

萬有文庫

第二集七種

王雲五主編

光的世界

(四)

布格拉著

陳嶽生譯

商務印書館發行

光 的 世 界

(四)

著 格 拉 布
譯 生 愷 陳

書 叢 小 學 科 然 自

編主五雲王
庫文有萬
種百七集二第

光 的 世 界
四 冊

The Universe of Light

究必印翻有所權版

中華民國二十五年九月初版

◆ D 六六五

嚴

原 著 者

W. H. Bragg

譯 述 者

陳 嶽 生

發 行 人

王 雲 五

上海河南路

印 刷 所

商 務 印 書 館

上海河南路

發 行 所

商 務 印 書 館

上海及各埠

(本書校對者陳敬衡)

萬有文庫

第二集七百種

總編纂者

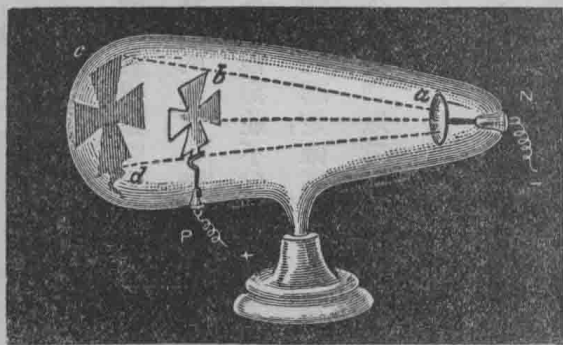
王雲五

商務印書館發行

第八章 倫琴射線

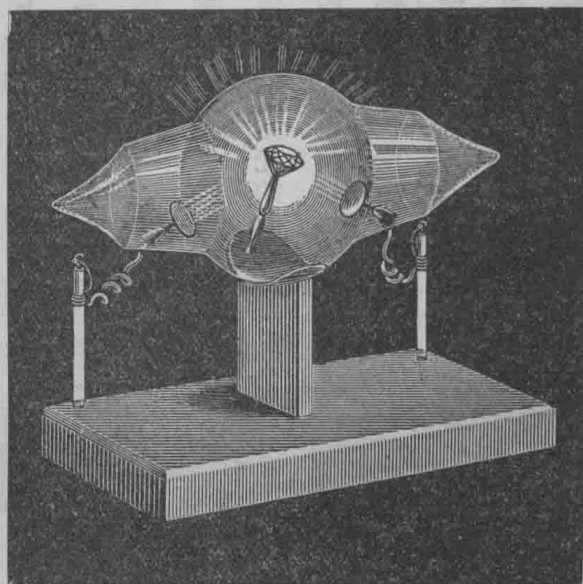
倫琴發見一種新輻射，時在一八九五年，當時因為它的本性，很難斷定，所以倫琴就叫它做X射線。它與已知各種輻射間的關係，立刻變成了研究得最熱心的題目。倫琴在發見X射線之後，隔了不多幾個星期，他就定出這種射線的特性來，至於它的本性，他卻並不知道。直到一九一二年，當勞厄證明了X射線與平常的光一樣，也能够被繞射之後，纔經人認定，確係一種波長極短的以太波。勞厄的繞射光柵，是用晶體做的，他的實驗方法，我們不久就要加以考察。所以X射線在本性方面，與光完全相同，但是在品性方面，卻與光大相懸殊：這一種事態，對於我們擴充這種輻射的一般知識，非常有利。它還有特殊的趣味，因為研究這種短波，可以顯示我們的波動說，雖然在我們所已應用的各方面，證實不虛，卻還沒有完全：舊時的波動說，不能够把為數極多的新事實，一齊吸收進去。有一個範圍更廣大的系統，正在自行漸漸形成，這樣一來，所發生的情況，就有最大的興趣了。

X射線的發生，通常總是含有壓力極低的空氣或其他氣體的空間之內，有電花通過或起放電作用的結果，電花成爲有趣味研究的目標，已歷數百年，但是一向沒有什麼大進步，直等到使放電一事，發生於玻璃管或玻璃球內，而管與球中的空氣，多少是完全抽去了的，纔發見種種新奇現象。當管中壓力減低的時候，電花愈變愈長，愈變愈闊，而且顏色更爲明顯。當克魯克斯 (Crookes) 把空氣唧筒加以改良，使玻璃管中的氣壓，可以減低到大氣壓力的百萬分之幾的時候，就有一種現象發生，此現象以前顯然未曾察見過。陰極於此時變成一種輻射之源，此輻射依直線進行，穿過玻管，而且有力學的效應。當此輻射達於對面的管壁，或任何障礙其進行的物體時，就可發出熱來：它可以激發玻璃與許多礦物的螢光：假使它打在風車的葉子板上，就可使該風車轉動。



(圖九十六) 陰極在 a 的右側。射線在管中直進，而激起對面壁上的螢光。金屬十字形 b，在壁上投一界限分明的影子。

而且它還有一種最重要性質，即此輻射流，可用磁鐵移近它而使它偏向。這是異常重要的觀察，因為由此可以領悟，這種輻射流是疾飛的帶電質點所構成。此種輻射流，同於電流，所以容易受磁石的感動。克魯克斯的實驗，可用圖九十六、九十七、九十八、九十九來說明。這些圖的版子，都是克魯克斯於一八七九年四月在皇家學院的演講稿，印刷時所用的原圖。克魯克斯相信這輻射流，是某種分子而構成的。他爭着說，他的空氣唧筒已到很完備的地步，所以祇有比較少數的分子，留在管內，這些分子可以在管內移動，其所移的距離，可與管的長度相比擬，而彼此並不會碰撞。他又說，這種情形與氣

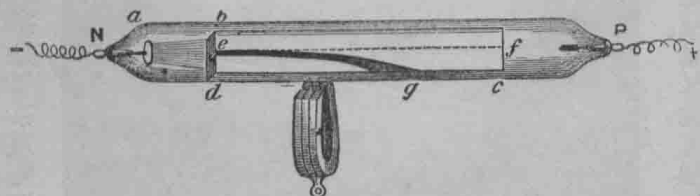


(圖九十七) 真空管中央，裝有金鋼石一枚，受射線的激勵，而發活躍的螢光。

體的差別，猶如氣體與液體之不同，他就在這一年（一八七九），又替皇家學院做了一篇論文，在這論文的末尾，預測這陰極射線的前途，爲文雖然暗昧，措辭卻頗有趣味，而且他的預測，後來有一部分可以應驗。現在把他所說的話，摘錄於下：

「這些真空管裏面的現象，對於物理學顯露了一片新境界，在這新境界中，物質呈其第四狀態而存在，此處可以適用光的微塵說，此處的光，並不常依直線進行；但是這境界裏面，我們卻永遠走不進去，我們祇能够在它的外面觀察，在它的外面做實驗，而自以爲滿足。」

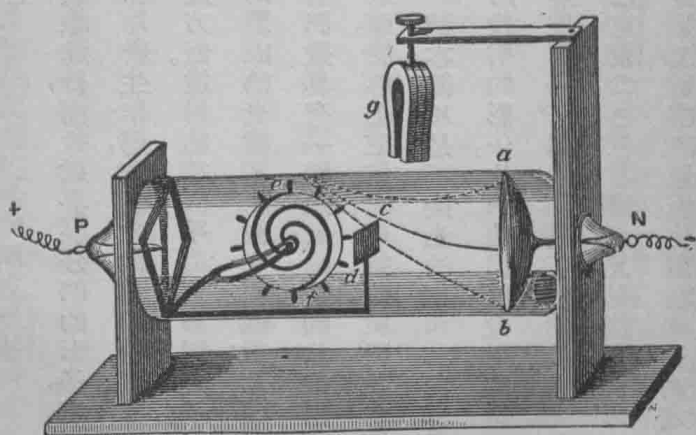
湯姆遜 (J. J. Thomson)、魏孝脫 (Wiechert)，以及其他諸人，都曾表示過，這種輻射流是帶有陰電的質點所組成，而且又表示過，這些質點，比氫原子更小得多。「電子」的名詞，就給與它們。那時他們似乎覺得，假使用感應圈或其他電機，生出必需的功率，而把充分的電力，加



(圖九十八) 在 a 處的陰極前方，置一隙縫，使陰極射線通過此隙縫，成爲一狹小的射線束。於是用蹄形磁鐵使此射線偏向，就容易觀察了。

於任何種原子上，就可以硬使電子脫離該原子；他們還覺得，從一切原子出來的電子，都是完全相同。於是電子這樣東西，顯然變了物質的基本成分了。這種電子流，就叫它做陰極射線，因為它是從陰極發射出來的。

倫琴就是在正當研究陰極射線各現象的時候，發見了近處的照相乾片，雖然決沒有被光照射，而竟變得模糊了。他把這變端的原因，探索一下，就發見有一種輻射，從他實驗用的玻璃球發出，而且特從陰極射線打在玻璃壁上的地方發出；於是他就對



(圖九十九) 陰極 a ，做成一隻茶托的形狀；這樣的陰極，覺得它有把各射線集中於一點的效應。有一塊 c 板，遮住了這些射線，但是磁鐵 g ，使它們偏向，恰能從 c 板的上方過去，而擊在小風車 $e f$ 的葉子板上，這風車於是就很快的轉動起來。假使把磁石的地位顛倒一下，這射線就在 c 板的下方經過，而風車也依反對方向旋轉。

於這種偶然發見的射線，着手考察它的特性。

在許多地方，這射線與光相似。它們依直線進行，而投射界限分明的影子，它們在空間內遊歷，並沒有明顯的物質的遷移，它們對於照相乾片發生作用，它們激勵若干物質，發生螢光，而且它們與紫外光一樣，也能够使導電放電。在另外幾方面。這射線卻似乎與光不同。鏡子、稜鏡以及透鏡，都可使光偏向，但是對於X射線，用平常的方法製成的光柵，不能使它們繞射；晶體的作用，既不發生雙折射現象，也不產生偏極化的現象。此外，它們還具有一種透射物質的非常本領。雖然各種東西，多少總有一些吸收本領，卻似乎沒有一種東西，能够把它們完全擋住：就吸收本領而論，重的原子，效應大於輕的原子。因此，立刻使我們多了一種本領，凡是不透光的東西，其內部的組織情形，就可以藉這X射線的功用，直接窺見：例如骨頭所投射的影子，比四旁肉所投射的影子，來得深一些。

假使可以證明，X射線的速度，同於光速度而一無問題，那麼它們的彼此完全相同，就早已確定了。但是此種實驗雖有人試過，卻是太難了。巴克拉（Barkla）表示X射線束，可以使它發生偏極化，祇要把它們發源的環境，適當地布置一下，但是X射線的偏極化，卻在有些地方，與光的偏極化不

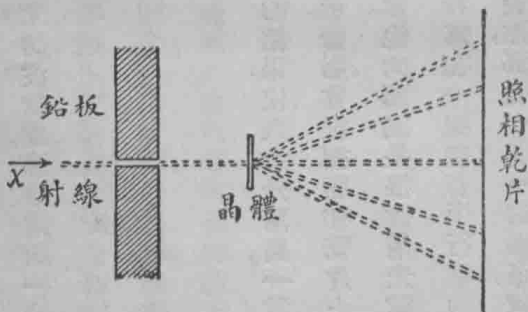
同。等到勞厄的實驗成功，證明了X射線，也可以使它繞射，而且這繞射作用，與光的繞射作用處處相同之後，此疑始釋：假使我們可以倚靠這繞射現象，以證明光的波動說，那麼這同一證據，剛剛又可以維持X射線的波動說了。

勞厄的實驗

現在讓我們把勞厄的著名實驗，細細考究一下，這實驗的結果，使人十分驚異。一道細小的X射線束，通過一塊晶體，而照在一塊照相乾片上，如圖一百所示。勞厄曾推測照相乾片上所發現的，除因射線束的入射而生的主要之像以外，或許還有其他副像。他的預測，是根據用光試驗時所得的同類效應，這種效應，我們在前面已經說過了。一列以太波，若落在一塊劃有平行槽的板上，或通過這塊板，或通過一層大氣，大氣之中懸浮着大小一致的細質點，那麼「能」的傳布，就起有規則的偏向，所偏方向各各不同，而成爲「繞射」波束。這種效應的例子，我們已經遇到幾個，並且已把它們考究過。就這一類的所有各種情形而論，波的長度與槽的間隔或質點的直徑，彼此間的相差，

決不能十分大。勞厄以爲從前就X射線找尋繞射現象，其所以屢次失敗，或許因爲沒有注意到這一個條件之故。他有若干理由，相信X射線的波長，比光的波長要小幾千倍，如果所料不錯，那麼用尋常的光柵，照尋常的方法，來觀察X射線的繞射效應，當然是無用了。所以若有人要做這種實驗，他就應當採用一種光柵，其條紋的間隔，比平常的光柵，緊密幾千倍。這在實際上是辦不到的事情：決沒有一個人，能够在一英寸之中，畫上好幾百萬條的平行線。

然而大自然卻已替我們預備了一種工具，這種工具，我們人類的工場裏面，萬不能製造，這本是可能的事情。晶體或許是適用於X射線的光柵，因爲我們會假定它的原子，都依一定的規則而排列，其彼此相隔的距離，就可以計算的而論，與X射線的波長，屬於同級。不問這些預料，其根據是否可靠，當勞厄的同事們弗律特理恩(Fried-



(圖一百) X射線穿過鉛板上的小孔，衝擊圖中所示的晶體。勞厄的繞射圖案，就在照相乾片上出現。

rich) 與晶彬 (Knipring) 在一九一二年做這實驗，完全成功的時候，這些預料就都變成無足重輕了。照相乾片上所現的，是許多點子的複雜圖案，但是成功對稱，這圖案雖然與光的繞射作用所產生的，有些不同，其本性顯然無二。其時立刻又發見，凡是晶體，各有其自己的圖案，並且發見這種實驗，非但啓示了一個新的方法，可藉以研究X射線的本性，而且還使我們獲得一種新的工具，可用以分析晶體的結構。銅版圖二十二A與B，就是這些圖案的例子。它們可與銅版圖二十三C互相比擬。

爲了使這幾個主要之點，可以明瞭起見，必須把這實驗的詳細情形，以及它所牽涉的各事，拿來考察一番，而所說的話，當然不可過於冗長。關於晶體結構的現象，就冰洲石的例子而論，我們早已考察過幾種了；不過我們在此處卻宜把這個題目，重新再考究一下，並且討論得更普遍一些。

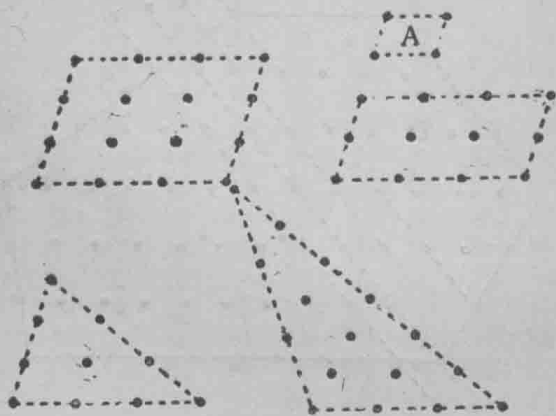
晶體所具最使人驚異的特徵，便是它的形式整齊，合乎規律，表面平滑光潔，稜角鋒銳分明。假使我們把成分相同的晶體，拿來比較一下，我們就覺得各面間所夾的角，從這一個晶體到那一個晶體，總是恰恰相同，絲毫無二；然而各表面的面積，其相對值的變化，卻可以有很大的範圍。用專門

的術語來說，種類相異的晶體，其表面可以有不相等的展開。我們當然要推測到下面這種情形，即晶體的結構，整齊不亂，總有基本的規則，以爲根據，其中包括空間內某單位的重複出現，而這種單位是太小了，無法可見。我們可取一塊織物，來做簡單的比喻；照通常的習慣，織物總是經緯交錯，互相垂直。我們若把這織物撕碎，不問如何撕法，所撕成的各片，它們的四角總歸都是直角；但是各片的形狀，卻未必一定是正方。經緯的排列，有兩個主要的方向，彼此交成直角；把織物撕開，一切撕痕，不是與這一個主方向垂直，便是與那一個主要方向垂直。假使這兩個方向，就其可加以考察的各項特性而論，完全相似，例如撕起來假使一樣容易，又如撕散的邊緣，各面若都相同，那麼經線與緯線，必定完全一樣；它們必由同數的維纖構成，而且有相等的間隔。我們可以很合理的說，這種織物是依據「正方」圖案織成的。即使經線與緯線，都不是簡單的線，而是複雜的線，例如各線若按一定的間隔，攙雜有色的線，情形仍舊是如此。祇要經與緯的重複組織相同，我們仍可以說這圖案是正方形；例如格子花呢，棋盤式花布等等都是。

晶體的結構，其種種複雜情況，要用織物的比喻來代表，當然不足以代表其一切；因爲織物的

經與緯彼此相交，除直角以外，決不能互相傾斜，交成任何角度的：但是這一個比喻，卻說明了下述的重要之點，即在任何結構之中，若此結構是空間內的重複作用所造成，那麼全體的角，必然是常常相同，而各表面的面積，其大小就沒有這種限制。角的形式，則視各方向內所重複的單位如何而定。例如在同一平面內的成分，假使有圖一百零一所示的小單位形式，那麼全體就可以有同圖內所示的種種形狀。其兩邊所夾的角，固然不必常與A的兩邊所夾者相同，但是每一種樣子，各有其不變的交角，這卻是必定如此的。

照樣，在晶狀的固體裏面，也可以把它的表面，展開為種種不同的形狀，這些表面，就其彼此所交成的角而論，都顯得具有同一固定的互相傾斜之

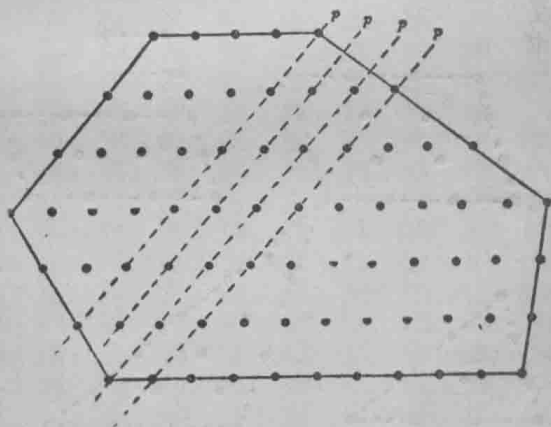


(圖一百零一) 平面圖案的單位，包括在大綱 A 之內。單位的集合，可以集成種種不同的形狀，圖中略舉數例以示。邊緣的互相傾斜，限於交成若干一定的角度。

度。假使晶體是由各單位所組成，而各單位在各方向內的重複，整齊一致，那麼一種情形應當在我們的意料之中；現在既然不出我們所料，事實竟與推想符合，那麼我們以前對於晶體結構所假定的概念，是不錯的了。

我們要問，當以太波列遇到這一種晶狀排列的時候，有什麼事情發生呢？

一個晶體，可以想像它是許多層的組織，接連堆積而成，各層の間隔都相等，好比在二次因次的平面裏邊，一組有規則的點的集團，可以想像它是幾行點子所組成，各行間的距離相等，又如圖一百零二所示，各行可依種種不同的方法排列，與前所舉簡單的例子一樣，所以任何一塊晶體，可以按無限多的方法，分成平行的各層。



(圖一百零二) 此圖中的各點，可依種種不同的方法，排列成行。

X射線繞射作用的問題，以逐步考究爲便：先考究一個單位的散射作用，然後考究一片單位的散射作用，於是再考究幾片單位層疊而成的整個晶體的散射作用。

晶體裏面的單位，是若干原子依一定的方法排列而成；其成分與排列，此晶體與彼晶體各不相同。當波列遇到了這單位的時候，其中的每個原子，都把波散射出來，而且可以看做一串向外傳布的球形波的中心。經過很短的距離之後，這些球形波互相融合起來，到末了祇有一個球形波，其中心在此單位以內的某一點。然而此等球形波，卻有一個奇特之處，即各方向內的強弱不等。取一個簡單的例子來說，設想此單位是兩個原子A與B所構成，彼此相隔的距離，等於波長的一半，如圖一百零三所示。外來的波，同時到達這兩個原子。由A與B所散射的波，一齊向外出發。在ABC方向之內，這兩個波系常常相反：這一波系的峯，恰巧嵌入那一波系的谷。所以在這一個方向之內，它們把彼此的效應都消滅掉。在反對方向BAD內，也有同樣的情形發生。但是在其他方向之內，就沒有如此完全的干涉作用：例如在標有字母P的箭頭所指方向之內，它們卻彼此多少互助一些，方向P與方向C或C'的偏差愈大，互助愈甚。在此種情形之下，被散射的波連合起來，就有一個球的形式，