，它們在無限的遠處相會。像也在無限的遠處形成。

在公式
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$$

中， $u=f$, $v \rightarrow \infty$ (無限)

$$\therefore \frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = \frac{2}{r}$$

但是 $\frac{1}{\infty} = 0$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

$$f = \frac{r}{2}$$

所以我們的方程式，又可寫成：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

試證公式 放大率 = $\frac{v}{u}$ 。

圖 45，一光線從物端 OO' 之頂入射鏡極 P 以後反射出去，必定經過 II' 的頂。入射角等於反射角，即

$$\angle O'PO = \angle I'PI$$



圖 45.

因之直角三角形 $IP'I$ 和 OPO' 相似，

$$\frac{IP'}{OO'} = \frac{PI}{PO} = \frac{v}{u}$$

即
$$\frac{\text{像高}}{\text{物體高}} = \frac{v}{u}$$

前面已經說過公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{r}$ ，只能用於口徑小的鏡子，

理由乃在一柱光和大口徑凹鏡的主軸並行而來，並不經過一焦點反射的，反射線卻成一條曲線，叫做焦散，它的會切點 (cusp) ——兩側半焦散的交點——在主焦點上。

假使所有從鏡面各點放出來的反射線，不能相交於一點，像就不清楚，而且形像半離，那是可以預知的。這種缺陷叫做球面像差(前第四章中已經述及)哈哈鏡就是利用這種球面像差的現象，而顯出各種半離的形像，引人笑樂的。

拋物鏡能使一平行光柱投成焦點，因此照空燈的反射鏡或汽車的頭燈都用拋物鏡而不用球面鏡了。如果把成點的光源，放在它的焦點上，則一切反射的光線，差不多都成並行的光柱了。

在光學的微粒說上，球面鏡的反射，無須特別的解釋，只要說微粒跟着光線的路程，在鏡上跳躍好了。在波動說方面，可用水波來說明。直線水波在凹鏡上反射以後，水波便會聚到鏡的

主焦點上去。直線水波在凸鏡上反射，水波便彎曲，好像從鏡後主焦點擴散出來的一般。

第七章 光的分散

古人也曉得白光穿過了某幾種形式的玻璃，就會現出許多有顏色的光來。無色的玻璃，能產這樣的結果，所以不致疑慮玻璃中先有顏色，而後生出顏色光來了。

這種現象，叫做分散 (dispersion)，是牛頓研究出來的。牛頓說：「1666年（其時我自己研磨非球面的光學玻璃）我獲得一玻璃的三稜鏡，即用以試驗受人稱賞的顏色光現象」。他在劍橋特立尼德學院 (Trinity College) 裏，把自己的房間弄暗了，在窗板上穿一圓孔，直徑約 $\frac{1}{4}$ 吋，從此孔把太陽光射入，在對面的牆壁上形成白色的光圓。他於是把他的稜鏡插入光束的途中。牆上就成一延長的顏色光路，長有圓的五倍，兩端成半圓形，一端為紅色，一端為紫色，不復有白色光圓了。牛頓叫這顏色的光帶做光譜 (spectrum)。它的顏色就是虹的顏色，紫、藍、綠、黃、橙、紅，每一顏色轉成另一顏色的地方，都是漸漸轉成，並沒明顯的分界。

從圖 46 可見白光經過稜鏡的時候，除分裂成各種顏色光外，也很多偏向的。這圖如果要用來代表牛頓的裝置，那就應把

個倒着的，然而尋常畫起稜鏡圖來，總是把它的折射邊向上的。

在牛頓以前，大家以為稜鏡能把顏色插入白色中去的。牛頓在劍橋時

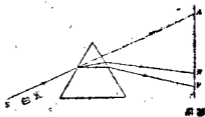


圖 46.

的老師巴路 (Barrow) 主持一個荒謬的理論，以為紫光是稀薄的白光，紅光是濃厚的白光。

牛頓爲了這個現象，曾假說了幾個假說，例如他尋開心，以為光線在經過稜鏡的時候，可以描寫它們是走着彎曲的旅程，正像網球受了球拍的旋轉，可以說是走着曲線的一樣。他以為不同的光線，會成各種程度的彎曲，因此生出了不同的顏色。在微粒說方面說來，他以為光是含有像小球樣的微粒的流動，但是他不能探知這種出射線，能有這樣的彎曲。

後來他得到一個結論，說一條白色光柱，不過是一束各種顏色的光線；稜鏡能把它們分散出來，乃是因為玻璃對不同的顏色光有不同的折射率。稜鏡對紅光的折射率最小，所以穿過稜鏡以後，紅光的彎曲最小。稜鏡對紫光的折射率最大，所以紫色的彎曲也最大；其他的顏色光，彎曲於這兩者之間，在中間便合成一色帶。

牛頓又用一組簡單而確實的試驗來證明他的原理不謬。

1. 再放上一個稜鏡，就沒有顏色增加，把光經過兩個稜鏡如圖 47 所示，把光譜 RS 延長，但是第二個稜鏡不再有顏色

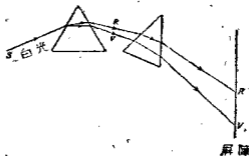
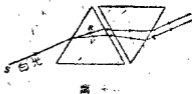


圖 47.

加進去了。第一個稜鏡已經把白光中的顏色分出來，第二個稜鏡不過把各種顏色再偏向一些罷了。

2. 第二個倒置稜鏡會把色光重新合成白光。把白光穿過一正一倒的兩稜鏡如圖

48 所示，把幕放在某一定的距離，幕上便現出一個白片。第一個稜鏡分出顏色，第二個稜鏡



再把它們合併起來。圖 48 只畫一條入射線，發生平行顏色光線在一個出射光柱，實際上往往有許多的並行入射線出射光柱重疊起來，成白色的出射光柱，在它的邊上還有微細的顏色。

3. 單純的顏色光，只受第二稜鏡的偏向，沒有新顏色再加上去的。先用稜鏡把白光分成色光，再單讓一種色光，譬如說

紅光，穿過幕上的裂口，射到第二個稜鏡

上去，如圖 49 所示。

第二個稜鏡不過偏向

紅光，並不變其顏色。

如果讓紫光射入的說

法，稜鏡的偏向紫光就比偏向紅光大了。

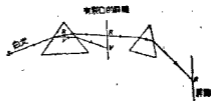


圖 49.

這些實驗，現在看來，雖然可視作牛頓原理的確切證明，但是和牛頓同時的人，並不普遍承認的。牛頓常常感到人家的特別非難，曾寫信給來布尼茲 (Leibnitz) 說，『從我的光學原理印行以後，引起我討論的苦惱，我深悔自己的孟浪，竟把我可得實惠的安靜幸福去追求一個黑影子』。

從一小光源射來的光，經過了一個稜鏡(圖 50)，所成的光



圖 50.

譜，其中顯有無數重疊的色光。這個不純淨的光譜，會一端是紅色，一端是紫色，但在中間則為黃白色，此處的颜色，已經重新併吞了。

在牛頓的實驗中，太陽光線射到他的稜鏡上，實際可算是

並行，因為光線來源相距有 93 百萬哩之遠，因為從稜鏡出來的各色光線成爲並行光柱，在壁上成爲一圓形的色片。所以成爲圓形，乃因幕上的孔是圓形的緣故。這六種顏色部分，繪如圖

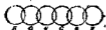


圖 51

5。照牛頓的計量，它們合成的一個光譜，其長爲一圖片的五倍。因此光譜中一定有很多的重疊，牛頓

的光譜也不會純淨的。

牛頓又在光譜中檢出他以為顯著的顏色，便是紫、藍、綠、黃、橙、紅。牛頓在紫與藍間，還插入青色，但是大多數人辨不出來的。但是光譜中確有無限的顏色。光譜中有多少顏色，正和一條線中有多少點子的一樣難說。而且顏色的名稱，我們也有限，譬如紅字，就包括了一大範圍的顏色。所以牛頓的光譜，是各種顏色像無數重疊的結果，比了圖 51 不知要複雜得多少。

要想到得一個純淨的光譜，就必須要有一個光亮強的裂縫，要裂縫光強，裂縫就愈狹愈好。用凸透鏡把這裂縫的像映在一張遠幕上，再把稜鏡插入心的路途中（圖 52）。因為光要偏向，所以幕必須移動了，但是要把像集成焦點，幕便必須和稜鏡

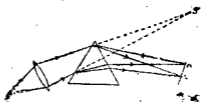


圖 52

保持同樣的距離，從裂縫來的無數組的顏色像，就在幕上邊接邊的會集起來，成爲一個單純的光譜。

假使把稜鏡轉動了，光譜也就移動，而且長度也隨之變更。當稜鏡放在偏向最小的地位，光譜便最短，最亮而最清晰。

由牛頓的實驗知道白光並不是同性質的，確是包含許多有顏色的光，它們對於玻璃這種介質，各有不同的折射。

光由空氣入射玻璃，就得折射，這是由於光速度的減小，我們在前面已經說過了。各種有色的光，在空氣中以同一速度進行，但是它們走入了玻璃裏面，速度便不同了；紅光滯延最少，紫光則最多。因此可知紅光受的折射最小，紫光受的最大了。

依波動說，紅波在玻璃中比紫波在玻璃中走得快，因爲紅波的波長較長。

我們可用一相似的事實來證明這個論據。假設有一羣成人和一羣兒童，大家沿了一條大路向前走。兒童的步度較短，那麼兒童要和成人並行，勢必在每分鐘中多走幾步。假使他們的路途改變，要從平路上走到高低不平的麥田裏去，就要妨礙成人和兒童兩方面所取的步伐。因爲兒童每分鐘要多走幾步，所受的窒礙，就比成人爲多了。假使成人和兒童兩方面，所耗費的能量都不變，兩方面的步伐便遲滯了，兒童便漸漸的落在後面。

現在再研究把光譜的色光重新併合起來，成爲白光的过程。

(a)用色板 我們在這一章的起首，就講到牛頓對於稜鏡創說的理論，只有用實驗來證明。但是現在還有兩個確實的證據，也是屬於牛頓的，證明光譜上的一切色光同時走入眼睛，就成白色的感覺。

在一塊圓板上，畫上光譜上所有的各種顏色，配合成適當的比例，很快的把圓板旋轉，最好用電動機來轉。有顏色的圓板，看來就是白色了。

因為有所謂感覺暫留的現象，所以眼睛不能在幾分之一秒的短時間內，把網膜上所現像的知覺除去。活動電影，就是應用這個原理。像映在幕上的速率為每秒 16 或 24 次，由此生出連續的觀念。在色板的試驗中，光譜中的各色，重疊的加在網膜上，而且同時，所以就成白色的感覺了。

在此應得聲明的；因為顏色不能塗得真確，比例也難配得恰當，所以家庭中做的色板，不易得到圓滿的結果。為此特別製作的，自當較為滿意。它們應該用強光照耀的。

這個試驗，同時還可以決定各種色光成各種比例走入眼睛時，腦所感受的是什麼色光？這個問題就是我們在下面色的一章中所要研究的。要實驗這個問題，可把色板，沿半徑切成許多塊數，再把它們併合起來旋轉，就可見各種色光。

(b)用一透鏡 各色光所組成的光譜，可用一透鏡，把它們再合成白色。

依尋常的方法，在一個焦距 10 厘米凸透鏡前面，一短距離的地方，用一稜鏡形成一光譜（圖 53）。把透鏡移動，使圖中標 O 的一點在幕上集焦點於 I



圖 53.

為止。RV 光柱（在透鏡前插入紙片，便能顯出顏色）在 I 處就現出一白片來。

如果把光譜中某種色光減去以後，結果成什麼色光，也可用這種裝置來決定的。譬如在紅光的途中，放一不透明的薄片把紅光減去了，那幕上像的色光就變成藍綠色，叫做孔雀藍了。兩種色光例如孔雀藍和紅色，併合起來，就成白色，便叫互補色 (complementary colours)。

同理在光譜的平面內，可以裝設裂縫（在透鏡前面），只許某種色光穿過的。阿勃訥爵士 (Sir William Abney) 為研究色視覺起見，曾精細的做過這種試驗。

因為玻璃對於紅光比較紫光的折射率小，所以紅光對於透鏡的焦距要比紫光的焦距大了。在圖 54 中， I_V, I_Y, I_R 是紫光黃



圖 54.

光和紅光從物體 O 經過凸透鏡而成的像， F_V ， F_Y ，和 F_R 就是各色光的焦點。許多像的位置，可用實驗來決定。試驗時須在發光體的前面放一紫光或黃光或紅光的濾光器，再用透鏡把像焦點在幕上，才有美滿的結果，因為白光被透鏡分散，在圖 54 看來是很清楚的，故若不用濾光器，而逕將幕放在 F_Y 處，則像的邊緣上就現有色的條紋。這種像的缺點叫做色差 (chromatic aberration)。

牛頓斷定這種缺點是難革除的，因為它存在於光本身的性質中，堅牢不可分離的。要造一架大而有力的折射望遠鏡也是不可能的，所以他就專注意於反射望遠鏡上面了。

然而我們現在知道了色差是可以醫治的。讓我們先來研究稜鏡的情形。

我們開始的時候，必須先把偏向 (deviation) 和分散細細的辨別清楚 (圖 55)，稜鏡所生的偏向，就是一指定的色光——

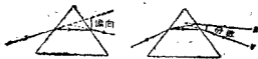


圖 55.

如鈉黃光——在折光的時候入射線與出射線中間的角度。稜鏡所成的分散，乃當白光在折光的時候，出射紅光線與出射紫光線中間所成的角度。所以用空心稜鏡裝了水，生出的光譜，比同

角度的玻璃稜鏡所生的光譜，要短得多，分散就較小。

牛頓深信偏向和分散對各種物質都成比例的，所以有偏向就不能沒有分散。圖 48 用了第二個倒置的透鏡，分散便消去了，但是那兒沒有偏向；後來的出射線就和最先的入射線並行了。

鉛玻璃比了鈣玻璃的分散能力，要大兩倍，所以鉛玻璃稜鏡只要有鈣玻璃稜鏡的一半角度，就能得到相等的分散。然而它的折射率並不大兩倍，所以偏向也沒一起取消。這樣的兩個稜鏡，就叫色和 (achromatic combination)。從圖 56 中，可見一小條白光，能成一狹條諸色並行的出射光柱；實際上這條出射光柱是成白色，不過在它的邊緣上有細微的顏色，因為出射光柱是許多人入射光線重疊成功的緣故。

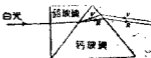


圖 56.

同樣，也可造成透鏡的會聚色 (圖 57)。一個鈣玻璃凸透

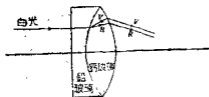


圖 57.

鏡和一個鉛玻璃的凹透鏡相併合，後者焦距長兩倍，能力祇有一半。併合的結果就成凸的，這兩個透鏡對任何特種光線，都

可當作兩側置稜鏡用的。

假使色和的秘密不能發見，高倍顯微鏡和折射望遠鏡都不能有了。

虹便是日光在空中雨點內的分散現象。

當白光走進球形的水點內，紫光線的折射要比紅光線為大。因此在內反射以後，紫光線出射就比紅光線更偏向(圖 58)。假使把眼睛放在這些光線走進的地位，所見的光譜，就是紅在上邊，紫在下邊，雖然紅光線出射於紫光線之下，但紅光線和地平線所成的角比紫光的為大。

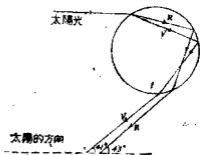


圖 58.

但除虹的顏色以外，我們還得解釋虹為什麼成弓形的。笛卡兒(Descartes)在1637年就用早幾年發見的斯涅爾(Snell)反射定律來得到一個正確的解釋。他把一萬條並行入射線射在水滴的一邊，畫出它們的折射線和出射線。他看出出射線在各種方向都有發出，但約有100條的這些光線，束成一狹而較並行的光柱。這些光線所受的偏向，近於最小。他於是得到一個結論，說只有這個狹緊的光柱有足夠的強度，可以影響眼睛。所以

那些水點，要在送這種光柱到達眼睛的位置上的，纔成虹的部分。因為它們必須和眼睛成同一的角度，所以必須成一個圓錐體的表面，它的尖錐是對着眼睛的才行，因此虹就成弓形了。圖

59，在圓錐體的頂上，只畫着很少數的兩點。假使有許多人排了一排來看虹，他們所見的虹各不相同，那是很明白的，因為在各人的相當方向裏，各有不同的一組兩點。在兩點降落的時候，那弓形的虹也自然繼續變化了。

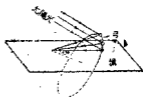


圖 59.

有時在天的較高處，還有副虹可見，它的顏色適和虹相反，

紅色在下，紫色在上。這種副虹，我們古書上就叫做霓。這是由於光在兩點中受了兩次的內反射而成的（圖 60）。



圖 61.

水點在太陽光中噴射的時候，也能看見虹的，例如在瀑布的腳下，就能見到。

一種用來發生和計量單純光譜的儀器，名叫分光計 (spectrometer)，對於物理學家和天文學家都是最重要的東西。分光計的形式如圖 61，它在光學上的裝置，則如圖 62。

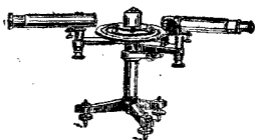


圖 61. 計

分光計有一管，叫做並行光管（collimator）、發生並行光柱，有一望遠鏡，觀測自稜鏡出射後的光線。並行光管，有一直線的裂縫 S （圖 62），位於透鏡 L_1 的主焦上。把光源放在裂縫



圖 62。

的前面，光就從裂縫射入透鏡 L_1 ，出射而成並行光柱。光柱再射入放在轉臺上的稜鏡把牠分散。從稜鏡出射的各並行色光柱，走到望遠鏡物鏡焦面中的一個分隔焦點，而形成一個單純的光譜。用望遠鏡的目鏡 L_2 來看光譜。圖 62 的目鏡只有一個透鏡，實用上都用兩個透鏡的。

在成光譜的平面內，有兩條垂直的十字線。望遠鏡可依一個刻有度數的圓尺旋轉，可使垂直的十字線停於光譜的任何部

分，由此光譜中一點的位置，就可讀出來。

試把用分光計所成的單純光譜，和那依圖 52 裝置所成的光譜比較一下，那是很有趣的。分光計的裝置最好。因為在光未入稜鏡以前，先使光柱並行，一特定色光的各光線，能得受最小的偏向（只要把稜鏡放得正確的位置），而且在這個位置，稜鏡的色像又是最清晰的。

第八章 光譜

牛頓以後，到十八世紀的中葉，纔有人作進一步的研究光譜。那時知道某種金屬鹽類放在火焰中燃燒，火焰便生某種色光。鈉發黃光，錒發深紅光，鈣發紅光，鉀發深紫光。拿這種種的色光的光譜來觀察，知道並非整個的連續光譜，甚至也不包括光譜的一部分，不過是幾條燦爛的有色光線，也就是裂縫的幾個分別的色線像。鈉生黃線，更確切的說是兩條黃線，合併得非常密切，錒生許多紅線和一條光亮的藍線。鈣生有多條的紅線和黃線。鉀生兩條紅線和一條紫線。

現在我們所須記牢的，就是像分光計這種儀器，不過是用來分析那射上去的光線，使我們考察出那光線的成分。從任何可見物體上來的光，都應有一光譜，不過從非發光體來的光，除非極度的照亮了，總是太暗，不能產生出光亮的光譜來的。

我們知道上述色焰的光，是包含着幾種單色。經過廣大的探究以後，知道一種元素所生的光明的光譜，就是特指那種元素的，也只有那種元素纔能生那一種光譜線。因此在決定某種元素的存在與否，分光計卻是一個極精巧的化學檢驗器具了。

起初鈉黃線常在各種光譜中出現，好像是個極大的混亂。後來知道鈉的量雖至極少，少到三百萬分之一克，分光計仍能把它檢查出來，而這微量的混雜，就是在大氣的塵埃中，也很容易得到的。

光譜的研究，在1859和1860年，經本生(Bunson)與克希荷夫(Kirchhoff)的探討，在科學上獲得穩固的地位。他們發見達克海姆(Dürkheim)地方，天然有的礦水清淨，生有兩光譜線，一種是藍的，又一種是紅的，不能歸之於任何已知的元素。他們後來發見這兩種光譜色線，是兩種新元素合成的，依光譜色線的分別，一種是鈣(caesium 發藍色)，又一種是銣(rubidium 發紅色)。還有其他幾個元素也是照這個方法發見的，其中最著名的是氫，我們發見地球上存在氫的時候，早已知道太陽中有氫的了。

發光體所成的光譜，叫做發射光譜(emission spectra)主要的分兩種：

1. 連續光譜(continuous spectra)——由白熾固體和液體所產生的(例如太陽、白熾燈、鎔銀等)。

2. 明線光譜(bright line spectra)——由白熾蒸汽和氣體所產生的(例如火焰或弧光、電火花、真空管)。

有種元素，例如鐵，不能使本生燈的火焰生色的，所以就要發明出方法來，把這種元素變成一種白熾蒸汽的方式。我們就

請變成蒸汽的三種新方法。

1. 弧光在已知的各種火焰中，要算是最強烈的火焰，在這種火焰中，像鐵等金屬就會被化成汽。就見鐵的光譜含有很多的線條。水銀(弧光)蒸汽燈，就能生一個美麗的光譜線。

2. 假使在兩兩金屬電極中間通過電火花，把電火花的光用分光計來分析，所得光譜，就是電極所含金屬的光譜線。但是有許多線條，卻是由周圍的氣體所現出來的。而且電量通得多些，光譜就稍有變化。所以觀察光譜，必須具有極大的謹慎心和識別力才好，因為同樣的元素在不同的環境下，就會產生不同的光譜線。

3. 把電流通入稀疏的氣體中(壓力約為水銀柱高1毫米)，氣體就會發光，這發出的光就可用分光計來分析。一種所謂真空管，就是作此用的，形如圖 53。電流的通入和流出，都由兩端的金屬

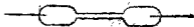


圖 53.

電極，把管子的中部縮小了，就可得到格外強烈的光亮。作廣告用的氙燈(俗名霓虹燈)就是把這種同樣的管子通電而成的。

把真空管充了些氫進去，通電後就成紅色。所成的光譜，含有許多的線條。我們在後將有機會來討論其中的兩條線，一條光亮的紅線，叫做 C 線，又一條光明的藍線，叫做 F 線。

1802 年英國化學家伍雷斯頓(Wollastone)發見太陽光的

光譜，有七條黑線橫列着。他猜測那最顯著的五條黑線是光譜中最重要顏色的界限，加朱里 (Cajori) 批評說：『他的解說是有趣的，因為它好像是個真實的原理，但是完全非真理的』。

1814年夫宰因和斐 (Fraunhofer) 在慕尼克一家製造望遠鏡透鏡用的玻璃工廠裏工作，他發見太陽光所成的光譜，有幾百條黑線橫列着，他又畫圖表出 576 條。他的發見，或許是得到真真正正光譜的第一次。我們應該把太陽光照在一架調整好的分光計裂縫上，自己來觀察這些線條。

這種黑線就叫夫宰因和斐線。其中最顯著的，由發見者把它們用字母從 A 到 K 標記出來(參觀色圖)。

那時又研究出黑線的位置，同某種元素的亮線相當。例如 D 線和(雙重)鈉黃線相當，C 線和 F 線則和氫的紅線和藍線相當。

於是有人疑心，以為太陽光缺少了某種顏色，乃有夫宰因和斐線來代替，但是孚科就把缺少的色光插進去，把太陽光通入弧光，結果實是驚人，黑線非但不減，反比從前更加顯明了。

這黑線的真確解說，到克希荷夫纔完成，雖然斯託克 (Stokes) 好像在前也有這種解說，太陽有極熱的心叫做光球 (photosphere)，太陽的表面，我們尋常所見的，不過太陽表面的一部分，周圍又有冷氣層，叫做反彩層 (reversing layer)。有許多從光線出來的光，在經過反彩層的冷氣體時，就被吸收了。

我們可用簡單而美麗的試驗，在實驗室裏指出這種現象。先把分光鏡仔細的調整好了，然後在裂縫前燃起鈉焰。把望遠鏡旋轉，使得見黃譜線為止。現在把100支燭光的電光或弧光射入鈉焰而入分光鏡裂縫。就見一連續光譜，鈉線取消，成爲黑線。白光的光源應該比鈉焰的溫度較高，那是必需的。

一個光譜，有黑線或黑帶橫列的叫做吸收光譜(absorption spectra)。假使光源的溫度高於物質的溫度，那物質所吸收的光，和它所放的光色相同。

所以夫半因和斐線可以使我們決定反彩層的成分，反彩層就是光球周圍的冷氣層。克希荷夫解說夫半因和斐線說：『夫半因和斐線引起人類的羨慕和想像，爲其他任何發見所不及的，因爲它已經允許一條光線射入了那好像要永遠遮蔽我們的世界』。現在星光譜的研究，和太陽光譜一樣的研究，雖各有不同，卻是天文學上一個最重要的分支。分光計已經告訴我們，造成整個宇宙的元素很多，是和造成太陽系的各元素相同的。

吸收光譜也可依照發射光譜的分類而分類。

1. 連續吸收光譜(continuous absorption spectra) 把一個濾光器(一塊顏色膠或玻璃)放在光前，再使光成光譜，光譜的一部分便消滅了。例如血液在橙色和黃色光譜上會現黑帶，而且吸收一切的紫色(靛彩色調)。這是一個重要的血液試驗。

2. 線吸收光譜(line absorption spectra) 例如太陽光或

極烈的白光，穿過鈉焰或其他元素蒸汽而成的光譜。

在光譜上成爲明線的光，是原子（物質的最終質粒）所發出的，在研究原子構造上是至爲寶貴的證據。

一個原子可以當作一種縮小的太陽系。原子中有個小而重的核（nucleus），相當於太陽，核的四周有荷負電的小質點叫做電子（electron）的旋轉，這便相當於行星。氫有一個旋轉電子，氦有兩個，鋳有三個，一直排下去到銻有 92 個爲止。

電子不和行星一樣只有一條軌道，卻是有許多軌道繞着核的。當一個原子受了隣人的猛烈打擊以後，例如在火焰中燃燒的時候，一個電子便會跳到外邊一些的軌道上去，好像一個皮球從低級跳到高級上去一樣，每一級可代表一個電子所能有的軌道。原子經過電子的跳躍，於是得到能。不久電子跳回來，好像皮球又跳到低級上一樣，在這個步驟中，原子便放出光來。光的顏色依所跳兩軌道的位置而不同。光譜中的各條明線，就相當於一電子從一外軌道跌入內軌道。

我們已經說過一種元素的光譜，有些是依激動的方式而變異的。當原子劇烈激動的時候，就有加多的光線出現，因爲電子要躍出到原子更外的外層，它們要回到原位必定要有較多的移動了。假使有個電子完全走失了，其餘的電子就另有一組的線（火花線）了。

我們已經知道原子所吸收的光，就是和它本身所發的間色

的光(吸收光譜)。一個電子從內軌道跳到外軌道去,光便被吸收,在跳回的時候,就發出同樣的色光。

1800年赫瑟爾爵士(Sir William Herschel)把溫度計的球放在太陽光譜的各部,得到一個驚人的發見,把溫度計移得距離紅光外很遠了,熱力的影響還繼續的增加。所以太陽光譜,有一大部是目力所不能見,但是和可見光譜一樣,可用熱力來觸知的。用特製的照相片,也可以試出的。這些不可見的放射的波長比可見紅光線還長的,叫做紅外線(infra-red ray)。

在赫瑟爾發見紅外線後一年,立忒(Ritter)在一種銀鹽起變黑作用的時候,發見在紫色外有一帶不可見的放射帶,就叫紫外線(ultraviolet ray)。

假使取一試管,儲以硫酸奎寧的溶液,放在紫外線中,它就放出淡藍色的光來。這種現象叫做螢光(fluorescence),其他許多物質,像凡士林、機油和鎊玻璃,都能顯出這種現象。不可見的紫外線短波,被硫酸奎寧所吸收,重新放出長波長的可見光線。

紫外線能和照相片起作用,所以也可用來照相。紫外線對於人體有個有利益的作用,能促進皮膚下面維生素的加進製造,所以可以用來治療虛弱症,其他因缺少維生素D或太陽光而起的疾病,也可用紫外線來治療,其詳細情形,我們在後章專章敘述。

無線電波走着和光一樣的速率，大家相信無線電波和光一樣都是由以太中的波浪所成。我國中央廣播無線電臺所放送的無線電波，波長為1500米。然而無線電波的波長，也竟有小到和波長最長的紅外線一樣小的。在這種十分短的無線電波上傳遞消息，難免不受普通火災的妨礙。

在這些波長的又一方，另有特別微小的以太波，叫做 X 線，還有更短的 γ 線，由放射物質發出的。下表就是我們所謂完全的以太光譜：

可見光
紫 紅

波長	γ 線	X 線	紫外線	可見光	紅外線	無線電波
	10^{-9} 厘米	10^{-8} 厘米	10^{-8} 厘米	4×10^{-5} 厘米	8×10^{-5} 厘米	10^{-2} 厘米
						千、百米

第九章 色

物體怎樣會有顏色，並且顏色知覺怎樣由眼睛接受？這是我們在這裏所要研究的問題。

取一紅濾光器放在一柱做光譜的光途中，光譜線就除紅色以外，一概消滅。這種濾光器，就是戲院中用來放射紅光圈的。

這個簡單試驗，卻很有趣味。它告訴我們濾光器所以能成紅色，乃在它能把白光中的各色光，除紅光外一起吸收去的緣故。它並非把所有的白色光，都染成紅色。它不過是吸收紅光外的一切的光而已。

這個試驗可用他色的濾光器來反復試驗。實際上，這個試驗對於濾光器的純淨與否，也是一個很好的試驗。假使有個認為是綠色濾光器的，那就能除綠色光以外，把光譜中的一切其餘各色光一概消滅，如果還有些紅色，那就不是一個純淨的綠濾光器，因為它允許有些紅光穿過的。

現在讓我們來研究紅緞帶的情形。紅緞帶在白光底下看來是紅的；在黑暗中看來是黑色，或說看不見。如果把它放在光譜的其他各部分去看，它要現什麼顏色呢？在光譜的紅頭看來是

紅的，在光譜的其餘各色中——黃、綠或藍中——看來，便是黑的，或近於黑色。這是因為纖維能吸收除紅光以外一切照在它上面的光色，只有紅色能送入眼睛。光在經過紅原料的時候，光就被吸收，只有紅色在下方的纖維原料上反射出來。所以纖維在染色以前，必須要能夠反射射在它身上的任何光線，換句話說，纖維必須近於白色。例如用紅墨水寫在黑紙上，是不能看出什麼來的。

又有一個有趣味的試驗，用單純的鈉黃光照亮一個暗室，要得鈉黃色，可把一小塊巖鹽放在美琪燈 (Meker burner) 的鐵絲網上燃燒。放在白光下成黃色或白色的物體，放在鈉黃光中就成黃色，其他的顏色，則都成黑色。人的面孔在這種光底下看來也是可怕的。

所以一種物體的顏色，一部分是依靠射上去的光，一個普通電光球所發的光，紅光和黃光的量，遠勝於那太陽光的紅光和黃光（或換句話說，電光球中沒有足量的藍光），在電光內要有正確的對比，卻是不可能的。爲了這個緣故，所以用蓄電器來供給的日光燈，燈上就塗着藍色，藉以減少紅光與黃光的百分比，使發出光的成分和日光得以相觀。薛林海姆日光燈 (Sheringham daylight lamp) 的反射器，就是染着藍綠色的。

我們可以總起來說：一物體的顏色是由它吸收除自己以外的各種色光而成，它自己的色光，就正他在白天送入我們眼睛

的顏色，白天的光，我們認作是白光的標準。人造光的顏色，則依射於其上的光的性質而不同。

白色物體不吸收光的，所以它是照射光的顏色；紅色物體，除紅光外，其他的色光，概被吸收；而黑色物體則吸收所有一切的色光。

此地應提起體色 (body colour) 與面色 (surface colour) 的分別。金箔由反射光而現出黃色 (面色)，持之置於燈與目之間，則現綠色 (體色)。金箔反射黃光，透射綠光。我們早已說過，縹帶的紅色，是因除紅光以外，各色光都被吸收，只有紅光通入眼簾，紅光的反射則在底下的纖維上。一物體本身的透射和部分的吸收，卻是體色機械作用的一個主要部分。

把三盞燈的光都照射在一幕上，而且使三個光片重疊起來。這樣就可審查出三種色光同時入眼的時候，眼睛所得到的感覺了。我們早已提到兩個其他的裝置，可以作此用的：(i) 牛頓的色板，(ii) 牛頓的重合法，或用全體光譜色的透鏡，或選幾種光譜色的透鏡。

用了三盞燈和適當的純淨濾光器，我們可以指示出下列的事實：

1. 紅光 + 綠光 + 藍光，看來是白光。
2. 紅光 + 綠光，看來是黃光。
3. 紅光 + 藍光，看來是品紅；紅紫色。

4. 綠光 + 藍光, 看來是孔雀藍。

這些事實, 可以簡便的用個顏色三角形圖(圖 64)來表示。

紅綠藍三種顏色, 稱做原色(primary colour)放在一個等邊三角形的角頂。

在紅與綠中間寫黃字, 紅綠兩光同時走入眼瞳就生黃的感覺。孔雀藍和品紅, 則各放在綠與藍及藍與紅之間。三角形的中心則寫白字, 因為紅綠藍三



圖 64.

角形的中心則寫白字, 因為紅綠藍三

光同時入眼, 就得白色的感覺。我們也可以看見

1 分藍光 + 2 分黃光, 就得白光。

因之, 1 分紅光 + 1 分綠光, 就得 2 分黃光了。

上列的事實, 任何人極可用試驗來自己證明的, 依色視覺的性質和作用, 在這些事實上, 可以推定些什麼呢?

我們必定會遇到的事實, 白色的知覺非單可由光譜上的各光併合而成, 而且紅藍綠三光也能合成白光的。把這一種原色, 用適當的成分拼合起來, 可以指出任何顏色的感覺。

楊(Young)和赫爾姆霍斯(Helmholtz)倡一理論; 謂眼睛內有三組神經, 分別對於紅綠紫三色起感應。這三組神經受得相當的刺激時, 就現出白色的知覺。在紅綠兩種神經受得同等的刺激時, 乃見黃色, 依此類推; 任何顏色的知覺都能發生, 祇要這三組神經同時受到正常比例的刺激就可以。

這個理論不能令人完全滿意，因為照解剖上看來，網膜上只有一種神經是和色視覺相關的。當原色以外的一種單純色光射入眼睛，它就依照理論刺激兩組或多組的神經，例如純粹的單一黃色，是認為刺激紅神經和綠神經的。然而這個事實適足解說眼睛是個極無選擇的顏色接受器官。眼睛接受到黃色的知覺時，它也不能分辨出是否純粹單一的黃光，例如由鎊焰發出的，是否係紅綠兩色光合成的黃光，眼睛是辨不出來的。在這方面，耳要比眼銳敏得多了。耳常能把兩個音分別清楚，難得有把兩音合記成一音的。

楊和赫爾姆霍斯的原理，色盲 (color blind) 的現象，也可用來證實的。

普通紅色盲的人，不能從深綠中辨出紅色來的。我們相信紅色盲的人看世界上的東西，正像普通人經過孔雀藍濾光器來看東西一樣。楊與赫爾姆霍斯原理解釋這個現象，認為紅色盲人眼中的紅色神經是不起作用的。所以紅光走進他的眼睛，他是不會看見光亮的，只有綠與藍神經受得極微的刺激，現出深綠色。有時也有綠色或藍色神經不起作用的色盲人，但是紅色盲則最普通。英國人二十五人中約有一人是色盲，色盲係由遺傳而來。

這個色盲現象，是著名化學家道爾頓 (John Dalton) 所發見的。據說他在一塊遠的綠色田中要拾起一件紅色獵衣，非常

困難，又時常怕他的生徒們穿著淡色的衫褲和紅色的襪子。

色盲除某種職業尤其是駕駛引擎的人以外，沒有什麼大阻礙。駕駛引擎的人，在執業的起初，就須受嚴格的颜色考驗，例如在各種淡影中檢出羊毛或線球，以及在各色光中辨別各種顏色。

還有一種有趣的現象叫做色疲勞 (fatigue colour)，也可證實揚與赫爾姆霍斯的原理。

假使你向強烈的紅光源，注視了片刻，再轉目注視到一張照耀得很亮的白紙片上去，你就會看見白紙上現着藍綠色光澤的像了。不論原有的光源是什麼顏色，你在白色的背景上，總會見到它的補色。

其理由解釋作紅色神經看了強光源的紅光而現疲勞，在看白色物體的時候，三種色神經都受刺激，但是網膜上現紅光像的地方，紅色神經發現疲勞，那兒就記出孔雀藍的顏色來了。

有個極有趣的試驗，可以用來證明這種現象。取一厚紙製的大圓板，一半塗以白色，一半塗以黑色，再剪去一部，如圖 65 所示，後面放一紅燈。依圖中箭示方向，以每秒兩三轉的速度旋轉圓板。紅燈便現綠色。

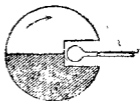


圖 65.

這個試驗不能有很簡單的解說，但是眼睛受了紅燈的刺激以後，立刻就受到闌板半面白色的刺激，疲勞色顯然比原有的刺激更加有力了。要成功此試驗，闌板必須照得很亮。

假使把兩個濾光器，例如紅和綠，放在同一燈的前面，各濾光器能除去自己的光以外，把其他一切的光，一概除去，所以這兩濾光器會完全的阻擋了一切的光（假使兩個濾光器是純淨的）。因為紅濾光器能除紅光以外，把其他一切的光吸收，綠濾光器又把紅光吸收了。

假使把三個圓形濾光器重疊放置如圖 66，假設 1 是紅，2 是綠，3 是藍，是三種原色，那麼 4、5、6 和 7 就成黑色了。

現在假使 1、2、3 是三種副色，是黃，品紅，和孔雀藍，於是 4 便成紅，5 藍，6 綠，7 黑了，其說如下：1 和 2 重疊的 4 處，只有黃和品紅共有的光。即紅光可以通過，5 與 6 可用相似的解說。

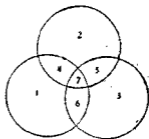


圖 66

在 7 處有三個濾光器相重疊，於是不准普通之色光通過，7 便成黑色了。這可叫做減法的色混合。

三色板的印製，也是依照這條原理，用和這三種副色很相近的油墨。一對對的重疊起來，就產生另外三種的顏色，就是三

種原色。這樣便可用三色印六色了。

把顏料或染料混合起來另成一種顏色，也是一種減色的方法。如把適當的藍光和黃光混合起來就成白光，因為兩種顏色都走進眼睛的緣故，這是一種加色方式。但是把藍和黃色的染料混合起來就成綠色染料。如果把純淨的藍色和綠色染料混合，便成黑色染料。然而藍染料除去藍光和光譜中在它隣近的一些些紫色和綠色外，其餘的各色光概被吸收。同時黃染料除黃光和一些橙光和紫光外，其餘各色的光，也概被吸收。因此藍黃混合起來，除綠光（其時在白紙下面反射出來）外，也一概被吸收。這是減除的一種方法。所成的綠色，自然不會和原來的黃色和藍色那樣鮮明了。因此藝術家常常寧願應用一種綠色的顏料，而不願把黃藍兩色混合了。

硫酸銅的結晶體是藍色，但是研成粉後則現白色。這是因為光不能深入粉末，只能在表面上向各方向分散，所以被吸收的光就很少或甚至沒有了。

現在白光的成分，由極小的質點分散到各種程度。上面所說的硫酸銅粉末質點，還比較的大，還能分散各種的光。但是空氣中包含的分子卻極細，在白光中，它們只能分散波長最短的藍光。這就可以解說天空所以成藍色的道理。從太陽光來的藍色光線，到達大氣的時候，便向各方分散，所以在任何方向看望天空，總成藍色。太陽自身現着黃色而不成白色，因為太陽光理

達眼睛的時候，已經失掉了它一部分的藍光了。有的分散由大氣中浮游着的微細塵埃所致：在 3000 呎以上，即地球上塵埃層的高度，天空便現深藍色，因為空氣分子只分散波長最短的藍光。

着火香烟頭所生的小煙圈，也成光亮的藍色，但從吸煙人口裏吐出的煙，則成灰白。煙的炭質，由吸煙者的口中塗上了水蒸汽，於是變大了，所以它們分散波長較長的光，也和分散藍光一樣了。

落日的成金色紅色，乃是由大氣中的塵埃分散了太陽光的藍光和綠光而成。當太陽接近地平線的時候，光穿過大氣的厚度，就比太陽高在天上時為大。於是分散更多，看來成紅色了。在 1883 年克刺卡塔奧 (Krakatoa) 火山噴發以後，大氣中捲起了大團的塵埃，有好幾個月的時間見到壯麗的落日。

最近喇曼 (Raman) 證明海成藍色，也是一部分由於水分子的分散光線；一半也屬於天空的反射。淺水的成綠色，因為水中的砂粒分散了波長較長的光線，以及砂粒反射黃光所致。

再者由分光而產生的色現象，那種顏色又是原來存在在白光中的，可用分散方法使白光分裂得只許某種色光到達眼睛。

紅外線的波長較長，因此比可見光線分散得少，所以容易滲入煙霧。用紅外線來攝影遠距離的景物是很適宜的。最近幾年中，已經製作了紅外線照相片，專使和紅外線起作用。

用紅外線濾光器和紅外線照相片所攝成的相片，與普通的相片是不同的。紅外光映出的相片，樹葉是白色，好像葉上蓋有雪似的。這是因為成樹葉顏色的物質是葉綠素，並不吸收紅光和紅外線，只有強烈的反射走入照相機裏面。

第十章 光度

研究光強弱的學識就叫光度學(photometry)。

從燈塔射出的光柱比了手電筒射出的光柱要強烈得多，究屬什麼緣故呢？燈塔光每秒鐘的光流量比手電筒的多得多。我們在第一章已經講過光是能的一種方式，所以燈塔光發出光能的速度比手電筒發出的大。

能的基本單位是爾格(erg)，把光射在黑色物體上，量其熱力，就得光能的爾格數(1卡路里(calorie) = 42×10^7 爾格)。要計算可見光的光能，必先把不可見的紅外線輻射分出。實際上，一支燭的能，只有百分之二是放射成光的。

然而我們所要講的，在於光源的發光本領，並不在光的熱力，光度學內許多的計量，也並不在爾格，卻在標準光源。

第一個標準是選擇不列顛的標準燭，這種燭用鯨油做成，重六磅，每小時燃去 120 粒(grain)。這個標準並不正確，已經作廢，但是計量光亮強度的單位，仍舊用着燭光(candle-power)的名稱。

有種特製的燈，結構非常精確，用戊烷汽(pentane vapour)

為燃料，叫做味哈戊烷汽燈 (Vernon Harcourt Pentane Lamp)，現在英國用作最後的標準。德國有黑夫南燈 (Heiner lamp) 燃燒乙酸戊酯 (amy. acetate)，用為標準，單位便叫黑夫南 (heiner)，等於 0.9 燭光。

為便利起見，實用上有用電燈來做副助標準的。標準電燈必須時時依照味哈戊烷汽燈分度。在分度的時候，尤須常常用心，要用特定方向發來的燈光，在通過比尋常大的電流以後，也必須給以正確的電壓。

一光源(用燭光計)的發光本領 (luminosity)

$$= \frac{\text{光源發光的速率}}{\text{標準燭發光的速率}}$$

此地所說的標準燭是理論上的燭，只有味哈戊烷汽燈的十分之一。

假使把一光源向各方向所發的總光和標準燭所發的總光相比，比值便叫平均球面燭光 (mean spherical candle-power)。

兩種光源的光度比較，可由眼睛的光亮感覺估計出來。眼睛對於感光強度的範圍極大，例如整個的日光強度要五十萬倍於月光，我們的眼睛都能感覺，但是光亮的感覺不能和光度的強弱成比例，例如 16 支燭光的一盞燈看來只有一支燭 $2\frac{1}{2}$ 倍的亮。有種用來比較光度的儀器，名字就叫光度計 (photometer)。

最前進的光度計方式，便是光電池 (photoelectric cell)。我

們前面已經說過光射在一種金屬上，金屬便發生電子，由相似的作用氧化銅會沉澱於銅片上，因為氧化銅發出的電子，被銅片收集的緣故。用線把氧化銅連到一只敏銳的電流計上去，再連接銅片，聯通電路，如圖 67 所示，用白光射入氧化銅，電子就沿電路流行，造成電流，

可用電流計量出，

我們在前已經說過電子的速率不依靠光的

速度，但電子的數目以及電流的大小，卻和光的強弱成比例的，所以把光電池接上電流計，就可直接作為計量光度的儀器。

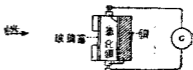


圖 67.

試用光電池來做實驗，

1. 證明光電池的感應和射上的光量成比例的。

在一個光電池前面多少距離(愈遠愈好)，放置一燈(例如 40 瓦特的燈燈約距 2 米)，察看電流計的偏向。在第一燈旁再

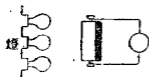


圖 68. 燈和光電池的距離實比圖中所示的遠得多。

放一同樣的燈，此時電流計的偏向便加了一倍。再加第三第四燈，反復試驗(圖 68)，在這些試驗的時候，請用綠色粗呢罩蓋桌面，以避散亂的反射光從磨光的桌面射到電池上去。

2. 比較兩盞燈的光度。

放一定光度的標準燈在距電池一定的距離上，再讀電流的偏向。把標準燈拿開，在其同位置的距離，放一不知光度多少的燈上去，再記出偏向。偏向的比，就等於光度的比。這種方法正和用未刻度數的彈簧秤來比較重量一樣。

3. 研究光在燈周圍的分布。

取一光電池距燈一定的距離而環繞移動，時時取一度數，在那地位記出電流計的偏向。

圖 69 就示光的分布，(a) 環繞一個 40 瓦特直絲透明真空燈，(b) 環繞 40 瓦特捲絲氬石氣體燈。燈的尖頭可以當作是在

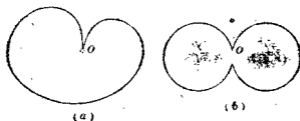


圖 69.

O 的地位。弧線與 O 的距離就代表分布的光度。由此可知透明燈在橫面的光要比下面的多得多，而氬石燈所發的光比較各方來得平均，自然在它的頂部是不能算在裏面的。

要繪弧線，先把光電池保持不動，用鐘表機把燈環繞光電

池的中點慢慢旋轉而成。有一狹柱的光(從另一光源)在電流計鏡上反射出來,射在照相紙上,當作偏轉的指針,照相紙和燈取同一速度,同一轉軸在垂直的平面上旋轉,光的不偏轉點射在紙上 O 處即旋轉的中心,偏轉變更,就向橫面移動,

4. 從一點光源射出的光,在一定的距離上,決定它的光度。

把一盞汽車頭燈(是細絲的)放在離電池便利的地方。記它的偏轉。再把燈移遠兩倍的距離,那時的偏轉差不多近於原有的四分之一了。距離放大三倍,偏轉就減至原有的九分之一。

這個試驗足證下列定律之不謬

平方反比定律

一點光源的照耀強度和距離的平方成反比例。

$$\text{即 } I \propto \frac{1}{d^2}.$$

我們可以解說表面上照耀的強度,即是光每秒鐘射在單位面積上的光量。

圖 70 表示從一點光源 S 射在 $ABCD$ 面積上,因為光走直線,假使 $ABCD$ 移去,同量的光就會射在較大的面積 $EFGH$ 上,假如 $EFGH$ 距 S 的距離為 $ABCD$ 離 S 的兩倍,從相似的兩三角形看來,那是很清楚的

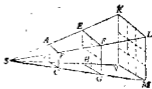


圖 70

$EF=2AB$, $FG=2BC$ 。因此 $EFGH$ 的面積四倍於 $ABCD$ 的面積。以同量的光射在兩個面積上, $EFGH$ 面上的光度自然只有 $ABCD$ 上的 $\frac{1}{4}$ ($=\frac{1}{2^2}$) 了。同理, 假使 $SK=3SA$, 則 $KLMN$ 只有 $ABCD$ 的 $\frac{1}{9}$ ($=\frac{1}{3^2}$) 的光亮了。認真的說來, 要照耀得均勻, 每個表面不該是平面, 而是以 S 為圓心的一部分的球面。

我們已經規定光照的強度就是光每秒射照在單位面積上的光量。光量單位的規定是取一標準燭保持和光線成垂直的位置, 在一單位的距離 (即 1 呎) 射在一單位的面積上 (即 1 平方呎)。此時一單位面積上在一秒鐘中所得的光量, 算是一流明 (lumen)。面積上的各點必須和燭成相等的距離, 所以面積也必須是個以燭為圓心的球面部分 (圖 71)。



圖 71.

假使 C 燭光的一點光源, 射在 d 呎距離和光成直角的表面上, 生出照度 I , 則

$$I = \frac{C}{d^2}$$

如果表面對光線的垂直線傾斜成 Q 角度時, 則

$$I = \frac{C}{d^2} \cos^2 \theta$$

這可證明如下:

圖 72, 從 S 來的光射在傾斜面 AB 上的光量 Q , 等於射在和光成直角面的 $A'B'$ 相等。

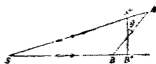


圖 72

但是 $A'B' = AB \cos \theta$

設 I 是 AB 面上的照度,

I' 是 $A'B'$ 面上的照度,

$$I = \frac{Q}{AB}, \quad I' = \frac{Q}{A'B'} = \frac{Q}{AB \cos \theta}$$

$$\therefore I = I' \cos \theta = \frac{c}{d^2} \cos \theta$$

比較兩光源的照度, 可以把兩表面距光源的距離, 調整到相等的照明程度為止。例如 C_1 和 C_2 是兩光源的燭光數, d_1 和 d_2 是在有同一照度時, 表面距光源的距離,

$$\frac{C_1}{d_1^2} = \frac{C_2}{d_2^2}$$

本生油點光度計 (Bunsen grease-spot photometer) 就是一張紙上有一個油點。把兩個要比較的光源放在油點紙的兩側, 把它們距油點的距離調整得使油點和紙張分別不出明暗為止。這樣兩邊所生的照度就相等了。

在倫福德 (Rumford) 的陰影光度計 (shadow photometer), 用一木桿立在屏前, 使所須比較的光源將木桿兩影投於屏

上，兩光源都放在屏的一面，把光源的位置移動，使得相同的黑影為止。

本生光度計和倫羅德光度計並不正確的，只有歷史上的興趣而已。

學校適用的精確光度計，乃是喬里 (Joly) 的蠟油光度計 (paraffin-wax photometer)。蠟油光度計是兩塊蠟板中間嵌一錫箔 (圖 73)。將兩燈調整，使兩蠟板從旁看來一樣光亮為止。



圖 73.

照光的強度用呎燭光 (foot candle) 或米燭光 (meter candle) 來計量的。一個表面如要有 1 呎燭光的照度，表面就應和光成直角放在距一標準燭一呎距離的地方，即每秒鐘每方呎獲得 1 流明的光量。

一種叫呎燭光度計 (foot candle meter) 的儀器，和油點光度計的作用相似，用來計量直接照度的強度。其內部示如圖

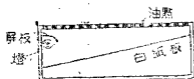


圖 74.

74。紙上繪着一列小油點，把紙蒙在箱頂上，在箱的內部裝一小燈，把油點紙照明，小燈照光由斜放的白紙板使它向上反照，燈

上裝一小屏，照燈發光直射油點，當上接線板所要測亮度的地方，例如教室內的課桌上，那裏一端的油點看來是光亮的，又一端的油點看來就黑暗。立刻就有一個油點，比它周圍的白紙，既不多亮，也不多暗，這個油點就是上下有相等的照度，依它在光度計上的位置，就得讀出燭光為數目。

這個儀器是用電燈來分度的，那電燈確實的燭光，由英國物理實驗所用咪哈燈來決定的。這個電燈可放在離油點的各種距離，所產生的照度得用公式 $I = \frac{C}{r^2}$ 計算出來。油點和周圍一般光亮的時候，就把算出的價值寫在每一格上。

儀器裏面的一盞燈，必須要確保常受正確的電壓；如若這電燈的照度不能確保不變，油點格子就完全不能作準了。因為這緣故，電位器和伏特計也都要會併裝在這儀器裏面了。

研究室內和屋的照度，是應用物理學上的一個重要部分。

學校和機關中，最好的陽光照度，公認是 100 呎燭光。人造光的照度，充其量不過 5 呎燭光。電燈度不以燭光而估價，卻以消費電能的速率而計值，就是講 10 瓦特、100 瓦特的。一般電燈度大約每 1 瓦特生 1 燭光。例如 40 瓦特，生 40 燭光，每電度有 $\frac{40}{1} = 42$ ，這種一盞燈，很快亮，沒有反光，燈上也沒有 2 2 2，在距離 1 呎的地方，照度只等於 $\frac{42}{1^2} = 42$ 呎燭光。

有 2 2 2，在距離 1 呎的地方，照度只等於 $\frac{32}{1^2} = 32$ 呎燭光。

如果有良好的反射面，例如牆壁和天花板，在照度上也佔了個重要的位置。在機械工廠內，四圍的牆壁能把射來的光大半的吸收去，用起來，就要比教室用燈要較亮的燈了，因為教室裏的天花板是白色，牆壁又是光亮的顏色，能把射在它們身上的光，大部分的反射出去，就增加了普通照度的力量。

近來有種照明方法，採取天花板的間接光，把燈下遮蔽了使專向天花板照燭，此時平方反比定律，對於大面積的光源，例如天花板上的光，便不適用，實際在數學上看來，無限大面積的均一光源，所生的照度，在各種距離都是相同的。所以間接放光的方法，能在全室中有均一的照度。在另一方面，因為完全的間接光，差不多完全照不出影像，事實上是不需要的，而用來雕刻和製身模型，卻是很好的光亮。

工廠中有了高的照度，我們知道工作可較迅速。因此良好的亮光，結果也是一種經濟。

把普通的幾種光亮來比較一下，倒也頗有興趣的：

照光本領	燭光
蠟燭	1
40 瓦特電燈(儲氣體的)	30
電弧光	1,000—2000
厄遜斯東(Eddystone)燈塔燈	50,000
太陽	3×10^8

照 光 強 度

眼 攝 光

全太陽

7,000-10,000

日間室內

20-40

人造光的室內

1-3

滿月光

 $\frac{1}{100} - \frac{1}{60}$
燭

第十一章 顯微鏡與望遠鏡

顯微鏡和望遠鏡的作用，就在使眼睛能把極小或極遠的物體看得更加清楚。顯微鏡的英名是 microscope, micro 就是小的意思, scopein 就是我看見;望遠鏡在英名是 telescope, tele 就是遠的意思。

放大鏡或稱簡單顯微鏡(magnifying glass or simple microscope), 有一塊凸透鏡, 能生直立而放大的虛像(觀圖 26)。這透鏡距所觀察物體的距離, 須比透鏡的焦距短, 否則就成倒置的實像。從圖上可以看出, 透鏡距 F_1 愈近, 即焦距愈短, 像便愈放大。

這種透鏡常用來看讀印刷的小字, 或奇零尺上的細格子。在實業上, 就用它們來計算一寸布中的紗線數目, 藉以估計生產的價格。

透鏡的焦距有個極限, 在此以下不能再減, 減了像便畸變。要得有高倍的放大, 於是只得用複式顯微鏡 (compound microscope) 了。複式顯微鏡主要的成分, 含有兩個凸透鏡, 都是短焦距的。第一個透鏡叫做物鏡 (objective), 生出高倍放大

的實像，第二個透鏡，叫做目鏡 (eyepiece)，和普通放大鏡的作用一樣，把這實像再放大。

圖 75 即示這儀器的作用，物鏡生出物體 O 的實像 I_1 。 O 離

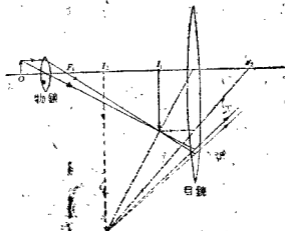


圖 75. 複式顯微鏡

物鏡自然必須比它的焦距要遠些。反之， I_1 離目鏡必須比目鏡的焦距要近些，因此目鏡能造出 I_1 的虛像 I_2 。從 I_1 畫虛線得 I_2 的實在地位；當這個位置知道了，從 O 頂來的兩光線就能繼續穿過目鏡。假使 I_1 是原來的物體，那末表示普通光線的線就可畫出來了，實際上自然所有的光線當從 O 發射，在此圖中，並應知道只是畫着半個物體。

我們自己也能把兩個短焦距的凸透鏡裝成一架複式顯微

鏡，但有下列的缺點：

(1) 因為有球面像差(見第四章)的緣故，所以像便大大的畸變(distortion)；

(2) 因為有色差(見第七章)的緣故，所以像有細微的顏色；

(3) 視場小。

這些缺點，可用多個透鏡來做物鏡和目鏡以為補救。

物鏡的焦距要極短， $\frac{2}{3}$ 吋， $\frac{1}{6}$ 吋，甚至 $\frac{1}{10}$ 吋都好，因此儀器的長度也可以小了。

圖 76 的顯微鏡有兩個物鏡，

一個焦距 $\frac{2}{3}$ 吋，一個焦距 $\frac{1}{6}$ 吋。目

鏡生出 6 倍的放大率是 6，寫作

$\times 6$ 。用第一個物鏡，這顯微鏡所

生的放大率是 64。用第二個物鏡

就得 295。這樣物鏡所生的放大

率必各近於 $\frac{4}{3} = 10$ ，和 $\frac{295}{6} = 49$

了。要把顯微鏡集成焦點，須把整

個的儀器移動，但是目鏡和物鏡

的移動，並不互成比例的。

放大率 2000 (有時寫 2000

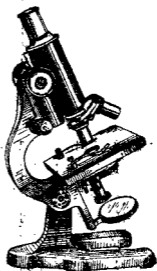


圖 76 複式顯微鏡

直徑)的顯微鏡,還可作觀察之用,但是攝取極小物體的相片,5000直徑的顯微鏡卻也用過的。

最後的像要比物體大了許多倍數。物體要有強度的照明,自屬必要,否則像便幽暗不明。強度的照明物體,有用鏡來反射光線穿透物體的(圖 77),也有用叫做聚光器的透鏡裝置。也有用彎折玻璃照燈的(參看圖 17)。

複式顯微鏡的放大率,也有什麼限制嗎?回答是『有』的,因為光的性質關係。如物體小於光的波長,就不能反射光線,正像一塊細石子無力反射海波一樣。

然而如有強烈的光柱,照射在極微細的質點上,和觀察的方向成直角,那就將微細的質點,也看得好像光點。這細質點分解了光,即使光向各方向週折。這種裝置名叫超顯微鏡 (ultra-microscope),用它的幫助,就是小到直徑祇有百萬分之 $\frac{3}{25}$ 吋的物體也能感知,但是牠們實在的形態,則不得而知。

天文望遠鏡 (astronomical telescope) 和複式顯微鏡一樣,包含一個凸物鏡和一個凸目鏡。望遠鏡是用來觀察遠距離的物體,而顯微鏡則用來觀察近在手邊的物體,所以望遠鏡物鏡的作用就在使遠物形成實像,愈大愈妙,但是必定比原物體小得多。目鏡則作放大鏡用,放大物體的實像。

圖 77 即示望遠鏡的作用。物體又大又遠,不能輸入圖中。我們只能從物體頂端畫一並行光線,就算滿足了。

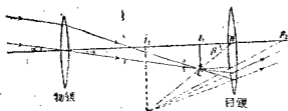


圖 77. 天文望遠鏡

圖 78, I_1 代表物鏡所成的實像, I_2 是目鏡所成的虛像. 這望遠鏡最後所成的像是倒置的. 在各種實用方面, 物體總是在無限遠處, I_1 像便形成在目鏡的焦平面以內. 這樣要想把 I_1 變大, 物鏡的焦距就必定要大, 這樣一來, 望遠鏡的長度也要長了. 所以有力的望遠鏡必須含有 (1) 一個焦距長的物鏡, 和 (2) 一個焦距短的目鏡.

望遠鏡的目鏡能夠移進移出, 但是 I_1 距目鏡的距離必不能大於目鏡的焦距, 否則就不成虛像. 當目鏡移動得使距 I_1 的距離恰好等於它的焦距時, 最後的像就成在無窮遠的地方 (圖

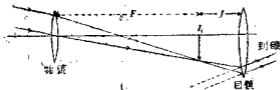


圖 78. 正常調整的天文望遠鏡

78). 這望遠鏡於是稱為正常調整 (normal adjustment). 在

種情形中，物鏡和目鏡的距離等於它們焦距的和數。使用望遠鏡觀察的時間長久了，就應把望遠鏡旋成正常調準的狀態，以免眼睛的疲勞。

一物體看來之大小，依物體距離眼睛之遠近而變異，和物體與眼所夾成之角成比例。把一銅元放近了眼睛，看了比月亮猶大，因為銅元對眼所夾成之角比月亮為角大了。

應用望遠鏡就是增加像的外視大小。由此得一新觀念，放大率可用作放大了。放大是像與物體真實大小的比，放大率則是它們外視大小的比。

$$\begin{aligned} \text{望遠鏡的放大率} &= \frac{\text{像的外視大小}}{\text{物體的外視大小}} \\ &= \frac{\text{像對眼所夾成之角}}{\text{物體對眼所夾成之角}} \end{aligned}$$

天文望遠鏡在正常調準時，可顯出

$$\text{放大率} = \frac{\text{物鏡的焦距}}{\text{目鏡的焦距}}$$

世界上最大的折視望遠鏡(refracting telescope)是美國的約克斯(Yerkes)望遠鏡。這架望遠鏡的物鏡焦距長約62呎。它有幾個不同的目鏡，最強的焦距祇有1吋。

$$\text{這望遠鏡的放大率} = \frac{62}{1/48} = 3000$$

每架望遠鏡總有幾個不同率的目鏡，最高度的目鏡，因為

光度損失，所以不常用的。

天文望遠鏡是把一切物體顛倒的，所以不適於陸上應用。這個缺點可以插入一個直立的凸透鏡來校正它。直立透鏡插入的位置，最好在離物鏡所成倒像 $2f$ （ f 即透鏡的焦距）的地方；在另一邊 $2f$ 的地方，於是就成一直立的實像了。圖 79，連

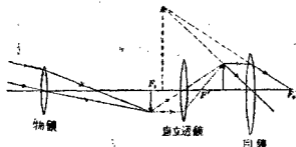


圖 79. 地上望遠鏡

續像的位置，是把各像當作一物體，照平常畫一對平行於軸的光線穿過透鏡的光學中心。這不過是造像的意思，並非是真正從物體來的光線到達眼睛使看出最後之像的光線路徑。

地上望遠鏡 (terrestrial telescopes) 的缺點，就是它的長度必須比天文望遠鏡至少長 $4f$ ， f 就是直立透鏡的焦距。

天文望遠鏡所成的倒像，不用直立透鏡可用稜鏡來修正的。這種方法就應用在稜鏡雙眼望遠鏡 (prism binoculars) 裏面。稜鏡把光向前向後的反射，使光沿着彎曲的途徑，給與雙眼

望遠鏡可以做得很短了(圖 80)。兩個稜鏡都是成直角的，一個直立，把它的三角形橫截面放直，又一個橫放，把它的三角形橫截面放平，第一個稜鏡矯正像的縱面，第二個稜鏡矯正橫面。相並有兩個望遠鏡，可以用兩眼並看，所以叫做雙眼望遠鏡 (binoculars)。

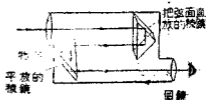


圖 81. 稜鏡雙眼望遠鏡

又一種望遠鏡是伽利略(Galileo)發明的，有一個凸物鏡和一個凹目鏡，凹目鏡的作用等於放大鏡，把虛物放大。這種望遠鏡的製作，就在使物鏡在目鏡以外做成一個實像，圖 81、 I_1 是

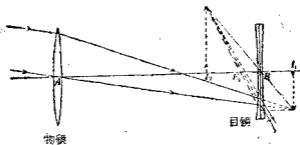


圖 82

物鏡在沒有目鏡時所成的像， I_1 就是目鏡由虛物 I_1 所成的像。這種望遠鏡的好處，乃在最後所成之像是直立的，儀器可

以短小($f_1 \sim f_2$)。它的不好之處，乃在可看的範圍太小，因為光線離開目鏡時，從軸彎折出去而不向軸彎折的，因此就有許多光線不會走入眼睛的瞳孔。伽利略望遠鏡(Galileo's telescope)可作觀劇鏡(opera glass)用，但在天文觀察上需要高倍的放大率，就不適用，因為可觀察的範圍太小了。

用圖 12，我們可得 放大率 = $\frac{AI_1}{BI_1}$

這種望遠鏡在正常調準的時候，

$$\text{放大率} = \frac{\text{物鏡的焦距}}{\text{目鏡的焦距}}$$

我們已經知道望遠鏡要有高倍的放大率，必須要有一個焦距長的物鏡和一個焦距短的目鏡。約克望遠鏡，物鏡的焦距長 63 呎，目鏡的焦距只有 1 吋，產生的放大率約為三千倍。如要把放大率加倍，這望遠鏡只要用一個焦距 124 呎的物鏡就得了。然而將這樣造成的望遠鏡，實際是沒有用的，因為像的大小，雖然放大了一倍，可是不能比前看得清楚了。好像彈性橡皮上印的字樣，橡皮雖可拉大，但是圖畫不能看得清楚一樣。

望遠鏡能把像顯現清楚的能力，叫做區別本領(resolving power)，依物鏡的口徑而有差異，口徑愈大，區別本領也愈高。

在光的波動說看來，透鏡造成一光點的像，可以顯出是個亮點，外繞黑環，向像周圍縮得極小的樣子。即使像中的中心

光點，位於他像最內的黑環上。兩個暗點恰巧可以辨別出來。黑環直徑縮小，透鏡的口徑就須加大。兩點離得太近了，用口徑小的透鏡就不能辨別出來。倘使口徑增大，就可鑑別出來。



圖 22.

鑑別本類的一個好例，就是夜間遠遠走來的汽車，前面兩個頭燈，看來好像只有一條光。眼睛瞳孔的直徑，不足把它們鑑別出來。戴副野外鏡 (field glass)，就能鑑別出它們，因為野外鏡的物鏡口徑比較瞳孔的口徑大得多。當汽車走近了，兩頭燈和眼睛所成的角度漸漸加大，達到肉眼正能鑑別的地方。

約克曼望遠鏡的物鏡口徑是 40 吋。這差不多到了折射望遠鏡的極限，因為再大的透鏡，單用透框來支持，就有受透鏡重重壓倒的危險。因此世界上最大的望遠鏡，乃是反射望遠鏡，用凹鏡來做物鏡。加利福尼亞威爾遜山上的反射望遠鏡口徑有 100 吋，相距圓弧 $\frac{1}{20}$ 秒的兩星也能鑑別出來。這樣對於我們的星象知識，卻可增加了不少，現在正在造 200 吋的反射鏡哩。

反射望遠鏡把凹鏡做物鏡，形成實像。這個實像再用凸鏡來放大，好像用放大鏡來放大一樣。要把從凹物鏡來的光線不反射到外面去，而來到觀察者可見的範圍以內，在半徑式的反射望遠鏡就用一平面鏡 (圖 23)。實像就被平面鏡從右移

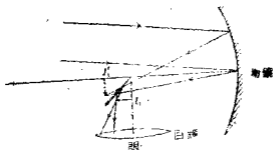


圖 5. 反射望遠鏡

到 I_1 、 I_2 像點的位置，可以想像一光線沿軸前行，受凹鏡反射沿自己原路回去以後，就在平面鏡上反射（觀一……一，記號）。目鏡形成一個放大的虛像 I_3 ，但是最後的像，在圖 84 上沒有畫出。

有時也有用小的凸鏡或凹鏡來代替平面鏡的。把光反射到目鏡上，也有好多種不同的裝置。

在威爾遜山的 100 吋反射望遠鏡，能有幾種光學上的裝置。把望遠鏡用作牛頓式時，從凹物鏡來的光反射，射到裝在鏡筒上端邊上的小平面鏡上去，那兒放一踏凳以供觀察之用。當作卡舍格棧式 (Cassegrain form) 時，光便從凹物鏡反射到一小凸鏡上，再回到平面鏡，把光引導到近鏡筒下端的邊上；使物鏡有焦距 250 呎那樣的效力。

威爾遜山是美國加利福尼亞瑪瑪山脈 (Sierra Madre range) 中的一峯，高出海平 5200 呎，此處一年中只有 29 日可

以觀測。天文台還是在1804年纔設立的，它的主要目的在於觀察太陽。起初用的是6吋的反射鏡，在1803年呼克爾博士(Dr. John D. Hooker)懸賞45,000金元購一個100吋反射鏡。法國先鑄成個粗糙的鏡胚，在1910年加以琢磨，製作了六年，方告完工。那是一個拋物鏡，直徑101吋，厚13吋，重4½噸，每年要重鍍銀兩次。

因為口徑大的緣故，所以它能加強星光的亮度，比我們肉眼所見的，亮了250,000倍，有許多太暗的星，小望遠鏡不能看見的，用這望遠鏡就能看見了。

望遠鏡的架設，必使得有穩固的移動，而且要能跟着所要觀察的星座移動。否則因地球的旋轉，星就會很快的走出我們的觀察範圍了。望遠鏡的旋轉，要成環繞極軸的旋轉，旋轉的軸和地球旋轉的軸，互相並行，而和地球旋轉的方向相反，因此它對星的方向，可以保持不變。也可轉得和極軸成直角，以觀天空中各高度的各點。

威爾遜山上的100吋反射望遠鏡，全重100噸，架於長方形的鋼軌中，鋼軌便是極軸，用了推進器，行動起來非常容易，而且正確。

至於講發明望遠鏡的，卻是爭執的主張，但是第一架天文望遠鏡看來或者是荷蘭眼鏡匠漢斯烈賓希(Hans Lippershey)所發明的，其時約在1608年。據說他有一天，兩隻手各執了一

透鏡，他穿過兩透鏡向外望，很驚奇的看見了遙遠的尖塔上的風標，變得和他接近了。

伽利略在 1609 年用凹目鏡製造望遠鏡，自然他也看見或聽得荷蘭人的儀器，但是研究望遠鏡應該怎樣纔能成爲一種有效的儀器，這個功績，應歸之於伽利略的。望遠鏡確實是個開闢新紀元的發明，有了望遠鏡的幫助，伽利略做成了許多重要的發見，他發見月也有山丘山谷，像地球一樣是個世界。他又發見木星也有月繞它旋轉的，金星也像月一般有盈虧，又發見太陽面上有黑點，黑點移動就表示太陽的旋轉。由這些發見，伽利略就相信哥白尼原理 (Copernican theory) 的真實，地球是繞繞太陽旋轉的。伽利略爲了主持這個原理，受到了宗教裁判的殘害。伽利略造的望遠鏡，放大率是 3, 8 和 33 直徑。他用的透鏡也都是自己磨的。

在伽利略以後，制波勤說的惠更斯製造得一架進步的望遠鏡，同時又發見了土星環的性質。

1761 年牛頓造成一架放大率 58 直徑的反射望遠鏡，那時要算是一架極精緻的儀器了。他做的金屬鏡，是銅和錫的合金。格列高理 (Gregory) 雖早曾設計一架反射望遠鏡，但無機械的技巧去造它。

在 1783 年，世界大天文學家赫爾夏製造一反射望遠鏡，用一凹物鏡，焦距長 20 呎，在 1789 年又造成一架更大的，物鏡的

焦距 40 呎，口徑 4 呎。要形成又要琢磨這樣大的一個鏡子，確是一件繁重的事業。用了這架望遠鏡，赫瑟爾便把北半球整個天空詳細的畫了出來。天王星就是他的一種發見。

多隆特 (John Dollond 死於 1761 年) 和 夫牢因 和 斐 對於消除色差方面的工作，以及製作和製造光學玻璃上，都替近代反射望遠鏡樹立了基礎。

羅西男爵 (Lord Ross) 在 愛爾蘭 建造一架極大的望遠鏡，完成於 1845 年。物鏡的口徑是 6 呎，焦距約長 58 呎。

自此一直到十九世紀，望遠鏡在大小方面，無甚進展。在最近的三十年內，又造成了幾架大的望遠鏡，非單在形式上大了 羅西男爵 的望遠鏡，而且在光學上也完善得多了。其中最大的，便是 威爾遜山 的 100 吋望遠鏡，我們早已說過了。

第十二章 X射線的應用

1895年德國人羅琴博士(Dr. William Conrad Roentgen)正在符次堡(Würzburg)大學擔任物理學首席教授和物理學院院長的時候，發見了X射線，因此享得盛名。他的研究也促進了物理學上其他部門的重要進步。

當羅琴博士用高度真空管，把電流通過氣體的時候，他看見一張塗着亞鉛氰化鉀 (potassium platino-cyanide) 發磷物質的紙屏，恰巧放在那裏，受了真空管發出的什麼放射作用，然後發出螢光來，其時的真空管還關在黑紙板做的箱子裏。羅琴由這試驗於是知道這種迄未知曉的放射，有通過各種物質的能力，那種物質為尋常光線所不能深入的，假使用一薄片金屬，譬如說一銅元，放在真空管和塗着亞鉛氰化鉀物質的板之間，板上就現出一個明晰的影子。反之，鋁片和木片只能投出一部分的影子。

這樣便指出在真空管玻璃上發出磷光的光線，能夠滲透物體，和普通光線很不相同。這些光線和照相片所起的作用，卻和普通光線一樣；但是它們對於反射和折射有特別的行為，羅

琴便假設這些光線在以太中是作縱線行的，而不是作橫波走的。它們能夠使氣體離子化，但是不能和普通光線一樣，可以用磁場或電磁場來把它們反射，偏光或偏轉的。

琴因為不能確定這些深入光線的性質，所以就叫它們做 X 射線 (X-Ray)。

當 X 射線（也稱琴線）射上任何物質，那物質便發出陰極線 (cathodic rays) 或稱副琴線 (secondary Roentgen rays)。這個特別的副放射，可以和用紫外線所生的磷光相比較，陰極的副光線又可與光電效應相比。當紫外線射在一種金屬時，便使金屬發出電子，因而帶得陽電，發生電子的速度，正和入射光的頻率成正比。X 射線方式的光，發射在任何物質的表面，它便執着那表面原子中並一個電子，猛烈擲出，投入空間中去，其速度正和光的波長成比例。這種現象，就是所謂光電效應。

X 射線的深入力（或稱硬度）顯而易見，是單獨依靠發光物質元素的性質而定。陰極線（或稱副琴線）的速度好像和發正線的物質完全無關，但是陰極線的速度增加，正琴線的硬度也要增加的。

簡言之，發射光線的性質，顯然和那元素的化學性或物理性不起作用的。例如燒得人紅的鐵和在平常溫度的鐵，是露着同樣性質的琴線放射。但是這種特別放射的深入力（硬度）繼續

的增加，發出電子的原子量也就增加。這特性的變率線，深入力的強弱完全和外界的環境沒有關係，確實的指出它和發出它的原子核的性質，卻有密切的關聯。

現在除去 X 射線在醫學上及科學上的應用以外，我們此章專講 X 射線日常的應用。如果要把 X 射線的實際用途，一一的列舉出來，加以詳細的敘述，那恐怕要成一本厚書，不是這裏所許可的。此地將任意的舉幾個例子，不敘述所用的儀器，也不敘述所用的方法，因為這都需要專家研究的。X 射線照相照出了鋼鐵建築物、橋梁原料以及汽機汽筒中的罅隙，因而免了意外的災害。在英格蘭也照得一只汽油槽，外面有釘頭子，裏面卻沒有的。

已經裝置好的火車和汽車，用 X 射線照相也可發見鋼軸中的大罅隙。有一次，某處火車上的軸是穿在錯誤的地位。後來把穿錯了的孔用金屬填塞起來，將要掩飾過去。結果被用上述方法發見出來，乃全體拒絕接收，不然就有嚴酷的禍害發生了。

鑄物中間的罅隙，或惡劣的銲接，或金屬的柔弱地方，表面上並不顯得出，但是 X 射線照相卻能照得十分清楚。試問你怎樣能夠知道汽車的銲接部分確係堅固完善，決不會因有罅裂而致破裂呢？近來有個著名的機械工程師說，在十年之內，冶金用的 X 射線機器之在汽車修理廠，鑄造廠，或機器廠裏面，就要像現在 X 射線機器在齒科醫院中一樣，成爲一種重要的設備了。

用X射線來實行分析金屬；只能在金屬未鑄成的時候。它的理由，乃在決定了金屬的結晶狀態，就可知道金屬的性質，隨時得有極大的利益。學冶金學的人，都知道金屬及其他物體的性質，都依牠們的結晶性而定。顯微鏡的能有價值，大半是在它能把結晶細粒的方式和排列方法顯示出來，供人研究。用X射線來做這同樣的工作，還能比顯微鏡所能調查的小一萬倍，因此我們對於結晶的結構，又得了許多新證據，能夠看出原子和分子，以及結晶造成的方法。各種結晶都有它特有的X射線光譜，可以一一辨識，甚至一粒結晶，小到超出顯微鏡解決能力以外或數陷於無晶形的物質，也能確認出來。如果有個樣品是結晶物的混合物，X射線光譜就能顯示出所有物質的混合效應，假使各單獨的光譜知道了，整個的樣品，就能分析出來。

汽車輪胎組織的性質，也有用X射線來決定的。甚至用X射線來尋出高爾富球中心的不規整，證明為什麼有的球會帶出得較直較快的理由。

偵探家也發見X射線在他的職業上是有利益的。例如偵查惡劣的武器。只要有兩三張X射線的照相，就可把外觀可疑的箱子，裏面究屬藏些什麼東西，告訴審查者了。假使是炸彈，X射線能告訴審查人怎樣移去，方不致有危險發生。用X射線來檢查導管的假底，簡直和兒戲一般不足為奇。美國政府在海關上設了使用X射線員的檢查員，就是商人要想漏稅，把寶石

藏在衣服的夾層裏或藏在毛刷子的空柄裏，都和公開的藏在身上一樣。

X射線又給我們一種最容易的方法，檢查假冒的支票和公文。假冒的文件，很難得有和原本真正一樣的墨水。就是同顏色的墨水，它們對於X射線所起的作用也各不同。假充文書有檢查的必要時，大都將可疑的文書放在X射線下片刻，攝取照片的，假文書上的新墨水會立刻顯出是和舊的不同的。

製造工業上的檢驗工作，也找得X射線正有同樣的利益。把鋸屑、泥土攙入穀物；紙張中加得很多的染料；滑潤油中混着砂礫，都能用X射線驅露出來。

又有一種X射線的應用，竟走到家庭中各廚司各主婦方面去了。X射線具有獨一無二的真確方法，能夠辨出雞蛋的好壞。把雞蛋依次地走過X射線，讓它們的影子射到一張塗化學品乳幕上去，你就能看出每個雞蛋裏面確實的狀態了。內中如有成雛形的，就可摒棄不用了。

X射線在經濟上或生物學上也有一個著名的應用。那便是用來研究蠶病。美國蠶絲協會曾在我國廣州基科學院，設立養蠶部，由幾位中國和外國的昆蟲學家來主辦。那兒的蠶寶寶就用最高倍的顯微鏡來照X射線，因此所有的蠶病，都被診斷出來，治療痊癒。

把已死的蠶體，做了許多屍體解剖，知道我國那時南部的

蠶種自百分之 50 至百分之 100，都是染有病害的。因此幼蠶的死亡率極高，蠶絲的價值，也因混有勉強結成的繭絲，受了大大的損失。如把這些病害除去，南部的蠶絲可以增加五倍。

英國有用 X 射線來分析煤的 λ 方法就是採用 X 射線的實體鏡。

柏林有個罪犯學專家，名叫納爾遜 (S. Nalken) 在指印的鑑定上，發明了一個重要的改進。照得 X 射線的手指照片，肌肉和骨都顯示出來。照相時手指上不用任何化學品，因為化學品會妨礙手指的精細線紋。手指骨的形狀，也有連帶鑑定的性質。有時有種相似的指紋發見了，如有進一步研究之必要，就得考察指骨了。

賣假古畫的人，有了 X 射線來檢驗顏料，也要退避三舍了。近來假冒古畫的作品，也很容易檢舉出來。現代畫家所用的鉛白比了古畫家所用的初層色料，要不透明得多；在德國和法國的專家先後用 X 射線來區別出了新舊畫的不關。有張俄斯塔得 (Van Ostade) 的古畫，畫着許多人在桌上飲酒，放在 X 射線中一鑑定，就證明是假的，那是由研究死鳥的畫畫成的。又有一張叫做王兒的畫，當作是十六世紀的作品，現在陳列在盧夫爾 (Louvre) 地方，證明是十九世紀詩人仿一張很古的畫畫成的。

倫敦有次在皇家學會閉會以後，舉行 X 射線的公開演講，有位著名的物理學家開 (Kaye) 教授，映出許多 X 射線的活動

影片，其中有兩張荷蘭畫家所畫的畫，一張畫的是聖母瑪利亞的像，又一張是耶穌釘在十字架上。在前一張畫，聖母像上好像有些什麼東西不在布幕上的，在X射線照片看來，遺失的東西是嬰兒的像，這是後來人添畫上去的。在第二張畫，作祈禱狀的一個婦女，是從原來穿袈裟的一個男人改畫成功的。

用X射線來照乾屍，是美國許多科學家在紐約自然歷史博物館裏首先做成的。把骨骼詳詳細細的顯示出來，在研究人類骨骼進化的發展上，具有很大的助力。科學家用X射線來作檢驗的屍體，第一個是南美洲印第安人的屍體。X射線對於假屍體，和對假寶石一樣，都能立刻鑒別出來的。

在礦場中要鑒別工人是否竊取金剛石，也可用X射線來檢查礦工的。自然要便X射線的像顯示清楚，螢光鏡是不能不用。這種方式，也是常用X射線的工場中所常用的。

現代的皮鞋店，竟用X射線來做量腳寸的尺度，賣皮鞋的人得見顧客腳骨的形狀，由此而做成正確適合的皮鞋。

不多年前，美國從德國運到一種新奇的機械玩具。內中有秘密的機械作用，能使玩偶步行，坐下，起立，以及其他不尋常的動作。這機械玩具的進口商人，不許他人把玩具拆開。有個競爭者走來向他借看，允許決不拆開。不過他用了X射線照了相片。現在他自己也能製作這種玩偶了。

在歐戰時，德國想盡種種方法，想把這些品運輸進去，假使

沒有無所不窺的 X 射線，就不能阻止敵人不把最重要的物品，由中立國送達德國了。三番兩次的要把橡皮和銅夾在各種物品的包裹裏，偷運進去。把這些物件一包包打開，細細檢查，事實上頗難辦到，但是用了 X 射線，就能見到包裹的裏面，依它對射線的透明程度，就可指出含有什麼物品。

用 X 射線來檢查木材，也能看到十八吋的厚度，其中有無結節、膠囊、罅隙及其他缺點，都能檢查出來。

潛水艇當活躍的時候，是否得用最好的木材，尚不能斷定，不得不用尋常的小塊木材來製造木質的幾部分，把他們裝配起來膠合一處。這些小塊的接合膠牢，是十分重要的。在小撐柱裏面，只要稍有一些膠合得不妥當的地方，在空氣中就會成功極慘的崩落，但是要真確的檢驗，事實上又不可能，因為缺陷的所在，往往是視力所不能及到的。後來科學家製造了 X 射線儀器，纔把這問題解決，它們也能夠觀察到已成飛機的各部裏面，說出內中有否足以遭禍的缺陷。

這種用 X 射線檢驗木材內部的方法，在歐戰以後，已經應用到許多物件上去了。上等傢具以及擺設物品，裏面所隱藏的關節，以及木材本身所有外面不能見的結節和隙縫，X 射線都能很容易的觀察判別出來。

各元素所生的 X 射線光譜，其間的關係是極簡單的，有些地方，在化學分析上，X 光譜又比尋常的光譜為有用。事實上的

重要利益便在一種元素的 X 光譜，和化合物中含有那元素的性質，毫不相關。在一種混合物裏面，一元素不要多過一毫克，就會很容易的被檢別出來。雖然每種元素的 X 光譜，比較的是有限制的，在觀察 X 光譜的時候，也不能不小心，近來的觀察者已經指出有一組弱線的存在；如果把現在通用的高電壓加上去，則非特第一次的順序能夠看出，就是高順序的也能見到。種對陰極的物質，以及所欲觀察的物質，如含有細微的雜質，也會放出他們的光線，所以在解釋某一線的時候，往往有種可能的推斷。不單是可疑的波長，就是牠們的外表方式，和深度關係，都不能不研究的。如用光度計量出光譜線的強度，有時能得到混合物中所含元素的定量。

在實驗室中，又有一種用 X 射線分析物質的迅速方法，比了用老法的化學分析要省時得多，那是索爾蓬 (Sorbonne) 礦物化學實驗室烏班 (Urbain) 教授和他的助手得羅內 (Eugene Delunay) 所創造的。得羅內曾確實試驗過這種新的 X 射線分析法，說是沒有錯誤的危險。

科學家利用了 X 射線，現在已經能夠決定結晶體內原子和分子的排列方法。其結果是由研究結晶體對 X 射線的反射和折射而得，或明白的說，就是結晶體內分子的繼續排列。結晶體的對極短的 X 射線，猶之乎一格子分光器的對於尋常光線一樣。

人力不能延長紫外光譜的端頭，是受繞射格子的限制，我們沒有一種稜鏡，能夠把光波分裂成較大或較短的周波。格子的闊度（在反射金上的細線可以當作微細的小鏡用）必定要和光波相稱。在勞（Max von Laue）和布刺格兩教授之前，沒有人知道一種格子或其他物質，它們的空隙會小到和 X 射線波長一樣小的。勞氏想到原子在結晶體中的有規律的排列，或許可以擔當這種工作。勞氏和布刺格就做成了這種工作。布刺格父子，又繼續勞氏的工作，相繼研究，結果在科學上貢獻了極大的功績。

一種元素的原子序數和那元素的 X 射線光譜，有個極重要的關係，是一位英國少年物理學家摩斯利（Moseley）所發見的。他發見時的年紀，還不過二十六歲，可惜在次年就被土耳其人彈死在達達尼爾（Dardanelles）了。

當任何物質受陰極射擊後，所生的特種 X 射線，摩斯利一一拿來分析，他尋出各種不同原子的放射，或非常相似的一羣放射，在從這一物變成又一物的時候，它們的波長便不同的；周波數（波長）的變更，從低原子量的元素到高原子量的元素，也有一定的步驟。經過摩斯利開新紀元的發見以後，我們現在知道九十二種元素，從氫以至於鎊，都是由繼續增加一個陽電子和一個陰電子而造成的，因此原子序數，從一到九十二，就和那原子所有的陽電子和陰電子的數目相等。

第十三章 X射線的治療價值

X射線在醫學上確有兩重價值。第一用來幫助診斷，成爲放射治療的分支，就是所謂放射檢驗和放射照相。第二對於有些疾病，可以大大減輕或竟治愈。用放射照相檢查，可以知道胸部有否腫脹。由此可以決定用X射線或鐳放射或兩種合併的來着手放射治療。

在高電壓與高電流之下應用極深入的X射線，是歐戰時代德國第一個用的，不久法國英國和美國也相繼應用，並且發展得很有效力。早在1919年，德國得薩爾(Dessauer)教授應用自170,000弗至240,000弗的高電壓電流，發生深入的X射線。後來發見電壓高到200,000弗以上，X射線就成同一性質了，所以再增強，也沒有什麼治療的價值。

1923年三月紐約培爾浮(Bellevue)醫院X射線部主任希爾什(Hirsch)博士用250,000弗電壓的X射線治療癌腫，共計四期，每期16小時，得有極滿意的結果。病人在治療時，除去偶爾作嘔外，也沒有受到什麼痛苦或不便。一年以後，非列得爾非亞實驗室也做一試驗，用300,000弗的電壓發生X射線。結果

所有患癌腫正厲害的人，差不多全是減輕，並沒全治。

歐戰時及歐戰後，德國專家又有其他的重要改進，其中因為使用前述的方法，需要十至十五小時的照射，實是一個大傷體素的藥劑，於是加上謹慎的過濾，又發明容量計，可以精確的計量出X射線的量數。有許多惡毒的疾病，據報告說是由這種從高電壓發生的重藥劑所造成的。但是杜安(Duane)教授早已說過，不是X射線也不是鐳的伽馬線，可以當作癌腫的常用療法。

發生X射線的管子，常常是用玻璃做的，最近纔發見可以用熔化的砂土來製作。砂土能允許短波光線通過，能比玻璃抵抗高熱，而且牢固得多。從X射線說來，可以張得常久一些。

後來韋斯丁豪斯(Westinghouse)公司烏爾雷(Urey)博士發明一種新式的X射線管，在治療癌腫方面，未見進步。這個新式有較高的放射力。換句話說，它像普通燈的燭光一樣加增了六倍。除此以外，又設計應用比從實際所用變壓線上的電壓較高。結果把病人要照兩三小時的，減到只要照二十分鐘，管子的壽命便可增加。附帶的實驗所放出能治療某種癌腫的X射線，也比從前的比例加多，那些要損傷體素的X射線發出得更少。

要把身體內的骨骼，照張X射線照片，大家知道不是難事。照出來的像片，有骨的部分總比其他身體柔軟的部分要深暗

些，就是用尋常的照相片，也可以把牠們照得很清楚的。氣體和空氣對 X 射線是透明的，如果把胃充滿了氣體，用 X 射線來照相，有時能指出疼痛起頭的地方，或生得險惡的地方。

又一種使胃對 X 射線透明的方法，是給病人飲半升(liter)的對 X 射線透明的物質，例如碳酸鈣，使 X 射線記出混合物的行踪，胃和腸的輪廓就得顯現。使用這種方法，往往就指出了胃潰瘍。

鋇和其相似的物質，不能注射到腦和脊髓裏面去的，因為鋇對這些器官的高等神經細胞，有中毒的作用。現在感謝福爾斯梯 (Forestier) 博士，替我們發見了一種方法，使腦和脊髓的腔處可以和肺內的支氣管樹網一樣的容易被受檢查。

福爾斯梯曾對人說：『我利用一種法國油叫做類似脂肪油 (lipiodol)。這是一種化學的化合物，由罌粟子油和碘合成的。這種化學品從前是用來醫治一種甲狀腺腫的。但是從沒有人想到把它用到 X 射線的工作上來。我曾注意到用 X 射線照出的甲狀腺腫，那塗類似脂肪油的地方，就透明。因此我便想到類似脂肪油可以用來照相了。』

『於是同巴黎西卡 (Sicard) 博士開始試驗起來。我們先用動物來試驗，到確信我們的方法確實無誤為止。當我們能夠確保安全了，我們纔用來試之於人類。我在歐洲已經用了五千多次，沒有一次出過毛病。』

『先把類似脂肪油注射腦腔或脊髓管道或支氣管裏面，再行尋常的X射線照相。注射過這種油的地方，便對X射線透明，在照片上就顯出清晰的黑像。

『一個病人脊髓上受了什麼地方的瘤腫或贅疣的壓力而生麻痺，應用這種方法，尤有特別的價值。遇到這種情形，祇要把一滴類似脂肪油，從腦的基部，注入脊髓管道中去。如是康健的人，油就立刻走到脊髓的基部。如在患麻痺症的人，只能走到壓緊的地方而止。於是X射線照相，把油點的地方顯出一個黑點來。醫生就此知道了確實要開刀的地方，尋出發生壓力的贅疣，由壓力而生麻痺的所在。

『如用類似脂肪油來診察肺病，可把油注射到支氣管的叉枝裏去，使攝取X射線照相的人，立刻知道病人患的支氣管病還是患的肺結核病。肺結核病是肺體素的病。』

前面所說施用X射線方法逐步改良的時候，X射線照相上用的照相片，也逐漸改良。在從前沒有專為X射線照相用的照相片，和尋常所用的照相片沒有什麼差異。它們都對長波長的光（可見的光）線感應，十分銳敏，所以用X射線則得模糊的結果。

與1921年雷維（Levey）博士發發明一種絕好的照相片，比從前所有的一切，可以快25倍。用這種照相片來攝取活人的活動器官的X射線照像，就能顯出器官運動的狀態。從前用普

通的照相片，照出的形像是很模糊的。現在心臟肺臟以及胃的清晰圖像，都可製成了。雷維博士已經攝得心臟肺臟和胃臟的快攝像片，都是用X射線的一閃在底片上照得的。

什拉斯南(Schleussner)博士是德國研究照相化學品的專家，經過了幾年的專門研究以後，知道把一種有機鹽類加在照相片上，會被照相片上的溴化銀微粒所吸收，用於X射線照相，就成功容易感光的照相片。這樣製造的照相片，對於軟X射線極易感應，軟X射線的波長比硬X射線的波長稍長。我們如要用軟X射線來和藍光、紫光比較，只要把它們各和這種新照相片起作用，就可知道有極不相同的結果。

把黃光射在這種新式X射線照相片上，差不多是沒有影響的。因為這個緣故，照相片可以曝露在黃光中，顯影出來，就便利了，助手也不必要是個精明於這項工作的人，可以在較亮的光下觀察照相片，不必猜想了。在紅光底下觀察照相片，在X射線照相片，就完全不要了。假使這種新式的X射線照相片普遍的應用了，清晰的X射線像片，就可多得；不精明的工儻人，也可在一間充滿着黃光的房間裏把底片顯出影來。這種改良的照相片，現在已經用得極廣。

施用X射線療法而得特別效驗的疾病，此地不能一一列舉，只能略講幾種。

百日咳的疾病，雖不是絕症，但大多數的藥劑，總是抵抗不

過它的，用X射線來醫治，據說卻有經驗。在患百日咳很劇烈的26人中，施用X射線治療以後，大半都有明顯的改善，這26人的年齡自三個月以至四十歲，患病的時期自一星期以至十星期。X射線所生的有利的結果，究竟是起的什麼作用，就是醫生也不能說出個合理的解釋，據報告說，各病人是在兩天或三天之間照受X射線三次或四次的。

有許多病人，不要很久的時間就治好了。報告書上說：「有些病人，確有某種進步，足證不是偶然的事情。治好的結果，好像也不是因為X射線有什麼直接殺菌的能力。」

我們可以把這26人的一小部分，劃入「即愈」的項目之下。在這項目之下的病人，都是經過六天的時間用過兩三次的X射線，他們的陣咳和大咳就完全沒有，病人即可起床，即有極輕微的咳嗽，也無庸顧慮的。

然而大多數的病人，只能歸之於減輕。這一類或許要占到全體的百分之七十，所謂減輕，就是陣咳的次數漸漸減少。

也有少數的人，約占總數百分之十至十五，顯然沒有減輕，這一類中包括一個類危的病人和一個難於飲食的病人在內。

由這樣的結果，我們還不足證明什麼一定的結論，我們覺得在現代的時代，X射線在百日咳治療法上，比了其他的療法（血清療法也在內），價值總多一些。

意大利醫生培斯(Antonio Pais)博士，在威尼斯從1916年

起就用 X 射線來治療瘧疾，得到成功。不過這種療法，並不是用 X 射線來代替金雞納霜，只是加強金雞納霜的作用罷了，把 X 射線直射到脾臟上去，其效果就在減輕脾臟的脹大。同時血液的成分，也由此而改變。培斯博士得到的成效很大，意國政府決定把這種療法交軍醫院採用。

歐洲大戰以後，格拉西 (B. Grassi) 教授又加以研究，他在意國科學會席上報告說，X 射線在慢性瘧疾上的作用，確是奇特的。

起初用 X 射線來治療瘧疾，目的想在消滅脾臟中的寄生蟲，但是現在知道用 X 射線來治療，對於有機微生物是不能發生作用的，雖然 X 射線能夠損傷血液的要素。在培斯所用的方法，不過用 X 射線來刺激脾臟、骨髓和淋巴腺的機能，刺激是很小而延長的；依醫藥上說，他們所用的是輕微的藥劑。

如果把癌腫移植到免疫的動物身上去，受移植的周圍，所有的淋巴球便普遍的增加，淋巴體素也隨之脹大。如果免疫動物的淋巴體素被毀壞，免疫的能力也就中止。要增加淋巴球有兩種方法，一種是照曬微量的 X 射線，又一類是用乾熱。小鼠由接種而生了淋巴腺病，照射 X 射線，就顯有抵抗力的增加，阻擋牠自己的腫瘤再移植。這種方法，有施之於人類的希望。

生長得很厲害的體素，不論是正常的或病理的，都是對 X 射線最易受感應。X 射線比較容易為各種動物避孕，不避孕。

就要損害動物了。巴登 (R. R. Bardeen) 發見 X 射線能阻止蟻蟲重生失去的部分。在動物的生育方面，也曾經專家用 X 射線來研究過。據說把雄鼠曝於 X 射線中，能使二月之內不生育，要那動物再得生育，就非停止曝光不可。

假使處理 X 射線的人，沒有適當的謹慎，相當的精敏，那受 X 射線的苦處或許會比好處更厲害，能刺激出劇烈的腫脹，延遲牠們的治愈也是很厲害的。1911 年黑斯 (Otto Heese) 就有一本報告，記載五十四位患癌腫的人，就是因為處理 X 射線不得當而發生的。

在起初用 X 射線治療，那射線的性質和效用，都不完全知道的。布置的人，在試驗調整他們的 X 射線管時，把他們的手影投入螢光鏡中，毫不介意。X 射線不能使人目看見物體的，要看 X 射線對物體的影響如何，在眼睛與 X 射線所深入的物體中間，就必須要放一特別的屏障。屏障是硬塊紙板，上面塗着發螢光的物質，例如氯化鉛類或鈣鎘酸鹽。這個屏障最好放在一只黑木箱或黑紙箱的一端，在紙箱的又一端，對着屏障，放眼睛去看。

這個屏障受 X 射線的感應，便變得明亮，使人得見在人眼與 X 射線管之間的物體的濃淡影子或黑影圖了。

第十四章 紫外線

許多光線併合成的普通太陽光和紫外線，在許多疾病的治療上，都有很大的效驗，現在成爲大家知道的事實了。兩者大都用爲軟骨病、結核病和其他許多疾病的外用療法。同時也可用來促進創傷的治愈。

用太陽光來治病，第一個把它弄得合於科學方法的，是一個丹麥青年醫生，芬森(Neils R. Finsen)博士，後來得到諾貝爾獎金。他的研究在十九世紀的末了就開始了，1903年羅暖(Rollier)博士第一個開始用太陽光臨床治療，1910年，在阿爾卑斯山上的萊新(Leysin)地方開設學校。羅暖博士用太陽光治療過一千人，大半是受各種骨結核病所困擾。太陽光療法用之於肺結核病，也有極大的成功。

據羅暖博士的報告，把病人曬在太陽裏，對於貧血症、營養不良症、骨與腺的傳染病以及各種結核病，都是有效的療法，對於新愈的病人，太陽光又是個身體的製造家。羅暖博士在阿爾卑斯山造成阿爾卑斯保育院以後，美國加利福尼亞州的聖拉法爾(San Rafael)邊界地方，也造了一所改良的新式太陽保養

說。

最近曾有兩位專家，研究健康人與病人，在曬日光的前後，比較他們血液的殺菌力。由此知道曬日光落到某一定的時間，血液的殺菌力便會增加。曬得太久或太短，都是減損血液的殺菌力。曬在發熱的病人身上，殺菌力也要減少的。還有其他幾種病症，也能影響到殺菌力的。有許多醫生相信從這些試驗可以得到幾點實用的價值。

X射線療法，實際上並不單包括X射線的療法，其他各種光線療法，如熱療法、日光療法、紫外線療法，甚至紫光療法，也都包括在內，所以1910年就把用為藥劑的放射光線，從語原的名稱，統叫放射療法（radiotherapy）。但在普通實用上，放射學家，只把這個名詞用之於X射線療法。雖然現在已經大家知道，紫外線非單能殺菌，而且在某種疾病的治療和保持健康上，也負得重要的職務。反之紫外線在熱帶地方的白種人身上，會生出一種刺激，在刺激的结果看來，不能算作健康的。

經過阿普特（Abbott）的研究以後，方知太陽所生的紫外線量，並不是一定不變，卻是常有變更的。所以我們常在一起的朋友，往往因為太陽光改變了紫外線的量而感得刺激。夫利（Frec）博士曾有下列的說法：

「把這些結果放在一起，就可知道紫外線有影響人生的地方了。從太陽光來的紫外線，多少是沒有一定的。有些人，

莫名其妙尚，健康程度會天天不同，就是這個緣故嗎？有幾天大家看來都是快樂欣喜的，有些日子，大家都覺得懶洋洋的怕動，還有些日子，好像是生氣力的。這種情狀是紫外線促成的，也許不是的。懸疑的專門研究的人，不久就能發見的。

美國美恩 (Maine) 農業試驗場，在高恩博士 (Dr. Gowen) 指導之下，已得重要的發見。從乳牛擠出來的牛乳，用石英汞汽燈來加以紫外線的處理，就含有多量的某種物質——似乎是一種維生素或幾種維生素——能使兒童和幼稚動物不生軟骨病。不受日光或紫外線照射的乳牛，在牠們所產的乳汁中，就十分缺乏抵抗軟骨病的因素。獸類或鳥類，如餵以不照太陽光的牛乳，普通總是要生軟骨病的。

高恩博士用兩隻同日生產年齡相同的乳牛，在飲食溫度等等方面，都給予同樣的待遇，並且並肩的住在牛舍裏。博士報告說，在整個的試驗期間內，這兩隻牛從未離開牛舍。有一個月時間，兩隻牛都沒有受到紫外線。在第二個月，距牛背高三尺的地方，用交流電發生紫外線，每天照兩牛十五分鐘。在第三個月，兩隻牛仍照從前的辦法，每天照紫外線三十分鐘。同時收進羅得島 (Rhode Island) 上的紅小雞進來，這些小雞在臨床診斷和 X 射線照相上都顯出易生軟骨病的，把小雞分成兩組，一組飲這照紫外線乳牛的牛乳，其餘一組就飲限制照光母牛的牛乳，兩組都讓牠們自由飲用。

小雞經五十日後，那組飲照紫外線乳牛牛乳的小雞就完全治愈，在 X 射線像片上不能現出軟骨病的症狀了。那組飲普通牛乳的一組，在臨床診斷和 X 射線照相上看來，都是進步到十分利害的軟骨病。用這同一乳牛的牛乳，再用小白雞來試驗，小白雞也是在臨床診斷和 X 射線照相上都是證明患著軟骨病的。將小白雞也分為兩組，每組五隻。經過三十八天以後，一組飲受紫外線乳牛牛乳的四隻，差不多完全治愈了，只有極微的頑強性，其餘一隻，軟骨病卻有頑強不化的情狀。飲普通牛乳的又一組，其中四隻顯有病狀的繼續增加，達到臨床診斷軟骨病的更進一步的程度。

由此得到的結論，便是醫治軟骨病不可少的物質，就是紫外線，乳牛吸收了紫外線，再從牛乳中分泌出來。不照紫外線的乳牛，就不能分泌出這種抵抗軟骨病的物質，便不足治愈軟骨病或防止病症的加重。由此結果，我們可以知道，乳牛也能把環境因素，由牛乳的媒介而傳到她的子孫。高恩博士又更進一步用來研究嬰兒，冬季嬰兒所以患高度軟骨病的，是因為他的母親在妊娠期或授乳期沒有受到紫外線的緣故。由此看來，飼養嬰兒的牛乳，應該從受到紫外線的乳牛擠出來為，乳牛照受紫外線，使用日光或其他光源都好。

美國美恩大學利德爾 (Little) 教授，用 233 只小雞來做實驗，確實的證明了日光對於動物生活的價值。把這一羣小雞分

成三組，一概給牠們同樣的食料。第一組養在天然的日光之下。第二組也放在日光之下，不過上面蓋着一層玻璃窗。第三組除供給天然的日光以外，又用人工加上紫外線。結果第三組生長得最好。第一組生長得平常。第二組養在玻璃窗下面的，就生了軟骨病。溫室的玻璃能使太陽光和紅外線的熱力穿過，但不准紫外線的通進。

紫外線的治療方法有兩種，一種是把病人曬曬，又一種是使病人食用照過紫外線的食物。紫外線不論是直接從太陽光射來，或用石英汞汽燈發生的，都是一樣。普通的玻璃燈是要阻擋紫外線通過。但是食物也並不都能受紫外線的感應。只有那些含有脂肪的食物，看來可有實質上的改進。牛乳和鱈魚肝油曬了紫外線，價值更大的提高。克萊姆(Kramer)博士曾用受過紫外線作用的牛乳餵患軟骨病的嬰兒，得有極大的成效。

美國威斯康星(Wisconsin)大學，在1933年曾用直接照曬和間接照曬食物來試驗各種動物。結果同一的食制，卻生出相反的成效。據說太陽光對於人類和液類是萬不可缺少時，太陽光中含有決定效能的因素，以此效能，鈣能被同化或被保留。鈣質物質，在食物和食料中的含量，並不豐富，要鈣能和身體上的需要相配合，就不能不想辦法把鈣保存了。動物就藉太陽光含有波長約自260至302微米(millimicron)的紫外線來完成保存鈣的職務，不幸還不到富足的程度可以擔保動物的安全。不是

擔保的結果，在小兒就成軟骨病和不生牙齒，在成人就有乳汁減少，流產，以及敗壞骨骼中的石灰質到危險的地步。紫外線能使廣布於植物和動物體素中的某種化合物發生效用，所以實際上任何食料都能化為抗軟骨病的反射性。在太陽光底下刈草作飼料，不單是詩人詠嘆的資料，而且在陰暗之日刈草是缺少抵抗軟骨病性質的。

休斯 (Hughes) 用小雞作謹慎的試驗，餵以標準的食料和麥水，補充以麥芽和酪乳，使不直射太陽光，就生軟骨病(軟腿)。把小雞餵以同樣的食料，並給予太陽光浴，就發育正常，雖然關在一隻極小的雞棚裏，很少有運動的機會，發育也是正常的。從普通電燈泡內放出來的光，無論如何，總少有效的作用。鱈魚肝油也被證明它有阻止軟骨病的效力，在小雞和哺乳動物，都有一樣的效用。

橄欖油和豬油都可曝於紫外線下而得放射性，也可用來代替鱈魚肝油治療軟骨病。橄欖油如用一架強力的石英汞汽燈來受紫外線的作用，所需的時間，約自半小時至十七小時。把照過紫外線的橄欖油或豬油來餵患軟骨病的老鼠，和用鱈魚肝油來治理有同樣的效驗。鼠的體重因此增加，分析牠的骨骼，知道鈣的成分也增加了。

把照過紫外線的橄欖油，藏在有塞子的瓶子裏，可以經過十個月不失效力。這種油也可用炭弧光、鐵弧光和太陽光來受。

放射性的；但是照到十七小時之久，就要失去效力，即使用鱈魚肝油來照得這樣的長久，也是要失效力的。

人的體素，經過使易感光的處理以後，就對光的變化更加活潑。金雞納霜、依斯苛林 (esculin)、螢光素等等都是能使體素容易感光的物質，能增加體素對於光的效驗。在使體素容易感光的物質中，最有力的要算槓非林 (porphyrin)。這物質是紫色的東西，和供給血液紅顏色的血球素，極相類同。用適當的化學方法，在血球素中除去了鐵和蛋白質，就成槓非林。這種東西，對於紫外線所起的作用，極為厲害，偶而闖出禍來，就把牙齒變成深紫色。患有這種特別病症的人，不能不常戴手套，在日間出外，更非戴厚面罩不可。槓非林在太陽光之下，能把最不相似的動物的紅血球溶化的。但是既不是單獨的血槓非林也不是單獨的光所能把動物毀傷的。惟有它們兩者併合起來的力量，纔能傷害牠們。有個醫生把極微量的槓非林注射在自己的體內，然後曬於平常的日光之下，受到嚴重的痛苦。

把極微量 槓非林注射白鼠，即使曬於早晨的晨光中，亦是致白鼠於死命。以鼠的試驗，證明我們的身體，利用了石灰質，就能把這種使體素容易感光的手續，自由控制了。軟骨病或與軟骨病極相類的疾病，應用適當的使體素容易感光的處置，就能治愈；反之，處置不得其當，軟骨病就能發生。

第十五章 輻射線與放射線

凡放射熱線和光線的都稱爲輻射線。我們此書單講光線這一章想把和光有同性質的輻射線來加以研究。這些輻射線不能目見，除前面講的X射線和紫外線外，還有宇宙線，星雲線，紅外線，陰極線，以及最近發明的死射線，尙在不能十分明瞭的時期，等着作進一步的研究，我們在此只能稍加敘述。

宇宙線 1903年勒榮福特 (Rutherford) 和馬克來能 (McLennan) 兩人，對於放在氣密的厚金屬箱中的靜電計上的電荷，會漸次地消失的事實，認爲是因爲有一種和 γ -射線 (γ -rays) 相似而波長較短的射線，貫穿箱壁而入，使箱中空氣發生游離作用的緣故。這種射線，起初是以爲由於地中的放射物質，後來根據多數學者的研究，知道這完全是由於超地球的原因，也有人認爲是由於恆星中的消滅物質而來。據1922年密立根 (Millikan) 等的報告，這種射線能貫穿湖之亦底五十呎，若用鉛來換算，即能貫穿六呎厚的鉛板。這種超X射線的新發見，使科學家大起震驚，此後就稱之曰宇宙線 (cosmic ray)，激起科學家的研究興趣不少。

星雲線 關於起因於宇宙線的輻射線，除上述的宇宙線以外，還有星雲線(nebulium)。此種輻射為星雲所放出的光譜，是氦和氫在高度游離狀態時所放散的東西。星雲線的波長約為5,000埃斯特稜(Ångström)，1埃=1/100,000,000厘米。

紅外線 紅外線前面已經講過，是光譜中紅光以外的射線，在光譜上不顯什麼顏色，人目也不能看見。但它有種熱力，得使我們感知，而且照相片對它也發生相當的作用，因此紅外線照相術在軍事上有了重要的使命，從前戰爭時所用的偽裝和掩蔽法，現在都可用紅外線照相術來偵察，真象畢露，毫無假裝之可掩飾了。又利用這種不可見的射線造成紅外線警鈴，可以預防盜賊。

遇有霧大的天氣，竟能對面不見物，這是由於光線不能透明霧的緣故。但紅外線卻有透過霧的能力，把紅外線照相片放在船上攝影，會照得人目所不能見的船隻從不遠的地方駛來，如果立刻把它顯影，就可避免船隻的相撞。

紅外線也有和紫外線一樣的治療價值。對於風溼病的治療，已經證實有效，紅外線穿過毛織物比棉織物或棉毛混合的織品更容易，紫外線也是如此。紅外線最新的效用，就是把五千年前的神祕文件，赤裸裸的顯現出來了。不列顛博物院所藏古埃及的文件，早已模糊不清，看不出什麼字蹟了。不料用對於紅外線感覺靈敏的照相片來攝影，退色模糊的筆跡，都很清晰。

的顯現出來，好像初寫時一樣。這是什麼道理呢？這是因為墨水或顏色的消滅；不過是光線和顏色起了一種化學變化，普通的光線便不能再在上面反射罷了，但紅外線仍舊能把它反射到照相片上來，所以仍可看出字蹟。

陰極線 克魯克斯 (Crookes) 在四十多年前，已經發見稀薄氣體可以傳電的現象。他用金屬電極插入玻璃球的兩端，作為電極，接上電流，再把球內的空氣漸漸抽去。將近抽完的時候，玻璃球裏面就傳起電來，有射線從陰極方面直射出來，玻璃全體也都亮了。這就叫做陰極線 (cathode rays)，有特殊的性質，陰極線碰着的地方，會發高熱。若聚在一點，薄片的金子也會融解。中間若有物體擋住，那麼對面就有影子，若裝一個小風車，那風車也能旋轉。這光線遇着磁場，就被磁場屈折。

陰極線比紫外線又短，非單能殺死微生物，而且用庫利治 (Coolidge) 教授所發明的方法，還能殺死昆蟲。庫利治 教授說，細菌墮入陰極線中，只要十分之一秒，就足殺死而有餘，即使抵抗力很強的細菌，它的芽胞也不能免於死亡。果蠅只要曝光幾分之一秒鐘，就立刻顯出萎頓，不要幾個鐘點，就完全死亡。

由此看來，陰極線可以當作一種殺菌劑了，但是用得當，就是高等動物也有極大的危險。庫利治 曾把兔耳直徑一厘米的圓圈內照射陰極線一秒鐘。經過幾天，那曝光的地方，就成癩皮，不幾天就連毛一起脫落下來。兩星期以後，開始叢生雪白的，

毛，不久便比原有的灰白毛長得長了。又把一處曝了 50 秒鐘，耳朵的兩面都起痂皮，後來脫痂變成一洞，洞的邊緣，也生出雪白的毛。

死射線 美國加利福尼亞科學家亨利富勒(Henry Fleur)經過長時期的試驗，發明一種製造死射線 (dead rays) (俗稱死光) 的機器，能放射一種致命的光柱。據說這架機器能從一個探照燈內的強光，射出混合的無線電超短波和紅外線輻射。能於九分鐘內殺死蛇，三分鐘內殺死昆蟲。因此有用死光機來殺除果園中的害蟲。殺蟲的效力很大，非平常的殺蟲藥水所能比擬，而且耗費也省，只有舊法除蟲法所需的一半。對着果樹發送死光時，無論在樹上或樹裏面，天上或地裏的昆蟲；只要在這死光的路途中，都不免於一死。其理由乃在昆蟲對於這種高頻率的電流能產生高電阻，結果發生大熱而被燒死。但是這個射線，對於果樹卻沒有傷害，因為果樹能作導電體。這種機器，法國克羅德(Henri Claudel)也有同樣的發明，卻在嚴守秘密之中，所以結構如何，外人尚難詳細知道。

現在講放射線。十九世紀末年，有個偉大的發明，在科學上起了革命的，那就是柏克勒爾(H. Becquerel)發見了凡含有錒(uranium)元素的礦物質，能和照相片發生作用，就是把它包在黑紙裏面，也仍能和照相片發生作用的。從這個奇怪的現象發見以後，不久他又研究出錒能放出一種射線，和那時一年前羅

所發明的 X 射線差不多。這種射線能透過尋常光線所不能透過的物體。

居利夫婦 (Pierre and Marie Curie) 用一種含錒的礦物叫瀝青礬 (pitchblende) 的來做試驗，把這試驗品秤了又秤，發見這瀝青礬所含的放射能比錒大得多。於是用化學分析法，盡量把瀝青礬所含的元素分析出來，結果發見釷 (polonium)，針的命名就是紀念居利夫人的祖國波蘭 (Poland)，後來又發見了鐳 (radium)。居利夫人把這新元素鐳，試驗又試驗，放射的能力，總比錒活潑了二百萬倍。

科學家對於針一類的物質，頗持疑義，有人說針應該當作獨立的元素，也有人以為鐳是常在分裂，變成另一種的元素。針就是鐳的一種新變物。因此把分裂成的新元素叫鐳 A、鐳 B、鐳 C 等等，但有一種分裂出來的新元素名叫氣 (radon) 的，卻被加入元素表中了。

後來發見凡含有錒、釷 (thorium) 和鐳的物質，都能放出三種輻射，起初名之曰放射線，因為它們的行為好像光線，雖然比光線的透徹力弱得多，能夠透入人體物質。為分別起見，當時又選用三個希臘字樣，叫做 α 射線 (α -rays)， β 射線 (β rays)， γ 射線 (γ rays)。

但自後來不久，發見 α 射線與 β 射線，並不含任何射線的意義，兩者並非射線。當它們在強力的電磁場的力線中通過

時，它們會從直的路線上偏轉，好像它們是質點似的。所以又改稱為 α 質點和 β 質點。這個 α 質點是一股帶陽電的氦(Helium)原子的質子(proton)， β 質點：一股帶陰電的電子。 γ 射線和 α 、 β 兩射線不同，不帶陽電也不帶陰電，是和X射線一樣性質的電磁波。

α 射線是帶陽電的質點，運行的速率極大，有時一秒鐘可達十萬哩以上。既有這樣大的速度，透徹力的強大，也可想而知了。 β 質點是帶陰電的原子的電子，它的速度比 α 質點大得多，差不多可和光速相匹敵，通常每秒鐘的行十八萬六千哩，它的透徹力，自然也比 α 質點大得多了。當 α 質點或 β 質點從一個正在分裂的原子放出，打擊着另一個原子核的時候，這個原子的核就作劇烈的震動，同時放出一股透徹力很大的輻射線，好像X射線。這就是 γ 射線。它的波長只有可見光波長的十萬分之一，或說百億(10^{10})分之一時。

第十六章 可見的奇光

(1)極光 極光又稱極光 發生在南北極的天空，在北極的稱北極光，在南極的稱南極光。極光有各種的形狀，每種形狀科學家都給它一個特別名稱。光色也很多，有時純白，有時紫、紅、綠、藍等顏色。如果大於光明，可以看見三種光色，下面一部分是紅的，最上是綠的，中間是黃的。射出來的光線好像梯級：有時停着不動，有時突然移動，互相交錯，或是升入天空，而又退回。奇怪得很，極光非在極上才最亮。在我們向北的時候，出現的次數和高度都增加，但是我們繼續的北行，到了一點，極光也就漸漸消滅的。

科學家耶 部一數人認極光是一種電或磁的現象。因為極光出現次數和太陽的黑點有極大的關係。所以大家都認為這種顯示是從太陽來的。從太陽黑點發射出來，像電子的實驗所生成的。此外還有許多關於極光的推測，因為從光譜的研究，說這是氣體，並且在分光鏡裏有一些特別的線。這是一個小量發光的氣體原質，大概和空氣中極原質氫近似的。

(2)鐵器寶光 在鐵器頂上，最能引人注意或驚人的自

然現象，第一就是峨嵋寶光。峨嵋寶光是個有彩色的光環，排列的次序，正和虹相同，由外面內，呈紅、橙、黃、綠、藍、紫。遇到日光不甚強烈的時候，只見一團光彩，紅橙界限也不明瞭。因寶光出現的時候，觀者立於寶光與太陽中間，且三者在一直線上（不在一直線上也可看到，但不能映人影於寶光之中）就見人影映在寶光之中，如觀者一人，影也三人，觀者一人，影也一人，人靜影也靜，人動影也動，人舞影也舞。寶光與人影恰和佛教所繪的佛像相像。因此和尚們附會穿鑿，以爲善業顯靈，叫寶光做佛光。得見佛光的人，就叫度佛光，以爲與佛有緣。實屬迷信。

其實峨嵋山所以有寶光出現的，就因爲峨嵋山在地理方面有特殊的形勢。寶光出現的條件，第一必須半山有極濃密的雲霧，第二必須有強烈的日光不爲雲霧所掩蔽。峨嵋山頂高出海平面三千三百多米，山脈起伏，綿亙幾百里，而靠近峨嵋山的又較低一千米。山中森林叢生，山下河流交錯，因此水蒸汽充足，空氣非常溼潤，雲霧常瀰漫於半山了。峨嵋山既有如此多量的雲層，日光不爲雲霧所遮蔽，射在雲層上，即起分光和折射作用，現出彩色的光環。

(B)峨嵋佛燈 在沒有月亮的晚上，站在峨嵋山頂的松身巖前，得見那百丈低的巖下低平原一帶幾百地哩²，和上海江倒這燈一樣光亮的燈在萬里以上。和尚講謂佛燈，是普天下的人家點的神燈，在夜半三更特來拜訪峨嵋山頂的普賢菩薩。能

不見那些燈在動嗎？那就叫做高蓋明燈（高蓋）。

原來，照光學上看來，不過是星的折射作用。雖然觀者的頭上沒有星（總是沒有日月之夜才能看見），那不過頭頂上有一片雨雲遮蔽罷了。因為那燈的所在地，白天看去，全是一片水里，更可證明我們的斷定不錯。至於看去比普通星更亮，那是因為我們自己站的地方太黑了的原因。若說有些動，不過是我們眼睛注視太久了，而生出來的錯覺罷了。

(4) 黃道光 早晨日出前的東方天空和傍晚日落後的西方天空，常有一種奇異的錐形光出現。光很微弱，錐頂的位置約在天頂（即我們直立的頂上）和地平線的中間。因為比銀河的光還要微弱，月光也可把它隱瞞過去，所以不易常見。它是以底端立於地平線的尖錐形，天文學家稱它為黃道光。

黃道光究竟是什麼，科學家的意見還不能一致。有人說是地球的一種尾，好像彗星的有尾一樣，有人說是環繞太陽周圍的一種由小質點構成的環所反射的光；這種環和土星周圍的環很相像的；又有人說是太陽光射在高空大氣中的氫氣和氦氣上而反射出來的光。用分光鏡來分析黃道光，證明黃道光和日光完全是一樣的東西。至於黃道光的得名，則因以前只見它出現於黃道帶附近的處方。

(5) 螢光 螢尾端的發光器，由無數腺細胞所組成，細胞間有多數支氣管，作為輸送氧氣之用。腺細胞的分泌物，假使不排

出於體外，就和血液中的遊離氧氣氧化而在體內發光，發光的本源，都是從腺細胞分泌出的發光素(luciferin)，另由一種氧化酵素幫助它發出光輝，發光素的性質，尚未明瞭，但知發光素和氧化酵素各別，兩者缺一便不能發光。

發光的動物除螢以外，還有一種蜈蚣也能發光，但不多見，在海邊有時可以看見波浪放出光輝，這是由於海水中含有無數發光球形的小蟲所致。有些細菌也能造出發光物質，腐敗的樹幹、樹枝、樹葉和魚類等所以有時能在暗中發光，就是由於此類細菌所致。

熱帶地方的昆蟲和其他動物，能發光的更多。熱帶的火螢，是最著名的發光蟲。美國南部產有一種蠅，在日落之後，頭的前端放白光，體的後端放紅寶石光，好像一輛小汽車。美國人便叫牠做汽車蟲。熱帶海底有發光的魚，可謂海底不滅的明燈，有時全身發光，只要集得一小羣，就得把海底照得很亮。

關於這些動物的發光秘密，近年來始被化學家發見，從昆蟲和動物體內的腺中尋出的許多發光物質，大都是由兩種物質合成的，一種是發光素，一種是發光觸媒(luciferase)，幫助發光素發生光輝，但是這兩者的成分如何，則還沒有知道。

至於光學上所講螢光，則指物體在受某種光的時間內，發出固有之光的現象而言。例如塗鉑氫化鎢的紙板置在 X 射線中，能發淡綠色的螢光，他如磷玻璃等也發螢光。

(6)磷光 磷在空氣或氧氣中燃燒時，發出很亮的光和白色的烟。此光便叫磷光。但是光學上所講磷光，是指物質受某種光後，置於暗處而發持有之光之現象而言。例如硫化鈣曝於日光後移至暗處，則發淡青色的磷光。他如螢石、金石、硫酸鋁等也發磷光的。俗所謂火鬼，就是這類礦物質所發的磷光。

生物所發的光，以及無生物所發的光，都是冷的，所以又叫冷光。比了我們人類所造的光，必先要費去許多熱力纔能發光的，不知要吝嗇多少，所以研學冷光的人很多，將來總有一日研究出冷光的製法，那就可以省卻許多「為...犧牲了。

(7)電石光 電石光實在就是氣體燃燒的光；用碳化鈣，即俗名電石，和水起用就生電石氣，把電石氣燃燒就發強烈的光輝，生出一種惡臭，和空氣混合則發爆炸。腳踏車和人力車上的零星的燈光，就是用的這種電石光。

(8)霓虹光 現在大都市上的市招，夜間放出紅紅綠綠的顏色，比了日間的市招尤惹人注目。這是利用稀薄氣體通過電流成的，我們前面也已提及。最簡單最老式的霓虹燈，叫做微光燈 (glow lamp)。外形和白熾電燈泡相似，內部沒有絲，而有兩個極，陰極作十字狀。這個微光燈泡裏面不是真空，卻裝有低溫的氖 (neon)，這氖和氦、氬、氪、氙、二氧化碳等氣體一樣，當兩極間加以電壓時，很容易分裂牠的陰陽兩極的組織成分。這種分裂的變化，叫做游離 (ionization)，因為陽性組織成分為游離，而

陰性組織成分是電子。當管中發生游離時，氙就射出橙紅的光來，可作廣告之用。

不同的氣體或混合的氣體，在游離時能放出不同的色光，這是現在氙管招牌具有各種色光的道理。純粹的氙氣，能發出一種可愛而有透澈性的橙紅色光；氙氣能發出牙白色的光；氙氣能發出一種淡的藍紫色，氙氣都能發出一種淡藍色的光；汞蒸汽能發出一種紫藍色的光。如若用分量不同的各種氣體混合起來，或加入若干蒸汽，我們就可得到無限種類的顏色。但是實際上，現在只限於紅、藍、綠、白、黃等色，因為管內若裝各種適當的混合氣體來發生其他的各種色光，管的壽命比較求得短促，故應用上太不經濟。

氙管和螢光燈沒有多大區別，因為氙管也不過是一玻璃管，兩端各裝着一個電極，裏面含着可以產生所需色光的適度分量的氣體罷了。假使玻璃管很長，則所用電壓必須達到一二伏特之多。如果要只用較低的電壓、電流，則可把氙氣管正字相聯的畫分作若干小段，再並行的連起來。

(9) 黑光 最近光學工程師發明一種黑光燈，可以在黑暗地方把所要看的物體顯出來，不要看的顯不出來。這黑光是從氙燈泡中放出的，燈泡的外形和十六支燭光的電燈泡相彷彿，可以裝在普通的電燈線上，不過燈泡內部的構造，卻不相同。裏面有少許水氣，通電以後，就好像一盞水銀弧光燈，燈泡的度尚

深褐色，除紫光外，其他任何波長的光，都不能透出。由此透出的光，我們便叫它做黑光。這黑光照在普通的物體上並不發光，惟有照在塗過一種發光油的物體上，纔能發光。

影戲院裏把地毯塗了發光油，照上黑光，客人便沒有失足之苦了。座椅背後，釘上一塊小牌，塗了發光油，照上黑光，看客也一望而知某處有空座了。舞女身上綴着的寶石，塗了發光油，手裏舞的綢旗，是用途發光油的原料織成的，當她舞蹈的時候，人祇能看見寶石的搖蕩，旗幟的飛舞，卻看不見舞女的真面目。其他的物體，塗上了發光油，在黑暗中把黑光照上，也都成奇觀。

黑光燈所透出的只有紫光，實在就是紫光燈，所以紫光燈所具有的一切治療作用，黑光燈莫不具備。紫光所具的作用，我們在紫外線一章已經講過，此地不必再贅了。

第十七章 太陽光

一切生物莫不賴太陽以生存。太陽光照在埋藏植物種子的泥土上，它的放射能造成化學作用，使種子發芽生長。太陽光源源而來，化學作用也繼續不輟，植物由此而成熟。飛禽食粟，走獸嚼草，人則賴五穀和禽獸為食物，增進健康與力氣，因此人類刈草割禾，或獵取其他食物，這都是太陽光所賜予我們的。

然而大部分的太陽能力，我們還未能盡行利用。雖然經過科學家繼續不斷的研究之後，不久或許就能發明方法控制太陽輻射的偉大能力，造成太陽引擎和太陽發熱器。比現時我們所有的引擎和發熱器都要省費耐用。我們祇要無言仰天，各事由太陽光來替我們做成，我們豈不安逸省事嗎？用太陽光焚燒樹木，用太陽光鎔化金屬，用太陽光烘烤食物，用太陽光熱汽機、發動引擎，轉成電流，推而至於紡紗織布，無所不能。到了那時，我們不會「坐吃山空」了。

上述種種，有人或許以為夢想，其實科學家的事業，又那一件不是從夢想中造出來的。騰雲駕霧一日千里，不是小說書上常有的夢話嗎？順風耳朵千里眼，不是我國五十年前的神話嗎？

現在都一起發現了。可知事在人為，有志者事竟成。上述種種，其儘不是夢話，而且確有一部分的成功，不過還沒研究到可以實用的地步，再等幾年，或許就成大家通用的家具了。

太陽光經過九千三百萬哩的空間而到達地球表面，一部分需用來暖熱地球，生長植物；除此以外，其餘的太陽輻射能力，還超過現在所有的其他一切能力來源的力量好幾千倍。據太陽輻射專家的估計，太陽照在五千八百五十億方哩的地面上，在每一方呎內，它能發出一萬二千五百馬力的力量。因為其中一大部分在經過長途的空間時已經消失，所以到達地球周圍大氣外表的時候，每英畝的太陽光只能發生780馬力。在天氣晴朗的正午，太陽光穿過大氣層而達於地面的能力，只有每英畝五千馬力了。照理論上的計算，太陽光照在每平133方哩地面內所發生的能力，就是抵一百個美國尼格拉大瀑布所發生的能力了。撒哈拉大沙漠每日所受的太陽能，可以等於燃燒六十億噸煤所發生的能力。

要想把太陽射在地球上的能完全變成機械力，現在還沒有人，想來是可能的，因為蒸汽鍋和蒸汽機雖然已經發明了幾十年，但是還沒有一個汽鍋或汽機，能夠把煤的熱能統統變成實際的機械能沒有絲毫的消失哩。上等煤所具有的熱能是每噸12,760馬力小時，但是從汽鍋或汽機中得到的結果，只有每噸煤1,470馬力小時，僅是燃料熱值的百分之11.6而已。

但是利用太陽光為原動力，實現之期當不在遠，現在已有太陽動力廠造成，正在試用。該廠的熱效力為百分之 4.32，佔最佳蒸汽機效力的三分之一強。

阿考特 (Charles Greeley Abbot) 博士是美里斯密松爾 研究所 (Smithsonian Institution) 院長，也是研究太陽輻射的世界領袖。據他說，不久我們就可尋出一種控制太陽光的商業實用方法。博士嘗說：『是利之功，專等集合太陽熱為動力的問題解決。照我們現在的展望，在未來的一兩代中，動力的取給，就要向最有用的力源太陽中去追求』。

二千年前，早已有幾個聰明人知道太陽光線聚集起來是大有用處的。其中最有名的是古羅馬的異教徒。他們有時把灶神佛基達 廟的聖火熄滅，然後揀選一片焦木，放在金屬的圓錐體反射器的焦點上，令反射的太陽光線使焦片復燃，誇示神靈的偉大。又據編籍 所載在西歷紀元前 240 年，當羅馬水軍猛攻塞格斯特 時，歐洲著名哲學家亞基米德 在河岸上用反射鏡把太陽光線集中在戰艦上焚燒敵軍。

1747 年，法國自然科學家柏登 (Bastien) 要證明這件事是否可能，就造成歷史上利用太陽能的第一次科學試驗。柏登用三百多面小玻璃鏡裝置在一個架上，每個玻璃鏡可以自由調整高低，而能妥為調整把反射光線聚集於任何所要距離上的一點。應用這個儀器，他能焚燒相距二百呎外的樹林，又能熔化

放在二十呎外的鏡子。在柏豐試驗以後沒有幾年，特賴斯登 (Dresden) 地方有一位機工名荷生 (Loesen) 能製造一具長十呎的反射鏡，把這面鏡子反射出來的光線集中在銅鏡上，銅鏡便熔化了。直到現在二百多年，科學家對於用透鏡聚光太陽光線取火的方法，仍舊有不少的興趣。小朋友把着過火的焦紙捻，放在太陽光穿過透鏡的焦點上點火，也常引為奇事。以小朋友時代的興趣，在成人時孜孜不倦的研究，就是科學家的精神。

美國加利福尼亞省威爾遜觀象台天文學家海爾 (George E. Hale) 博士新近計畫一具十五呎的太陽儀器，用三十個透鏡把太陽光線集中，可以發生攝氏六千度的熱度，鋼絲遇到它立即熔解，好像牛油遇到煤氣燈一樣。

在柏豐的試驗後二十年，瑞士有一科學家名沙窩埃 (H. B. de Saussure) 發明一個太陽暖箱，他認定太陽輻射必須與實物接觸後方可轉變為熱，又黑色可以吸收各種太陽光線，黑色是轉變太陽能為熱能的沒有效的顏色，所以他製成一只小木箱，內部漆黑色，用二片普通玻璃為蓋，兩玻璃中間留有空隙。他把這個木箱放在太陽底下，所得的熱度並沒有記載，我們不知道，不過在1837年英 奇爾喬士 (Sir John Herschel) 在好角 (Cape Town) 用這木箱一只，測得溫度計的讀數為攝氏24。他曾用他的木箱煮肉，當時他的主人見了莫不驚異。實則他的木箱的設備，與近來德 勞特博士 所製得的高效率

的太陽灶的雛型。

1874年，法國有位著名的工程師馬可德 (August Mouchot) 也是研究控制太陽力的先進。他是利用集中的輻射太陽光線使在汽鍋中發生蒸汽，再利用蒸汽轉動一架小機器。馬可德的裝置是第一個利用太陽力的機器。內中有兩主要部門，一是反射器，一是汽鍋。反射器是一個收頭的圓錐體襯以銀箔，像一個仰面朝天的巨大燈罩。錐的深三十一吋，底面直徑四十吋，口的直徑一百零二吋。另外有一個手動飛輪，能夠轉動反射器使隨着太陽運動。

汽鍋設在反射器的底下，和反射器同軸。汽鍋是黑漆圓筒，用十分之一吋厚的銅板製成，直徑十一吋，長三十二吋。外面套一個玻璃罩，直徑較大四吋。汽鍋和玻璃筒之間充滿一層二吋厚的熱空氣。汽鍋內另外有一個銅的圓筒，直徑略小，長僅二十吋。小筒內除水管汽管外，中間是空的。兩個銅圓筒之間可以熱五加侖的水，容納蒸汽部分的容量則為二加侖。在晴朗的天氣，太陽光線因反射器集中在汽鍋上，四十分鐘內可以產生每方吋三十磅的蒸汽壓力。以後壓力增加很快，達到每方吋七十五磅為止。這是此汽鍋內壓力的限度。在酷熱的天氣，這汽鍋每小時能汽化約一加侖的水，發動小汽機，轉動一只一匹半馬力的抽水機。

因法國政府的資助，馬可德繼續其太陽力的試驗歷二十

年。他發明的機器中有一具汽鍋由幾根並列的管子造成。在一年經各工程師的試驗，證實其有最佳的汽鍋效率，達百分之四十九。馬氏發明的一部分機器曾在阿爾其利亞 (Algeria) 地方用，為抽水之原動機，頗著功效。

在美國有一位瑞士產的工程師兼發明家燕利克森 (John Ericsson)，致力於利用太陽力的問題。1881年他在紐約造成一座太陽力廠，這是他發明的第八具，比較價廉而效宏。它的反射器是一個正方形槽，十一呎長十六呎寬，用木板直板製成，另用鐵絲保護。木板上裝鏡子，係用普通玻璃，背後鍍上銀成。木桶用八鋼架支起，能在鋼軸上順太陽的方位而旋轉。木桶架上裝着一個熱水器，直徑六呎四分之一吋，長十一呎。太陽光線由反射器集在熱水器上，可以發生充分的蒸汽，以轉動一具六吋圓筒和八吋行程的引擎。燕利克森創造此器時年已八十。倘或是在青年，他必能將此器改良而達到更高的效率了。

尚有其他發明家繼續研究這個問題。在1904年，美國加省 柏賽那居民得見一夫而長強力的太陽力器，此器系放鏡式，為破天荒的建築。發明此器的是住在波士頓的一個英人 燕納士 (Aubrey Y. Eneas)。此器有一圓錐形的反射器，直徑三十六呎，重四噸以上，用時鐘控制的電動機發動，使反射器常對着太陽，而把太陽正確的集光焦點。反射器上的鏡子用白玻璃製成，厚十六分之一吋，裝在架上的曲面。

汽鍋用兩個同心鋼管製成，外套兩個玻璃管，中間層空氣。汽鍋長十三呎六吋，裝在反射器之軸上，水流從兩鋼管之間上流，而從內一管流下。汽鍋外表面上每方呎地方，收集約十三方呎半的太陽光線。該機能把從玻璃鏡反射的太陽輻射百分之四變為機動工，而以全日平均計算，能供給二馬力半。德納士曾製同樣的機器數具，供加省南部及亞利沙那省耶水之用。

美英機械人許門 (Frank Shuman) 所發明的太陽機能使所產生的太陽力最合於商業之用。1900年他依薩暖箱的原則開始試驗，連續建造幾所很合用的實驗發力所。在1911年英國資本家漸漸注意，次年就請他在埃及建造一所巨大的太陽力廠。鮑愛士 (C. Y. Boys) 教授是英國物理學家，曾發明今日廣用於精密儀器上的石英纖維，又亞克門 (G. S. E. Ackermann) 為英國顧問工程師，兩人參加許門的研究。因鮑愛士之知，發熱器的式樣不用薩暖箱而改為用反射器搜集的槽，和無利、森所用者相仿。許多汽鍋列在邊上，適當反射器的焦點，使兩面均能受反射的光線。所有汽鍋均為一層玻璃包圍着的一層空氣。

每個情形反射器和它的汽鍋長205呎，所有五個反射器都能自動傾側，隨太陽轉移。所收太陽光之總面積達13,260方呎。所發生的蒸氣，最大量為每一百方呎12磅，相當於每150方呎太陽光發生一匹有效馬力。在一小時內以六馬力輸出量為五

十五匹半有效馬力，較以前所有太陽發力廠產量的最高紀錄大十倍。

1910年，阿善特博士造了一具太陽灶，裝設在威爾遜山的頂上，不用燃料，完全靠太陽輻射為熱源。灶的構造是一個銅製的長槽，寬七呎半，長十二呎，銅面塗鉛，槽的剖面成拋物線形。太陽的熱集中在槽中的一個塗黑的金屬管上，管徑一呎半，有油從管中經過，為吸收及傳熱的媒介，流入爐內，烘麵包或煮食物即用油傳來的熱。

後來又有一種太陽灶的發明，用六十個鏡子平均排列在三個架上，架能在圓形軌上轉動，應用於一種新式太陽灶上。鏡子在軌上轉動，至面對太陽時，將太陽光線反射到灶內準備加熱的物上。據發明者說，灶內溫度可以達華氏六千度，希望將來這個儀器能夠供給價廉的熱源，作熔解金屬轉動引擎等用度，據說每增加一個鏡子，能使灶內溫度增高華氏一百度，儀器的構造和運用均極經濟，製造的費用祇需美金一千元，使用時只須一位技術員管理即可。

美國 洛杉磯 麥考愛 (H. E. McCoy) 和 威爾司 (Raymond B. Wells) 又發明用太陽光燒烤肉的器具。燒烤器具的一端是一組二十塊玻璃，另一端是一隻燒烤的玻璃箱，裏面裝一肉叉，能靠電力轉動。把豬肉或牛肉插在轉動的叉上以後，太陽光線即集中在肉上，燒烤肉的周圍，二十塊玻璃能自動追蹤太陽而

變更位置，反射太陽光線，使玻璃箱內的熱度常保持不變。用這個方法燒肉比在灶上燒肉較為迅速，這樣燒成的肉不甚縮皺而汁多。據曾經嘗試的人說，太陽烤肉非常柔嫩，並且能供給需要的維生素，有更大的滋養。

太陽光既能發熱煮食，也能發熱制冷。美國穆爾(Otto H. Mohr)工程師又造成了一種太陽光的冷藏裝置。這種裝置除去每天在太陽中曬兩小時以外，不需任何的能。據這位發明家說，每日須曬四小時的較大口光冷藏裝置，可用來使全房開生膠或生涼。這種冷藏裝置有一個球形的透鏡供整天收集太陽光。

這種透鏡聚集太陽光線，把光能變成熱能後，傳入於生冷液體，普通的生冷液體便是氨。這種生冷方法和普通氣體冷藏器相似。把日光變成熱能的球形透鏡和鍋子裝在房屋的南部外面，用管子接到冷藏櫃裏，鍋內的氨蒸氣上升於屋內的蛇形管中而後液化滴入櫃，櫃裏液體蒸發，就吸收熱能，這樣就使食物貯藏生冷。這種生冷的程序繼續不停，直到櫃裏的液體完全蒸發至鍋為止。

現在蘇俄和德國也致力於太陽力的研究，利用太陽力的設備，也發明了不少。太陽力和空氣一樣取之無窮用之不竭的，我們若能想法利用，就可得取取動力的無限來源。如何利用太陽力的問題是值得我們研究的。

最近更有一班人在孜孜從事於把日光變為電力的試驗，由這些試驗設計了一個航空中的航空港。一個可駛氣艇，用日光來供所需的力，背上有降落飛機的地位。

這個氣艇，就是平常雪茄煙式的可駛氣艇，不過氣囊只有下面半個，所以背上的甲板，極為寬闊，足以鋪設日光電管，飛機的走道和一個機庫。這氣艇浮在海洋的空中，可以供渡洋旅客機中途加油之用。

除去用作航空港外，這個設計又有一個特點，就是用日光供給發動力。據科學家計算，每方哩面積的日光，每小時能發生十一萬五千馬力。日光的熱能，用光電管改變為電，如果這事實能實行，則平房屋的屋頂，就可用來產生家庭所需的電力了。

太陽也有治病的功效。小兒癱瘓病也是一種可怕的兒童病症，像軟骨病一樣，會漸漸的成為大部分的殘疾。對於太陽光，卻有治愈的效驗。這種療法是英國雷維克(Levick)博士創始的，他曾說過在治療小兒癱瘓的方法中，沒有其他的療法能比太陽療法得到同樣的好結果。

雷維克第一個推斷，以為成人患的神經衰弱病以及兒童患的軟骨病都是同樣的緣故。他以為這兩種疾病，都是神經中樞的營養不調，在兒童損及骨骼，在成人害及神經系統。太陽光照在皮膚上形成一種物質，帶入血液，營養神經又營養骨骼。他用太陽光治療神經衰弱成功了，就引起他把太陽療法應用到小兒。

癱瘓症上去。這種病對神經系，施行嚴重的襲擊，結果成爲肌肉
疲弱，受了太陽光的作用後，神經中樞便得營養恢復。

雷維克博士用電弧光造成的綜合太陽光，證明和天然的太
陽光一樣的好，在調整病人的使用時間上，尤較天然太陽光爲
便利。他應用兩種極不同的光線，一種是短波紫外線用來滋養
神經，又一種是長波紅光和紅外線作爲治療肌肉之用。紅光線
祇要把手舉起來對着太陽光，就能看見，深入於肌肉中，所以能
夠刺激睡眠肌肉。

據雷維克博士報告這樣治療沒有速治的希望。每天有一次
短時間的治療，繼續不斷的治了好幾年，確有時常的改進。但是
十分厲害的病，或許不會見效的，有效無效，可在幾次治療後試
驗自否任何神經纖維回春以爲斷。

第十八章 人造光的起源

假使世界上只有從太陽和月亮來的兩種光，試想我們將有怎樣的一個世界呢？在太陽西沉光萎以後，便是絕對的黑暗籠罩着我們，惟一的希望只有月亮的東升。街上沒有燈光，商店窗櫺沒有光輝，也沒有一所房屋有細微的光亮，一切惟黑暗而已！太陽落山以後，人們唯一可做的事，只有上床睡覺，靜候明日的日出了。

久遠以前的世界雖是如此的。那時的人類還是起於猿，對於怎樣生活的方法，知道得不會多過初生的嬰兒。在沒有城市或甚至沒有一屋的時候，這個幼稚的世界各地都生着樹林，住的人類必不會多，而且他們的生活質和百獸一樣。他們吃的東西是生的，穿的衣服是獸皮，住的房屋是山洞，他們所能得到的暖熱和光亮，也只有太陽光。

但是他們在那時的世界上也常常看見火的，不過沒有想到可以使火馴服的方法。有時星光放下一道光，把乾燥的樹木着了火焰，或火山噴出了紅熱的熔石，滾到山下來了，人民就會驚駭的逃避。他們從沒想到火能做人類的好友的。

人類究竟怎樣尋出火來的，我們是不會的確的知道了，幾千年以前，在人類還沒有知道怎樣寫字怎樣畫圖的時候，他們就發見了這個大秘密。關於這個發見，卻有許多猜測，有的是科學的，有的是迷信的。其中最有趣的故事要算希臘神話中的普羅密修斯（Prometheus 半神半人之神）了。當普羅密修斯看到了人類的苦痛與愚笨，沒有抵抗黑暗與寒冷的方法，不禁起了悲憫的慈心。干冒諸神的激怒，偷取了主神的一個雷電，跑到地球上來，教人類堆起乾燥的樹葉樹枝，生着了火。因而人類就有熱和光了。但是普羅密修斯就受到怒神的責罰，把他捆綁在石塊上，那兒有隻兀鷹來啄食他的肝臟。直到英雄赫拉克勒斯跑來用箭射死了兀鷹，這人類的第一個救星方得恢復自由。

在這個奇怪的神話裏面，或許藏着幻術的真實。因為人類要制勝自然，好像一定要有一個偉大的人來做先驅，幾個勇敢的野人要從着火的樹上截下一批樹枝，或從熔巖流中耙出一塊熱煤，再衝鋒回去點着他們自己的火，那自然非有像神一般的膽量不可。但是後來知道把火生在泥土上或石塊上是毫無危險的，等到人類在冷暗的洞中，覺得了熱與光的安適，就非有光與熱不可了。

雖然世界上還有一種天然的光亮，那是不會驚駭元始人的人心的，這便是螢蟲發出的幽淡的閃光。我國晉書上也記載庾胤基勤不倦，博學多通，家貧不常得油。夏月則縛囊盛數十螢火

以照書，以夜繼日閱讀的美談。我們幼時也很喜歡把螢火捉在瓶裏，放在掌上照玩。所以古代人的利用螢火，是毋庸致疑的，自然這種想像也唯有住在熱帶地方的人纔能想得到。他們很聰明的做了小木箱，用皮條做絞鏈裝上一扇小活門。在箱子的四周和頂上，鑽了許多小圓孔，放進了一百多隻螢蟲或成一盞天然燈，放出幽暗的光亮。這種螢火箱在印度最近還看見一只，看來好像是小兒的玩具，但是他們做來卻很莊重的。

地球生得老了一些，各地的原始人都學得了造火的方法。一種最好的取火方法，便是王意燧人民的教民取火法。用兩根木頭放在一起摩擦，經過長時間的摩擦，然後發出火花，燃着細小的木片。假使我們也去做這種試驗，我們就會知道兩根木頭變得非常之熱，因為摩擦而生熱的。但要發出火花，卻要耐心的等着。

要把這個麻煩的方法，弄得稍微容易一些，便是用木鑽。塞斯基莫人到最近還是應用的。那是用兩根木條，一根扁平，上面有個小洞，一根是細圓而長，並且是充實的。把細長的木桿緊插在另一塊木板的洞中直立着，一個人跪在扁平木板上緊壓木板，不使移動，又一人用繩緊纏直立木桿，敏然的旋轉。兩根木頭在一起摩擦，不久就生火花，用來點着預先堆在旁邊的乾草。

太平洋南面馬來島人又有一種取火方法，在行上雕一個槽，把整塊的皮條放在裏面前後拉動，推挽不久，摩擦便使皮條

發生火焰。

我們又知道古代的希臘人另有一種取火的方法。古代希臘人對於初步的藝術和科學都是很精明的，他們造成一塊玻璃彎成弧形，能把太陽光線集成焦點射在油破布或樹枝堆上。太陽光線經過透鏡集成一點，發生大熱，不久破布堆便着火熾盛起來了。

人類在學得應用金屬的時候，就發見怎樣會得到火花快而容易的方法了。他們知道把一塊硬鐵擊在燧石上面，立刻就有火花發生。要使火星成為火焰，那就必須把火星捉到引火物上去，引火物便是容易燒着的布片或木片。

人類用這種方法取火，直到五十年前方始減少，但偏僻的地方還是使用不絕。改良進步，只在銀鋼片與燧石打火的便利。將一塊乏油的破布，一塊鋼片，和一块燧石裝在一個小的取火匣裏可以隨身攜帶。有的小到可以放在衣袋裏面。英國在維多利亞時代的時髦少年，攜帶燧石火刀正像我們現在掛表一樣，用銀牌刻了自己的姓名，四邊鑲了鋼，鑲在帶上。銀片又有細銀鏈，連着一塊燧石，銀鏈的中段又連着一個銀圓筒，裏面裝着布片，可以拉出來引火。

又一種玩意的取火裝置便是手槍取火匣。造成一枝小手槍，用燧石來做擊錘，把彈簧推動，燧石就撞在鋼塊上，跳出一個火花來。同時手槍上一個小袋的蓋子飛開，承受火星在袋內

着起火來。於是再用浸在硫黃中的小木片放在手槍上點着，便吸引去點着蠟燭或爐灶。

雖有這些聰明的發明，但是要生起火焰，還是一件需要手腕靈敏的事情。古代人民愛護火種，一如神聖，自無足怪。要自然的讓火常常燒着，確是一件難事，所以常在一族中或一家中選出幾個人來專負日夜看火的責任。

有好多的年代，人民所有的光，只有從火來。部落時代的人民，在避風雨的蓬帳或洞中，婦女們在夜間調火工作，男子們調火製作工具，或開軍事會議。在爐灶的旁邊，可以看見食物，談笑風生的時候，也能見到各人面部的表情。這是社會生活的開始。茅蓬漸變為房屋，人也開始耕種，以及製作衣服工具和家具了。不久一方面開始交換物的商業，又一方面，精巧的手工藝品，開了藝術時代的先鋒。

當人民的生活稍支那了，知識也增加了，他們便需要更多的光，從前的中心火光覺得不夠用了。因此用了他們所發見的銅與鐵製成大器置於高處的松果。有的放在長繩架子上，有的用繩懸掛在樑木上。

那時有人必須離開火盞走到黑暗的地方去，便取一根一半着火的木桿來照路。這便是第一個火把。不久人民就知道用金屬筒來把樹枝束成一束，既可攜出門外，也可放在家中。從前的匠人，還為火把做了握柄，又為火星做了盞灰盤。這種設計，我

們現在走到意國去，還能在城市中見到它的遺跡。有許多古代的高殿，前面的牆上裝了許多大孔環，就是爲插火把用的。遺在熱城中的石凳，是執火把的人休息候差的地方，那兒也有鐵環的。

非但樹枝，就是橄欖塗了松脂也是極好的火把。據古代希臘書的記載，至少在三千年以前，就有婦女們執了火把去照路，山利西斯王宮的風俗，王宮大廳的四周，不是放着人形石像便是有活奴隸在那兒執着發光的火把。

在火把盛行以前，早有另一種的重要發見。那就是用任何脂肪油燃燒可以得到光亮的火焰。這或許有幾個部落時代的婦女把獵人打來的肉從中烤煮的時候發見的。我們猜想她們看守火在鐵桿上的鹿肥肉，眼睜着鹿油一滴滴的滴下來。在那油滴中，跳出光耀的火焰，下次或許她就將油滴收集在小鐵盆內，到黑夜降臨的時候，用爐灶內的樹枝來點火，這或許就是人類的第一盞燈。

人類在有火以後，一定不久就知道怎樣燃燒獸油魚油或植物油來照亮他們的茅舍了。他們也知道把脂油塗上了蘆葦，可以增加火焰的光亮。油堅果 (oily nut) 又是一種光的來源，起初植物油和動物脂肪不過得在盆內，使之着火，到野蠻民族稍進於文明的時候，他們就需要把煙減少，於是就想出燈芯來了。

用燈芯是一大進步，因為燈芯能吸收油脂慢慢兒到達它的

尖端供給火焰的燃燒。這樣燃起起來，便有清明的光亮，假使遮蔽了風，從不多就沒有煙。這是我們可以試驗的。用小碟子盛了一些豆油，把條狹布條浸在油裏，使它的一端擱在碟子邊上，然後把那端點火。我們就見布條慢慢兒的燃燒，碟中的豆油並不着火。

起初的燈芯，或許是蘇苔的絲條，或是蘭草的木髓，就是到了現在，塞斯基人用鯨脂放在碟子裏，燈芯仍是蘇苔。家庭工藝進步了，纔有用棉布、麻屑或紙草來做燈芯。加之要把燈芯放在一定的地方，於是把放油的碟子挖出小槽，以放燈芯，再後又有可以放幾個燈芯的油燈，並打裝了柄可以隨意攜帶。敘利亞和印度的古代燈，往往有三個燈芯槽。古時羅馬的燈做得好像碗或小茶壺的樣子，有細小的管嘴可放燈芯，燈芯對面有柄，上面也差不多蓋沒的。大的開口燈可用鏈條從天花板上掛下，因為就是沒有知識的野蠻人也大都知道光愈放得高，光線也愈射得遠。

古代有許多燈都是製造得很精巧的。起初的磁土燈，不過刻以粗糙的線紋，漸漸兒變得很美麗很精緻的。耶穌降生前三百年的時代羅馬燈就有很奇怪的柄，或成獸形，或成龍形，此後四百年，拉丁人模製成堅硬精細的粘土模型，再用鉛、石膏、大理石、玻璃和琥珀來做燈。這樣到了中世紀時代，人民大半的時間都耗費在打獵上面，於是燈上的許多技巧便沒有了。到了第

十四世紀較富裕的時期，裝飾又興盛起來，燈也變得更加機械的完善了。

從前的威尼斯燈高而且美，備有燈罩和挑戥，用精細的鏈條掛在燈上，以備修剪燈芯之用。有的燈甚至也有燈罩。

在我們離開古代人民以前，我們還有一種重要的古代發光法可講。當古人發見了脂油會燃燒的事實，除了用來塗敷火把和放在碟中發光以外，不久或許就想到還有其他的應用。他們看見了熱的牛羊脂油，可以蘸了燈芯變硬起來，因此便有蠟燭的發明。後來人知道蜂蠟做的燭又比牛油燭好了。我們知道蜂蠟燭是古時希伯萊人和埃及人用的。他們非常和蜂蠟熟悉，而且對樹木漿果中所含的脂蠟，也起想法利用。我們中國人便知道用烏桕的果子來做蠟燭。其立有一部古老的禮記，大家要到蘇州女神廟去點蠟燭祈禱像，以求福的。據歷史家的考證，蘇州人還知道漂白蠟燭的方法，且把白蠟燭運輸到亞丁。然而羅馬人卻到了西元第一世紀能用蠟燭照光的。

實在等到有筆記的歷史開始，世界上就不會沒有光源了。從那時起直到最近的時代，私人的房屋不論貧富，都是用蠟燭照亮的。從初有耶穌教堂起一直到現在，神臺上總是點蠟燭的。我國人在蘇裏紀念裏或祭神，也總用蠟燭。除這些地方用蠟燭以外，日常應用蠟燭，在城市裏的人看來就是奢侈了。只有在生日或什麼紀念的日子，桌上纔點蠟燭，但是走到鄉僻的地方去，

過夜，蠟燭和油燈仍是夜間唯一的光亮。

從前製造蠟燭，也是家庭婦女工作的一種。蠟燭的製法有兩種，一種是浸漬，一種是塑形。先把脂油放在大鍋裏煮滾，再過濾使它復硬。在第一種方法是用燈芯一次一次的浸入油中，直到黏成蠟燭的大小為止。第二種方法是把燈芯放在鑄製的模型中間，把牛油謹慎的傾注下去，使油冷硬。

這樣過去，燈芯雖不變動，而油的種類卻大有更換。我國有豆油、菜油、桐油、樹油、花生油等等，歐洲有杏仁油、橄欖油等等。但是有些國家不產這些油，勢必要從外國運去，價錢便貴了。因此便有捕鯨的新興事業。把鯨油點起燈來有美麗的火焰，有幾個國家，有好多年數差不多全靠鯨油點燈。

到十六世紀有個哲學家名叫卡爾丹 (Cardan) 發明了一種新式燈，把儲油的槽裝在燈口的上面，另有一個輸油管，調節油的流動。油由地心引力吸入燈芯。後來有個巴黎科學家雷澤 (Leger) 發明特別的燈口，應用扁燈芯。這兩種重要的改良，再加以瑞士發明家阿工 (Aimé Argand, 1784) 研究改革，油燈就登峯造極了。

阿工把從前的缺點克服，使火焰所成的形式，不致放空氣混合正當的空氣。他設計的燈，把空氣由燈的中間通過去，如把玻璃罩放上，就得穩定而光亮的花焰了。比從前的各式的燈都優越，所以不久就被全世界採用了。

但是有了這種強大的改進，在光亮的程度上，仍沒有增加。沒有其他的光源發見，在這十六世紀以內，所有的技巧和發明，都使用在燈和燭臺的美觀方面。

第十九章 路燈小史

2 在中世紀的時代，人們穿的衣服已很精美，走路已坐馬車，住的房子也很講究，室內也有美麗的家具、柔軟的地毯、奇異的帷帳和精緻的磁器，音樂、圖畫、詩詞、歌曲和雕刻也都進步到很高的程度。夜間貴族男女也睡茶出玩，好像我們現在一樣，並沒有什麼困苦。但街道路上差不多全是黑暗的，所有朦朧的光，就是街上的幾盞油燈。婦女們坐在馬車裏，就必定要有執火把的僕役來護衛。僕夜間問有什麼差遣，常常帶着燈籠。這種情形，並非單是鄉間，甚至世界上最大的國都、最繁盛的都市，也都是如此。那時所有的人造光，只有油燈、火把和蠟燭。但在中世紀末後的一百二三十年以內，燈和運輸的變更，卻比從前利害了。

自然我們愈追溯到古代，城市中的街道，愈覺黑暗。在中世紀時代，夜間各城市如要有燈光，差不多只有在高處或塔頂上保持烽火燃燒的一法。在各私人房屋內的點燈方法變好了以後，百姓才被強迫對於街道上的照明負些責任。強盜常常潛伏在黑暗地方，伺候旅客，襲劫財物，行人車馬也往往迷失道路，走入叢聚之中，都是因為沒有充分的光亮，不足擔付城鎮治安

全，所以像倫敦等城市常常要想把街道弄得光亮一些，他們還通過了現在看來很奇怪的法律來強迫人民改進現狀。

1415年倫敦市長柏吞 (Sir, Henry Barton) 命令各人家從十一月一日起至二月二日止，每天晚上，各家門前必須點燈一盞，從此大多數的城市房屋就造得近於街道。這道命令下後，祇少在街道的兩邊有個連續的微光。但是有些不謹慎或吝嗇的人民，往往不服從命令，於是不得不有嚴厲的處罰來懲戒破壞命令的人了。

後來人民又被迫要把路燈亮到十一點鐘。在十一點鐘以後，有何浪子或滯留的旅客偶或在外，便須自帶燈籠，于冒盜劫，或借武裝衛士攜了火把同行了。所以我們很容易相信那時期的人，大多數都很早都上牀睡覺的。

這種強迫私人點路燈的方法，延續了三百年。大約在1736年，纔有城市當局來負街道照明的責任。在倫敦每一警衛區的普通市議員，有付償其區域內路燈錢的義務。因此後來倫敦的路燈都是精製的玻璃燈；每一盞都有三個燈芯，燈都附架在木桿上，一年到頭，太陽落山便點燈。據說那時倫敦的路燈，單單生單一條街上，就比巴黎全市所有的多了。甚至離開倫敦七八哩遠的路上，也有路燈，因為有路燈的路很多，所以從遠處看來，令人起一種最高貴最美觀的感覺。但是這種路燈都是油燈，每天須要加油，搯拭修剪的。

各大都市點路燈的方法，都有和這相類的故事。1406年巴黎的住民就有在自己門前點路燈的義務，1666年路易十四正擁有歐洲最偉大的皇宮，他的警察總督卡爾巴還要多點路燈，燈費應由城市公出。結果那一年差不多有三千盞路燈放光，人民也非常喜悅自傲。其後百年內，還有逐步的完成，也曾懸賞重金，徵求好的路燈。把反射鏡放在燈的上面，使光線更其光亮。巴黎有許多街道，還從兩對面的房屋，繫起繩索，把燈掛在繩上懸在路的中央。

在這個時候纔漸漸相信路燈不是私人的責任，卻是公家的義務。維也納、阿姆斯特丹、哥本哈根、柏林、馬德里、菲列得爾菲亞以及其他世界大都市，都採用了幾種點路燈的方式。在十九世紀的初期，就有一個極大的發見，改變了整個的路燈方式。

那時發見一種氣體，可以用來點燈，氣體可用人工製造，一件改進的事業在世界上發現出來，往往總經過許多科學家和專家的常期研究，這種氣體也不能例外，有幾國的化學家和發明家早在二百年前研究過了。

據說那氣體的發光，開始在英格蘭的瓦林敦（Warrington）地方。有一天有個泉水拋起了發聲的泡沫，發出一種奇特的惡劣氣味，那兒的村人，迷信有魔鬼來追蹤他們，但是住在那兒的克雷吞（John Clayton）倒引起興趣來了。他確有化學家的造度，一看起泡沫，隨即想到在這樣地帶那有那種氣味，決不說

是煤氣的。他用燈放進泉中去調查，立刻得到小爆發，村人聽得自遠逃走，但是克雷吞卻決定再作進一步的研究。

這個人膽不怕的人，在他的房屋外面，造起一尊爐灶，進行煤的蒸餾事業，把煤加熱，使煤中所含的氣體放出，他把逸出的氣體收集在氣囊裏，再用細管從氣囊透出去，他把細管口點着了火，並沒爆發，而且燃燒得很光亮，毫無一些危險。他邀請了幾位朋友到他家裏來觀光，倒叫朋友吃了一驚。

同時比利時的科學家和德國的大學教授，也能在他們的實驗室裏蒸餾出煤氣來點火。1793年英國人麥多克 (William Murdoch) 製得很多的煤氣，他的房子內全用煤氣來點燈，後來在倫敦松 (Soho) 的一小區域內，也全用煤氣來點燈。他想組織一個公司，專製煤氣，售與市政當局，作為路燈之用。其時路燈所用的油多是鯨油，從事捕鯨事業的人，深恐麥多克的計畫，把他們弄成失業，所以他們千方百計的阻止麥多克組成公司。

但是恐嚇和貪婪決不能把大志要永遠壓制下去的。就在這個時候，巴黎的理化專家菲力巴利本 (Philippe Lebon) 也製造出一種氣體，點亮了幾所房屋和花園。巴黎人看到了這種光，心中非常悅服，菲力巴利本的學生文慈爾 (Wintzler) 尤其熱心，趕到倫敦去遊說，只要倫敦人能湊集金錢，設立公司，他就能使倫敦全城各街道各房屋都得燦爛的燈光，而且式樣也很美觀。

但是倫敦的議會沒有肯聽從他的主張，不是要想把路燈施行集中供給制的，文絲爾要算第一人。這種意見一發表，那困難消滅，漸漸兒就會把它實現的。

麥多克又熱心起來，聯合友人，就在倫敦設立公司，製造氣體，裝設管子，製作燈頭。這是件開創的工作，從來沒有人經驗過，所以管子，燈頭和裝置的方法，都不能做得很精巧，於是發生許多爆炸。但是工作的人，努力革新，不久就比起初安全了。舞臺上又造出一種奇怪的光，把一筒石灰吹在裝氧氣和氫氣的管嘴上，叫做石灰光。石灰光是旋轉的，發出的光輝，足以壟斷觀客的注意力，於是有『陷於石灰光』的一句流行話。

要使公衆採取一種新的放光制度，其困難幾非意想所能及。有錢的人深恐虧本，不願投資。同時又有人嫉妬賺錢太多。油廠燭廠都反對煤氣的掘興，因恐煤氣發達了，沒有人再向他們買油買燭。事實上如要把街道房屋照得亮些，非煤氣光不可，如要用油燭來照得和煤氣光一樣亮，就非多用油燭不可，多用了卻不經濟。還有一種反對煤氣光的人，則是頑固不化，他們不願有任何的變化。例如1840年英國有個國會議員在會議席上提議議院裏面應裝煤氣燈，衆人的回答是『試把留用蠟燭這一事情，作為堅決確定的立論。』於是提議者只好不開口了。

然而國會因為要照明全國的緣故，終於把一切小煤氣公司合併成一家大公司。全世界就此大家都知道煤氣既可製造，又

可儲藏在中心地點，再把管子通滿全城，點亮遠地的燈。早在十九世紀的中葉，巴黎和倫敦就有幾哩路長的街道點着煤氣燈。在美國的巴爾提摩爾（Baltimore）波士頓（Boston）和紐約，做了其他城市的先導，首先引入了這種新制度。美國因為發見了地底下有天然煤氣的大礦脈，裝燈制度又大大的推進了。賓夕法尼亞、紐約、俄海俄、因提安那和西弗基尼亞，都有煤氣礦。人民知道怎樣把煤氣收集得來，儲藏在大地裏，再用管子通出去，通到全城去生熱發光。我國雖然也有天然煤氣的出產，事實上中國人使用煤氣還比歐洲早幾百年，可惜沒有人規模的利用。

在歐美大都市中街道上和房屋中流行着煤氣燈的時候，就有阿工油燈（A grand oil lamp）的創製，因此沒有煤氣燈的地方，應用阿工油燈也能得較光亮的燈光，所謂阿工油燈，燈芯或管狀，火焰的內外，都可容許空氣的流通。又有其他的發明，第一是1816年英格蘭得維（Humphry Davy）博士發明安全燈。那時他還在少年時代，走到倫敦去去演講，引起了人民對於化學和電學的好奇心，蜂擁入會聽講的，好像現代人走進戲院一般的擁擠。因為他對於科學有了特殊的貢獻，賞得爵士的頭銜。他對不列顛的礦工，又解決了一個困難的問題。

那時的礦工往往受爆炸而死，因為礦工頭上的燭燭火和礦層中間所含的爆發氣體驟然接觸的緣故。得維博士經過長久的研究，後來尋得了防避這種危險的安全方法。他創作一盞油燈，

裝上鐵絲網的煙囪，火焰更不能衝出鐵絲網來了。這樣就阻止了爆炸的發生，而且爆炸氣體走入鐵絲網和裏面的空氣混合了，也不會有爆炸，實際非祇沒有爆炸，而且使燈光更亮，可憐的礦工，聽得了這個消息，他們的歡樂愉快，自然難以形容了。

1855年德國海得爾堡本生(R. W. Bunsen)博士又發明了一種氣體燈，用個有長縫的直管子直通到燈底，在煤氣達到燈口着火以前，早就在管子中和空氣混合了。混合氣體燃燒的火焰，非常之熱，發着藍色，幾乎不能目視，化學實驗室中缺了本生燈，便不能算完善。本生燈在氣體的發光上，也具有很大的助力。

約和本生同時，韋爾斯白克(Karl von Welsbach)做着試驗，要想把煤氣燈弄得十分完備。他製成一種棉紗燈罩，放在一種鹽類中浸過，再罩到煤氣的火焰上去，就生出燦爛的白色，韋爾斯白克費了幾年的苦心，居然做成了完善的紗罩，紗罩就用他的名字來命名。

然而在這時期最引人注意的事情，卻是美國發見了一種新油，那就是石油，實際就是原料石油，印第安人和白人殖民早已知道的，在華盛頓尚在年青的時候，他出去測量地面，常常看到河流和溼原的表面有一層油的浮膜，他就在他的筆記簿上記個圓號，作那兒是否有用油存在的疑問。

約在華盛頓一百年後，有許多人注意到這問題上來了。因

爲鯨魚工業要失敗了，鯨魚差不多就要絕跡，各地方都仰望着有廉價的油出來。有幾家公司，希望能在地下找得一種油源，但是到了德累克(E. F. Drake)上校，纔證實地下確有油的。

他帶了幾位助手走到賓夕法尼亞的泰塔斯維爾(Titusville)地方去。不顧地方人士對他們的訕笑，他們只顧在地上掘洞摸索，直到經過詳細的研究之後，他決定油的大藏脈是深埋在巖石層的下面。要達到油層，唯一的方法，只有鑽穿巖石，塞進管子，把油抽到地面上來。這種方法，就叫鑽井。德累克上校走去鑽洞，雖然人人說他發癡，徒然吃苦，但他仍不停頓，掘了七十呎深。1859年八月，有一日忽然有深黑的液體從管子中噴出來，繼續的噴出，裝了一桶，又一桶他們得到富裕的油泉了。

這種發見，人們將有怎樣的興奮呢？消息的傳布正和放野火一般的迅速。小小的泰塔斯維爾村莊，聚集了參觀的人，踏勘的人，他們都急切的想收買土地，任何價錢在所不顧，工程師生意人、取聯畜的人、造桶工人、設計學者、投機商人也都走來，於是他人也在開始鑽井了。大號起重機好像過了一夜就架起來了，每天能出油幾千加侖的油井，不久也掘成了。現在不妨事了，就是各種鯨魚都絕種，有了石油，也就不足怕了。

從這時起，石油業便成爲美國最重要的一種工業。在沒有得到正當的化鍊法以前，石油的浪費確可驚人。在能夠造成大油池以前，千萬加侖的石油，都在地上走失了。比這種情形

還要惡劣的，便是可怕的爆炸和大火的糜爛，有時油礦着了火，這會燒了幾個星期之後，還有火焰噴入空中高到一百呎的。不得不想方法處置它了，處理的方法，便是煉油。把油放在大鍋中加熱，將各種氣體驅走，其中有一種氣體，後來冷凝成爲汽油，汽油現在已經成爲一種重要的燃料，沒有汽油，我們便沒有汽車，也沒有汽船，更不會有飛機了。石油在幾種氣體走掉以後，成爲一種液體，就是不會爆炸的火油。最後積在鍋底裏的是重油，不能燃燒，但是用作滑潤油，却是很好的。油井和煉油廠，在俄海俄，因提安那和西弗基尼阿都開設起來，其後美國西部和墨西哥也找得很大的油礦。

在發見石油的前幾年，又發見了製造燈芯的新方法。把燈芯或燭芯浸在一種鹽類溶液以後，便能和燭油一樣慢慢兒燃燒，從前的燭剪，只徒束之高閣了。高閣上非祇有了燭剪，即是它的同伴取火匣也早已在那兒了。

取火匣取消以後，就由火柴走來代替它的職務。我們擦一根火柴總覺十分容易，而且一匣中又放了那麼多，我們決不會想到沒有火柴的人，將有怎樣的困苦。我們想到了老式取火匣的笨拙，那時的人民，聽到了火柴的發明，將有怎樣的興奮呢？那時的火柴和我們現在用的相差不多，一根細木條，頭上裝着硫黃。這是不可以擦的，只可把它浸到磷裏，纔得燃燒。1830年纔有第一次的摩擦火柴行世。這是在野蠻人的鑽木取火和希臘

人的太陽燈取火以後，人人所希望的簡便取火法。只要把那小木條一擦，就立刻得到火光。不久這種火柴便變得很多，價錢也很便宜，在各家的主婦們上，好像釋了重負。

在這個時候，世界上不會再黑暗了，那是很明白的。要有充分的光亮，已成為城市的習尚。但是前進的人民，對於那時所有的光亮，還不能十分滿意。他們需要一種放光制度，還要亮，還要安全，還要容易管理。他們都耐心的聽着世界上的好消息，能否有絕對新式的照亮方法發明出來。我們以後就要研究絕對新式的發光方法了。讀者或已猜得是什麼東西了，是的，是電！用電點路燈，是現在最進步的方式，將來有否更好的方法，須待大家努力了。

第二十章 電燈的發明

製造電光，實在沒有很長的故事，雖然電光的起端，可以回溯過去幾百年，可是那時候的學生和科學家，對於這種奇異的電力，不過學得一些些。他們發見電的許多特性，但是把他們的知識合併起來，還是微乎其微；除去哲學家外，也沒有人夢想到電可以應用的。

到了十九世紀纔有奇異的發展。正在戰無不勝的拿破崙把意大利收歸他領土的時候，有個新羅民做奇巴丟阿（Pada）大學的青年教授，證明電可用化學的方法來產生。這位青年把自己的設計獻給拿王看，但他沒有想到這纔是控制全世界一種動力的開端。

這位青年科學家就是伏打（Allessandro Volta）。他所做的是排列一組容器。每容器內放有鹽類或酸類的溶液，再把一塊銅片和一塊鋅片插在裏面，不令互相接觸。他先用銅線把這個容器的鋅片和次列容器的銅片一一接連起來。這樣一組的容器亦就是電池，祇賸着兩端的鋅片和又一端的銅片沒有連接了。當他把兩端各接銅線，再把銅線接觸起來，就發生一個火花，證明

有電流通過它們了。這種現象是由酸類和金屬所起的化學作用而生。全組電池，便叫連組電池。這個發明引起了世上各科學家的興奮。在那時以前，電流只有用笨拙而麻煩的摩擦機來發生，用電池來生電流從沒有人想到過。

第一個應用這個新法發電的，就是後來發明安全燈的得維。他製成一連組電池，含有二千片的銅片和鋅片。這是1802年的事情。此後七年，他便造成了第一次的電光。他把他的連組電池，兩端用銅線連接在兩個碳棒上，兩碳棒幾乎接觸而不真正碰着。當電流通過碳棒時，它們變成白熱，中間掛着一條燦爛的弧光。這個弧光形成的理由，不僅是碳棒予電流有極大的阻擋，空氣在中間也有幫忙，當電流要跳過空氣間隙，使碳棒白熱生光，就非生出許多熱來不可。

另有兩個發見，雖少動人，但也比較重要。1820年法國人安培 (André Marie Ampère)，發見電流在捲線中流動，能使捲線生出磁極。五年後巴未利亞人歐姆 (Georg Simon Ohm) 研究得測量電流強弱的方法。歐姆定律對於研究電學者的重要，正像九九表對於研究數學者一樣，不能或忘的。

再次就要提到法拉第 (Michael Faraday)，他把電促進了實用。法拉第是英國的化學家，在皇家學院裏做得維爵士的助手。他所證明的，便是一捲線在磁石的周圍運動，線上就能發生電流。這是產生電的新方法，叫做感應。許多科學家立刻在這

方面努力研究，不久他們就造成一架奇特的機器，叫做發電機 (dynamo)。

如果要把電成爲有用的工力，就非要有大量而價廉的生產不可，法拉第工作的重要，於此可見一斑了。連組電池也是十分重要的，沒有連組電池，我們便不會有電報和電話了。在各種小工事上，我們還始終需要的。例如汽車上的電燈，就是用的電池。這種燈光，只有極小的電流，假使需用大量的電流，一只小電池決不是用，要用那像得維所用的大電池，普通應用又太費。因此必定要想出其他的方法來發電，纔能得到大量的電力，俾作奇特的工事像今日工廠中所具備的那樣。

發電機就給予我們這種電力。發電機是怎樣的東西呢？它是一架極複雜的機器，但是它的原理卻不難說得。讓我們先來研究那磁鐵礦做成的馬蹄鐵的玩具。我們把馬蹄鐵放在一堆小釘上，小釘便跳起來黏住了馬蹄鐵，而且小釘還能互相黏住。這是因爲小釘受馬蹄鐵磁化的緣故。發電機就包含比我們這玩具不知強幾千萬倍的磁石，和一個電樞 (armature)。電樞就是軟鐵做的圓筒，用線圈捲成特別的形式，當這個圓筒在磁場中急急旋轉的時候，電流便繞電線而流動，再使電流經過接電器 (collector) 或換向器 (commutator) 準備作工好了。

自然電樞的圓筒必定要聯繫着動力，方能使它旋轉。法拉第做成這種試驗時，蒸汽機早已發明了。用一架駐立蒸汽機

(stationary steam engine), 就能使發電機旋轉。瀑布的能也可被應用為動力, 正像用來轉動舊式的水車輪一樣。在最近的百年內, 蒸汽力和瀑布力之間, 卻有極大的爭競, 要試出用那一種力比較的好。在能造成強力的發電機以前, 經過了許多年數的試驗, 法拉第終於撒手歸天, 把這偉大的事業留給後人去完成了。

同時得維爵士已經證明電可用來點燈, 全世界的科學家也都開始研究製造實用的電光。法國人和英國人試驗着各式各樣的燈頭和燈泡。1858年倫敦韋斯敏斯德橋 (Westminster Bridge) 曾用電光亮了一時, 1863年英國海岸燈塔中放置了弧光。其後不久, 巴黎的林蔭公路也有哲勃魯克夫 (Paul Jablochhoff) 做的電燭, 用交流電發光, 把公路照得分外光耀。在美國也有韋爾斯 (William Wallace)、法爾麥 (Mores Farmer) 教授、韋斯丹 (Edward Weston) 和布拉什 (Charles F. Brush) 等人盡力操作, 想要得到電光。1876年費城開的百年博覽會就有一部分用電來照明的, 次年就有用弧光作路燈了。

各方雖都在進行, 但是整個的問題還不能完全解決, 因為發出的光不能穩定不變, 而且所費又貴。弧光用的碳條會噴出消耗, 電流不強, 制度也有極壞的缺點, 因為所有的燈都在一條電路上, 如果要把一盞燈熄滅, 就全數的燈都要熄滅。這在路燈方面, 並不是怎樣的壞事, 可是在家庭之中, 就不合用了。試想

我們要在臥室內亮一盞燈，必須把全家的燈一起亮着，那是怎樣的無謂呢！再進一步的想，如果用了這種制度，那麼全城中各家人家的各盞燈都要同時放亮同時滅，那是怎樣的不便呢！電燈的起初，就是這種情形，那時要達到實用的程度科學家所欲做的工作還多哩。

在費城開過博覽會不過三年的光景，這個巨大的工作雖不可說完成，但至少也可說是近於完善的地步。這時造成的燈既實用又光亮，又價廉，每盞燈可以自由開亮關熄，不再牽掣別盞燈，又造成一架強烈的發電機來供給電流，用中央發電制來完成發光系統。這是一件美國發明家給予世界的三重偉大的禮物。他是個天才，在近代城市中，他把電光沿路的裝到各家亮着。世界上各兒童各女孩都知道這位善於利用科學的大偉人——愛迪生 (Thomas A. Edison)。

啊！他是怎樣的兒童呀！他在十歲的時候，在密西干 (Michigan) 波特休倫 (Port Huron) 的家裏，就開始化學試驗了。他的地窖裏，常常藏滿了瓶子、酸類、金屬碎片和自製的電池。他就應用這些東西，來證明他從化學書上讀到的事實。因為愛迪生不是一個強健的兒童，所以在家裏由他母親教讀，但是他用了自學方法，所得到的科學知識比了那時成人所有的科學知識還要多些。他在十二歲的時候，就在往來於波特休倫和得拉得 (Detroit) 之間的火車上賣報，就開始他以後成為美國偉人的事。

業了，他把賺到的錢，給了母親一些以外，其餘一概用來購買化學物品，在火車中的行李車上設立了小小的實驗室。

後來有一次火車稍側，把一條磷跌到地板上，着了火把火車燒將起來。管理員適在此時進來叫人便把火迅速的撲滅了，但是那管理員十分忿怒，竟用盡氣力，把愛迪生打了一個劇烈的耳光，使他舉生成爲聾子。火車到下一站停了，這兒童所有的一切寶貴材料，都給管理員丟出去，並警告他以後不許再在車上賣報。

有一天波特休倫車站站長的兒子，正在側線軌道上玩耍，忽然有幾輛貨車從前面衝來，眼看就要滑倒。愛迪生恰巧走在那裏，就跳向前去，攔出小孩，得免遇害。站長感謝愛迪生的恩惠，無以爲報，願教愛迪生學電報，從此直到二十一歲，愛迪生在美國各地都當着精敏的電報員。在他的閒暇時候，他仍孜孜不倦的試驗與學習，對於法拉第的感應試驗，又非常感爲興趣。

1871年紐約銀行街金融恐慌的時候，證券交易所擠滿着人，人聲真如鼎沸，投機商人在那幾天內發大財蝕大本的都有。在金融恐慌高浪中，指示金融價格的機器忽然爆裂跌下來了。愛迪生用了他不要休息的好奇心，早已把那架機器考察過了，願意把它裝好，後來他又建議那機器的發明人許多改良的方法，並貢獻他一種發明，把銀行的市價，用電報印出來報告各交易所。

後來他又從事於證券受信器的改良，結果由標金證券電報公司買去。他自己告訴人家他事業的開端說：『在我做了許多發明品，得到專賣權以後，勒法斯 (Lefferts) 經理邀我到他的辦公室去，他對我說：“二年，我想購買你的發明品，你要賣多少錢呢？”我提起神思，計算我工作時所費的時間，所用的手續，我當索價五千元，但是沒有膽量說出這樣大的一個數目，我只好回答說：“好，假使你總經理代我索價呢？”於是他回答說：“四萬元可合意嗎？”這使我失了神志，我恐怕他會聽得我的心跳。我設法鎮靜的說出：“我以為這是公平的。”』

不久愛迪生便在新澤西 (New Jersey) 門隆園 (Menlo Park) 造成他著名的工廠來了。在那兒，他製造電報上幾種重要的改良品，又發明奇特的儀器，用旋轉的小圓片攝取人聲，甚至最複雜的合奏音樂，也能攝取，攝取之後，再把它重新放出聲來，這便是所謂留聲機，這樣一來，這位青年人，便全世界聞名了。以後他就專心一意的研究發展電光，務使電光既可家用，又可照路。

惟有能像愛迪生那樣，的辛勤工作，方纔可以在那樣短時間內成功。愛迪生的廠內有離奇的實驗室，其中各種的機械設計以及各種化學物品，無不具備，他同了一百位精明的職員在那兒認真的工作，他們往往工作到天亮，夜半供給夾肉麵包，每人只有一個鐘點可以抽出來談話唱歌，完了就再工作。愛迪生

往往日夜工作，只有隨時在實驗桌上躺臥半小時，就靠休息。

愛迪生起初在他腦筋裏面的電光制度，就和我們現在所有的一樣，試把室內的電燈泡旋下來：觀察裏面頭髮絲樣的細線，通過了電流，它就變成自然發光，它所以能成白熱的，乃是因為它的質料有極強的阻力，抵抗電流，又能繼續的抵抗，不受鎔化。在愛迪生起初研究這個問題時，他從沒想到我們現在所用的那種電燈絲。不過愛迪生起初就很正確的知道電燈要靠三件東西做成了，纔能實用：(1)要有一種對於電流有高阻力的線或絲，(2)要有一個可以放光的真空，或沒有空氣的所在，(3)要有一個玻璃球來把線裝在裏面，同時又能把裏面的空氣抽去。

玻璃工廠可以供給他玻璃球，又有抽氣機可把玻璃球抽成真空。所以他主要的問題則在燈絲，他需要一種絲可用極小的電流來燃燒，由此可以價廉，人人能買得起。那時的弧光燈所費電流很多，如果要點亮半哩見方城市的各路燈，就要費一萬萬元。愛迪生經過幾百種物質的試驗，最後是用縫線造成的絲，塗上很厚的炭質。

一天晚上，他把這種絲裝入一真空玻璃球內，接上電線，預備試驗。實驗室裏的人一個個圍着來看，愛迪生於是旋開電流。這是1879年十月二十一日的事情。愛迪生被這意外動人的一霎那情形說：「我們坐下來看看，電燈繼續的亮着，亮的時間愈久，我們愈覺得迷惑，沒有一個人願意走到床上去睡覺，在電

燈亮着的四十個鐘點以內，我們沒有一個人睡的。】於是大家都知是愛迪生做成電燈了。那是個莊嚴的勝利！白熱電燈成功了。

他隨即製造了許多電燈，裝置起來照亮了他的實驗室，他們廠屋門祿閣的四周也都點着電燈。紐約的報知新聞刊出了這奇事的長篇故事，人人都要走來看，爲了這個盛大的展覽會，路局方面還開了專車，1879年的除夕，竟有三千以上的人不煩跋涉的走來參觀。

要知道這發明爲什麼這樣令人驚奇，我們便不得不先研究愛迪生在旋亮門祿電燈以前所做的事情了。像我們前面所說的，那時所用的燈都裝在一條或一組的電線上，所以要亮一盞燈，就要把全體的燈都旋亮的。要各燈都能隨意控制，各家各戶的燈要能單獨發亮，愛迪生便不能不創造一種新式的電線或開關制度，就是裝置的方法，也要自出心裁的。他又設計新式的發電機，供給價廉而量足的電流。

但是要完成紐約第一段電燈工程，還仍有幾點困難。電線不包橡皮，諸多危險，不得不想個絕緣方法，於是把電線埋在街道下面。又如怎樣修理，怎樣接通到房屋裏去，都是愛迪生所要解決的問題。他又不能不預備計量電流的儀器，量計各家用電的多少，從中心站發電機發生的電流通到各家去，中途遭了許多損失，愛迪生更不能不設法把它收復的。他把這些困難部分都解決了，於是設立工廠，爲訓練一班實用電學家起見，他又設

立學校。啊！他的工作怎樣努力啊！在街道的溝渠中常常可以見到這位受全世界愛戴的人，在那兒指導工人工作。當他工作得太疲乏了的時候，他會走到真珠街 (Pearl Street) 的中心站，把上衣鋪在鐵管子上，躺在上面睡一會的。

愛迪生雖然把所有的時間，都費在發展他的新計畫上面，可是在又一方面，他又不能不費些時間和精力來使人民相信他的工作是實用的。是必要的。我們還記得第一次應用煤氣燈所發生的情形罷。在電燈開始的時候，也達到同樣的爭論。煤氣公司深恐他們的事業要消滅，對這新敵人竭力挑戰。還有許多人說電光決不能工作的。由此我們可以知道，就是最重要的發明，爲了要抵抗許多無謂的反對，不能不極緩的進行，但是末了總是勝利的。

但是愛迪生對於他的第一盞燈也不能心滿意足的，他繼續試驗，要想尋得較好的燈絲。有一時他想到竹絲或許會成功他的事業，於是派了許多人到全世界各地去採取竹的樣品，拿回來應用，耗費了十萬元。派出去的人，得到許多驚人的成績。愛迪生利用竹絲來做燈絲，也有好多年效，後來有了更好的材料，便把竹絲放棄了。那是兩個英國人發明的，是一種纖維素的物質。從此便有大電燈公司的設立。但是燈絲還不能算完善，再經過幾次的改革以後，纔成爲我們現在所用的燈絲。我們現在所用的燈絲是鎢絲，比愛迪生第一盞燈可亮二倍，價錢只有六分。

之一。

愛迪生的白熱電燈第一次裝在船上，聽了也很有趣的。

1880年哥倫比亞輪船自頭至尾都裝着電燈，愛迪生爲了那輪船還製造了特別發電機。次年紐約城內一所公署也裝起電燈。再次年，倫敦，荷蓬末阿特克脫（Holburn Viaduct）設立第一所中央發電廠。幾個星期以後，紐約的黃珠街，也開始建築中央發電所起來。從此白熱電燈便暢行全世界了。1881年巴黎大開博覽會，愛迪生費了幾個月的功夫，造了一架發電機送去，就引起大家的注目。把發電機直接連着他自己的引擎，能發生可供二百盞電燈的電流。人人以爲這架發電機是科學世界上的第一件奇物。

假使我們要研究電燈爲什麼受人驚異的理由，我們只要把有電燈和無電燈的世界兩相比較就明白了。電燈和蠟燭油燈不同，不要氧氣助燃，也不發生多大的熱，所以電燈不會弄得房間氣悶煩熱。電燈光又無煙。又不受搖動。燈泡也不用天天洗拭。掛在室內，不致倒翻。房內如果點了油燈，我們便不敢留頑皮好玩的小兒獨自在那裏了。好玩的小童或許會把油燈打翻，惹起火來，把房屋燒毀。現在我們儘可讓電燈光去作小孩的看護，小孩可得安全而愉快。電燈又多麼便利。把紐一按就發光。

輪船、工廠、汽車、飛機、鐵路、火車、醫院、機關和街道，無一處不可用電燈取光。如果沒有電光，我們便沒有活動影戲，也

沒有紅綠的廣告燈照耀街市了。用電光複製太陽光，可以治療許多的小兒病。船上和燈塔上裝了大的電光探海燈，夜間就減少了水手和旅客的恐怖。

的確電燈已把世界弄得和從前大不相同了。在地球表面，不論走到西兒，從格林到非洲三個開化的城市，都有電燈桿木堅立着。但電燈發明到現在還不到五十多年的事情。

試想在我們祖父的兒童時代，取光多麼麻煩，而我們現在的取光，又多麼便利，但是火柴，火油，電燈，煤氣燈都是外國人創製的，不到五十年的功夫，竟走到我們的窮鄉僻壤裏來，每日所需的燈光，要靠由外國運來的火油供給，這不是本位文化所能抵制的啊！

第二十一章 發光塗料

夜明表夜間能放光，這是大家知道的事實，為什麼會發光呢？大家也知道是上面塗了什麼發光的塗料。其實這種塗料，不單可以塗在表上，就是門窗牆壁和用具，也都可塗上塗料發光的。

礦物性的發光物質，極普遍的自然是黃磷，它能在黑暗處發特別的綠光，就是俗說的鬼火，也可溶解於油類或其他液體中，賦予那溶劑以磷光。不過磷很毒且易燃燒，所以使用時必須注意。做發光塗料，不能用磷做材料，因為磷的光，只是由磷的漸漸氧化而生，等到磷變成氧化物後，就不發光了。

最好的發光塗料，是混有微量鎘化合物的硫化鋅。鎘化合物內的電子射出後，衝擊着硫化鋅，即使硫化鋅發生亮光，含鎘的硫化鋅能永久發光，而是自己發光，不和其他發光物一樣，必須隔若干時間曝露於強光中激發一次才能發光的。不過鎘化合物的價格太貴，這種發光物的製造，決非普通實驗者所敢嘗試。

硫化鈣和硫化鋇也是很好的發光物，不過這些發光物必須在日光或人造的強光中曬過，方能發光，而且必須隔一定的時

間再曬一次纔行。

發光塗料的發光，就是呈磷光的現象。鈣、鋇、或鐳的硫化物，若含有微量的重金屬，都能發生磷光。所謂重金屬，普通是採用錫、錳、鎳、鉍、銅、鈾等鹽類。製時另加鎳、鈉、鉀等類作為溶劑。發光塗料製成後，可置於日光中曝曬若干時，使生效力。發光塗料所發的光，依所用藥品而不同，有紅、綠、黃、藍、紫等色。

現在略述塗料的製法，以供讀者試驗

把牡蠣殼加熱使成白色後，放到一個舊洋鐵罐中，用兩倍於牡蠣殼的硫混合進去，再繼續加熱，使牡蠣殼達赤熱程度，保持這個溫度達數小時，然後將製成物取出曝曬於強烈的光線之下它就可成為發光的東西。

製造發光硫化鈣的最好方法，是把一百分的白堊（或石灰石，甚至普通的石灰亦可）和十分的硫磺混合後，再加入一撮的黑色二氧化錳和一撮的磷酸鋇。徹底的把它們勻和，放到一個舊洋鐵罐內去。罐上加了很緊的蓋子，然後放到廚灶或火爐的強烈的火焰上去，加熱幾小時。

加熱如係進行適當，那麼結局的物質必呈微灰色。把這物質研細，貯於瓶中，將瓶緊塞。將此種粉末曝曬於強烈光線中經相當的時間後，置於暗處能發紫光。瓶內如果滲入潮溼空氣，發光性必致漸減。

若用 100 分的炭酸鋇，100 分的硫，混合以食鹽、氯化鉀

(或庚甲)和二氧化錳各半份，依照前法加熱，也可得到一種放散白色的發光物質。

若在等量的生石灰和硫中，混合以微量的澱粉、碳酸錳、食鹽、硝石和(或)重碳酸鉀等，依照前法加熱，又可得到一種放光物質，能放紫光。

上面那些混合物，發光的顏色和強度，係由混合物中所含少量的雜質(如錳、鉀、鈉等化合物)的性質和多少而決定，這是頗為奇異有趣的事情。

上面所說的一切發光物質，都可以製成塗料；只須把它研至極細並篩過後，調入清澈的假漆中就可。假漆以用酒精假漆為佳。纖維素漆亦可用，但漆中絕對不可含鉛，因為只要有極少量的鉛，就可使發光塗料失去效力。

發光塗料製成以後，任何處所都可塗上，用毛筆蘸了，可以在鐘表的指針和數字上、門牌號數、招租廣告、鑰匙孔、車輛照會等等，到了夜間，可以不用光照，它自己能發光，引人注目了。不過這種塗料不能永久發光，日久便要失去效用，所以應用的還不普遍。

可從化學品發光的方法還有許多，不過大多是一般人所不知道的。例如把酒石酸鈉鉀的濃溶液在暗處煮沸，當濃度達到某種程度時，它會放出無數很小的冷光點。又如我們把氫石(即氫化鈣)研細後，撒至熱的火鏟或鐵片上，氫石即放很亮的光。

有時甚至把一塊普通的糖在培養分碎，也可放出閃光。這些發光的原因，尚完全不明，不過是屬於化學性質不屬於電性，那是可以斷言的。

最近發明一種製造發光物質的方法，可以大量生產，供給利用了。所用的主要物質，名為 Ortho-aminophthalic cyclic hydrazide。這種物質半克溶解在 50 cc. 的苛性鈉溶液（百分之五）中，再在此溶液中加入二氯化二鐵約五滴。若把這樣製成的溶液滴入用苛性鈉製成性的鐵氰化鉀（Potassium ferricyanide）濃溶液內，則每滴入一滴，即有很鮮明的一閃冷光放出，光的強度，竟可將暗室內的其他物體照明，甚至把這兩種溶液的極稀薄溶液相混合，也能產生像珍珠樣的紫白色微光。Ortho-aminophthalic cyclic hydrazide 可說是人造發冷光物質中最特色的。它的性質自然和生物體內的發光基和發光觸媒迥然不同，用作化學表演，卻極適當。