

萬有文庫

第二集七百七種

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 嶺 陳

書 叢 小 學 科 然 自

中華民國二十五年九月初版

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

王雲五主編
萬有文庫
第二集七種
光的
世界
四冊
The Universe of Light
版權所有翻印必究

(本書校對者陳敬衡)

萬有文庫

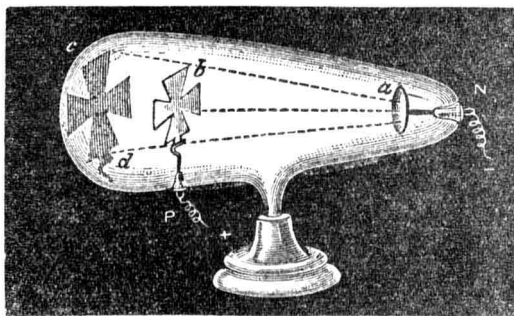
第二集七百種

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，電花成為有趣味研究的目標，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，而且顏色更為明顯。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，穿過玻璃管，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。

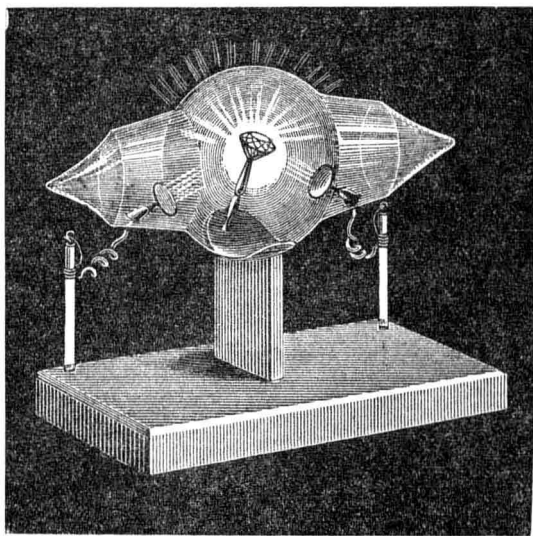


（圖九十六）陰極在 **a** 的右側。射線在管中直進，而激起對面壁上的螢光。金屬十字形 **b**，在壁上投一界限分明的影子。

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

爲由此可以領悟，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

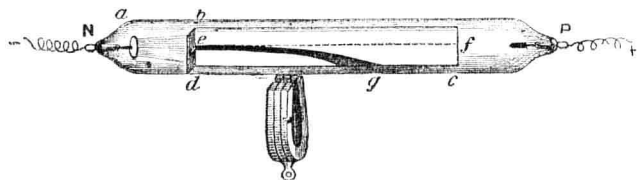


(圖九十七) 真空管中央，裝有金鋼石一枚，受射線的激勵，而發活躍的螢光。

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。」

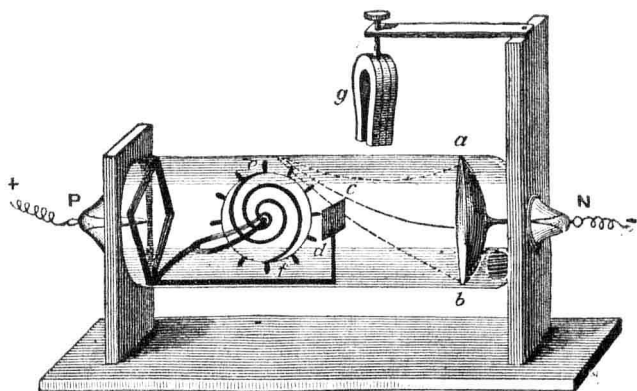
湯姆遜（J. J. Thomson）、魏孝脫（Wiechert），以及其他諸人，都曾表示過，這種輻射流是帶有陰電的質點所組成，而且又表示過，這些質點，比氫原子更小得多。「電子」的名詞，就給與它們。那時他們似乎覺得，假使用感應圈或其他電機，生出必需的功率，而把充分的電力，加



（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。

於任何種原子之上，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，同於光速而一無問題，那麼它們的彼此完全相同，就早已確定：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

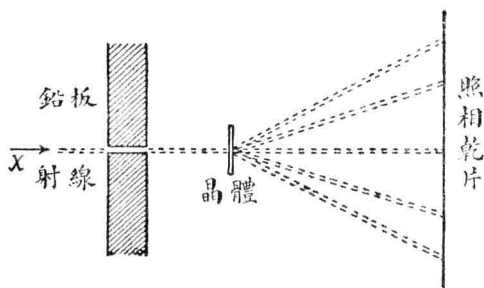
同。等到勞厄的實驗成功，證明了X射線，也可以使它繞射，而且這繞射作用，與光的繞射作用處處相同之後，此疑始釋：假使我們可以倚靠這繞射現象，以證明光的波動說，那麼這同一證據，剛剛又可以維持X射線的波動說了。

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，因爲我們曾假定它的原子，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奧（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 (Knipping), 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。

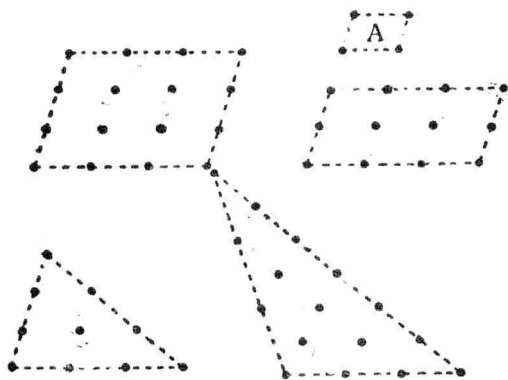
晶體所具最使人驚異的特徵, 便是它的形式整齊, 合乎規律, 表面平滑光潔, 稜角鋒銳分明。假使我們把成分相同的晶體, 拿來比較一下, 我們就覺得各面間所夾的角, 從這一個晶體到那一個晶體, 總是恰恰相同, 絲毫無二; 然而各表面的面積, 其相對值的變化, 卻可以有很大的範圍。用專門

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

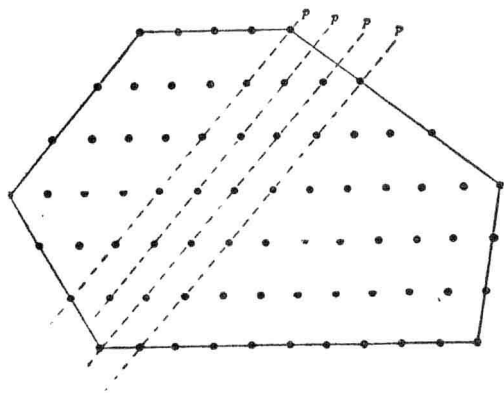


(圖一百零一) 平面圖案的單位，包括在大綱 A 之內。單位的集合，可以集成種種不同的形狀，圖中略舉數例以示。邊緣的互相傾斜，限於交成若干一定的角度。

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，