

新 中 學 文 庫

線 射 X

胡 珍 元 著

臺灣省立臺中圖書館



31120003411435



商 務 印 書 館 發 行

特藏

082.7

14>4

76



X

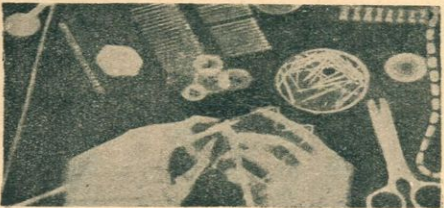
線

王雲五 周昌壽 主編

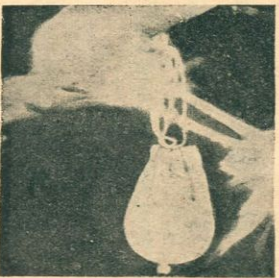


商務印書館發行

觀 奇 相 照 線 射 X



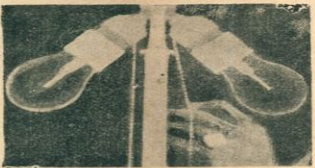
↑
這圖中的金屬物很多，一望即知。女人纖纖的手，可以看得很清楚。鈕扣是骨質做的，影子比金屬淡，但是兩扣相疊的部份，比較清楚得多。



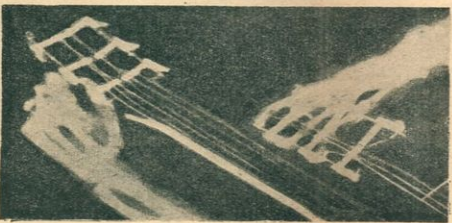
↑
這幅圖的意義，不很容易看出來。實在是一個女人的手臂和她的朋友的手牽住她。金屬的錢袋和練子，以及手鐲都沒有被X射線透過。



←
這是一個動物模型，內中紛亂的白線是鐵絲所做架子。



←
這兩盞燈似乎沒有燈罩，其實X射線透過燈罩而透不過燈頭和銅練。
一個人倒茶給一位太太喝。這位太太一手托杯，一手揭杯蓋，而且每手各戴一只戒指。



←
這好像一雙鬼手。其實是一位音樂家在那裏較正樂器的聲音。右手彈着絃綫，左手扭轉絃扭。



↑
釘釘子時候的手是如此。錘柄不很看得清楚，手骨看得很明白。

序

X射線在醫學上的重要，已爲吾人所熟知。近來復有一部分學者，用以研究純粹科學。去年俄國生物學者報告，X射線可以影響生殖細胞內的遺傳形質。X射線的應用向遺傳方面發展後，則不僅農產方面可以大加革新，卽吾人本身，亦可用以改良子孫了。

本書取材簡單，並無高深學理，不過藉以引起讀者興趣而入專門研究，并增讀者一些普通常識耳。

此書成後，承謙亞遠繆端生兩先生校閱一過，多所訂正。附此誌感。

著者於鎮江建設廳 二十二年十月

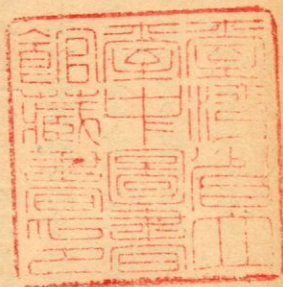
目次

序	一
第一章 X射線的歷史	一
第二章 X射線的性质	一〇
第三章 X射線的器械	一九
第四章 X射線在醫學上的應用	三一
第五章 X射線在實業上的應用	四〇
第六章 X射線的結晶分析法	五〇

X 射線

第一章 X射線的歷史

一八九五年秋，巴佛利亞 吳斯堡 大學教授 欒琴 (William Konard Röntgen) 氏發見了一種新放射 (radiation)，有一種特別性質，能够透入普通光線所不能透明的物體；那便是 X 射線的發見了。在欒琴教授試驗真空球的時候，真空球完全用黑紙包紮，不許有可見之光射出，但在真空球近旁放有一種化合物的結晶體，忽然燦爛發光，欒琴氏看了這種現象，大為驚奇。那時的真空球，便是當時科學家都熟識的克魯克斯或喜托夫管 (Crookes or Hittori tubes)。此後欒琴氏對於這種非常遭遇，特別注意，又做了好些簡單的試驗，把質密的物質放在克魯克斯管和結晶體兩者的中間，在結晶體上他就看見了一個黑影。一八九五年年底，欒琴氏在吳斯堡物理治療研究會席



上，開始公佈他的發見，把研究所得的結果，通統貢獻出來。例如他發見不同的物質，對於他所命名的X射線所顯示的透明程度，也各不相同。他又發見一公釐半厚的鉛，就足完全抵制X射線的透入。他還提及普通的照相板，也能受這X射線感應。在開會的時候，他還獻出一張人手的X射線相片給大家看。這個驚奇的發見，第一次傳聞到英國，那是一八九六年一月六日標準報上的維也納專電。那時叫做攝影的新發見。X射線的奇異性質，也用專電記載，電訊的結尾還鄭重的寫着：「新聞報（維也納）謹告讀者，這件事決不是欺人眩世的事情，實是一個莊嚴燦爛的發見，是一個莊重的德國教授的新發見。」

對於樂琴的發見，我們有兩件事值得談談的；第一這決不是一個偶然的發見；這事的遇到，也並不是無聊中的猝跳。前在一七〇五年，用電流通入真空玻璃球的試驗，已經有這種奇異而美麗的現象發生。我們看了一七八五年的英國皇家學會會刊，便知道有一位先生叫威廉麻加（William Morgan）的試驗，把他的試驗細細地研究了，便知道在他試驗的進程中，一定已經發見了X射線。不過麻加氏並不認識那種現象，所以他雖然是真正第一個發見X射線的人，他還是不能享

得發見X射線的榮譽。

第二，在那時研究這種真空管內放電的現象，早已引起許多科學家的注意。黑弗雷杜威(Humphrey Davy)、法萊第(Faraday)、喜托夫、克魯克斯、凱爾維(Kelvin)和利諾特(Lenard)等都各告奮勇，盡力研究，把他們觀察到的美滿的結果，創出了許多學說。但是這許多實驗家，在他們試驗的時候，雖然已經能夠得到多量的X射線，可是他們中間沒有一個人能够在克魯克斯管外，探得X射線的存在。還有我們把英國科學家漢伯脫劇克孫(Herbert Jackson)教授寫給波林氏(Pullin)的信，抄在下面，也是很有趣的。一八九五年，劇克孫正在研究克魯克斯管的作用，在樂琴發見X射線的消息傳到英格蘭之前，他已經注意到真空管外某種物質發生螢光的事實。在他給波林氏的信上，他說：『正在我對這件事迷惑不解的當兒，樂琴的發見公布，我便看見了我自己所得結果的解釋。』現在X射線的發見人，大家已經確認是樂琴無疑了；上面的陳述，我們不用誤會，對於樂琴已得的榮譽，決不能損害其毫末。

因X射線的發見，便把全科學界投進興奮的狀態，那是很容易想到的；X射線在醫藥上和外

科手術上的重要，大家很自然的跟着承認了。欒琴就獲得德皇的獎賞；德國的陸軍大臣還下了命令，叫人民研究 X 射線在軍事外科術上的應用。在 X 射線公布以後，差不多世界各地，都隨卽有信報告這新光線在醫學上的使用。然而科學家在別一觀點上，卻另有濃厚的興趣。他們自然也贊同這光線的有用的性質，但科學上至重且要的問題，乃在『X 射線是什麼東西？』事實上，這個問題，欒琴在他第一次的報告中，已經作了一個嘗試的回答。他說這光線也是以太的波動，和普通的光線一般，不過 X 射線是縱波動而不是橫波動罷了。這種解釋，隨卽就受人家的指摘。牠最大的缺點，就在 X 射線雖然具有普通光線所有的許多性質，但 X 射線不能完全服從所有的光學定律。例如在世界上找不到一面鏡子，可以用來反射 X 射線。X 射線對於任何尋常的迴折格子 (diffraction grating)，也不會迴折的。

電流通過真空管的研究，費了許多精力和時間，對於陰極流，才得到一個博大的智識。克魯克斯自己，對他在管內所遇見的事實，完成了一個很真確的概念。他當陰極線是分子量 (molecular dimensions) 的動點，負有一個陰電的流動，他認這種現象是放射物質 (radioactive substance) 所

有的現象，便認陰極線是一種放射物質。下面的節語，是從他給英國學會的論文中節譯出來的；由此我們可以很清楚的知道他對於這件事的意見了。他說：『在這些高真空管子裏，殘餘氣體的分子，要越過管壁放射出去，便可以比較的少有障礙；而且從極端放射出來，有極大的速率。牠們現出的性質，這樣新奇，這樣特別……真好證明從法萊第借用得來的名詞，叫做放射物質了。』克魯克（斯）把這種質點當作分子量，確屬謬誤，但在湯姆生（J. J. Thomson）氏未發表他的陰極線性質以前，此說總認爲對的。在X射線的發生上，有一件事實是完全確切的，便是X射線的發生，必要在陰極線被遮斷的時候，才能發生。因爲這個原故，所以有許多實驗家，主張X射線和陰極線是同爲一物；雖然有陰極線能被磁石偏向，而X射線則否的事實，但這個X射線和陰極線同是一物的說法，卻也持續了一個長時間。

這個問題，到了湯姆生發見了X射線會使一個帶電的導體放電，嗣後又發見了X射線會把一種非導體的氣體做成導體——換句話說，X射線能够電離一種氣體——的時候，才有第二步的解答。

一八九七年，是科學發見上最重要的一年。湯姆生發見了陰極線的真確的性質。他利用了磁石可以偏向陰極線的事實，把陰極線管的真空改良，使陰極流淡薄，再用很精密的實驗方法，量出陰極流被一個已知磁場所偏向的度數，同時再用一已知多少電力的電場來量牠的偏向。他假定，陰極線是質點所成；並且以為這個假定如果是對的，那末牠們必定要有一個可以測量得出的質量，同時也必須要有一種速率的。

湯姆生的儀器怎樣裝置的呢？在真空管內放兩塊金屬板發生電場引起陰極流的偏向，和管外磁場所生的偏向，恰成反對方向。這樣，在磁場和電場相等的時候，陰極線自然就完全沒有偏向。湯姆生得了這試驗的結果，他便決定了每陰極質點的質量和電荷的比例，又量出了陰極質點所走的速率。後來他證明陰極流確是包含着行動質點的，他還算出一個質點的質量比氫原子質量小八九百倍（這個數目，以後知道是太大了，真確的價值，差不多只有氫原子的一千八百分之一）每一質點帶一單位陰電。實在湯姆生做了這些試驗，已經證實了原子不再是物質的終極單位了，而原子自身反而是那些極小極小的單位叫做電子（electron）所造成的了。

那個時候，要決定X射線真確的性質，仍舊還有許多困難；其中最重要的，就是X射線不能反射，也不會迴折。一直到了一九一二年，德國慕尼黑大學教授勞厄（M. V. Laue），用了數學分析法，才把這個問題解決了。我們肉眼所能看見的光，牠們的波長，都好用迴折格子來測量，那是很顯著的。所謂迴折格子，就是一塊玻璃，上面劃着許許多多的平行線。那些平行線，必須十分緊密，中間的距離須各各相等，一英寸內要劃二萬條乃至四萬條的細線。線和線間の間隙，讓光經過，從間隙中現出的波浪，依光波的長短便生出干涉現象。這樣把一道白光射在格子上，就會有有色的光景分析出來，正和用三稜鏡分出來的一樣。可見光的波長，卻有自 $\frac{1}{200}$ 吋至 $\frac{1}{800}$ 吋的種種不同。迴折格子的功用，就在能把波長一一分開。但是把X射線求試驗，格子上的線無論劃得怎樣的精細，總是顯不出干涉的現象，就是要分出分光波，也是不能辦到。勞厄教授因此起了一個偉大的理想，以為X射線所需要的精細格子，或非人力所能為。但是他的理想，也非憑空臆造，確有三個根據：一根據德國科學家文（Wein）氏在一九〇七年的實驗，文氏假說着X射線的橫波動原理；二是馬克斯潑蘭克（Max Planck）教授宣布的一種新能力原理；三是用電子的質量和速率來算出X射線

波長的近似值的一種學說。他的數值是 10^{-10} 公分的一種光，比可見光的波長短去有八千倍。勞厄因此設想着天然間已經替我們預備好了那種格子，完全是有規則的構造；他還想到在結晶體內原子層間的罅隙，差不多是一個恰好的闊度，可以用來做 X 射線的迴折格子。假使 X 射線也依橫波動原理的，換言之，假使 X 射線和光有同樣的性質，那末 X 射線經過結晶體，就有迴折現象可以發見。勞厄把他這個概念，更進一步，把牠完全放到數理上去，他預料說，假使有一道狹小的 X 射線光穿過了一個結晶體，那末牠的結果就應該是一羣迴折光，相對稱的環繞着一條中央光。

勞厄這個原理，在一九一二年的上半年，就被佛蘭列克 (Friedrich) 和納賓 (Knipping) 兩人的試驗凱旋的證實。勞厄氏的假說和佛蘭列克與納賓二氏的分類試驗，就把 X 射線性質上所有的疑點通統解除了。X 射線和平常的光，實在有完全同樣的性質，不過波長短去一萬倍罷了。

到了一九一二年，X 射線性質上的疑難問題，乃告一結束；自此以後，科學家就可以把這新證實的能力，自由的去發展，應用到各方面去，得到很大的價值。這些應用，我們將在下面分立專章敘述。我們知道 X 射線爲什麼適合於各種事業的進行同時就得明瞭 X 射線的性質。其次我們再解

釋 X 射線在實用上要怎樣的發生，要怎樣的改變，才能得到所需要的種種不同的 X 射線的性質和容量。

第二章 X射線的性質

X射線同光、熱和無線電波一樣都是一種放射能。但是陰極線和阿爾發線 (alpha rays) 卻是質點的流動，我們決不可拿來和上述的混淆的。X射線、光線和其他做成電磁景的部分，都有同一的傳播速率，每秒約186000哩。電磁景中所有的各分部，牠們的性質都完全相同，僅有的不同之處，不過牠們的波長有長有短罷了。第一圖即示普通已知的幾種不同波長的關係。由此可知可見光和X射線的波長，都非常之短，用尋常的單位來表明，極不便利。普通採用的單位，叫做安齊斯屈勞

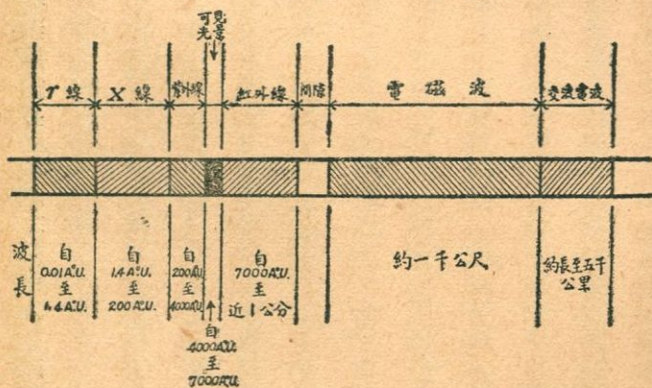


圖 一 第
註—1 A. U. = 10^{-8} 公分,

(Angstrom) 就是一個瑞典物理學家的名字；一安禱斯屈勞等於10⁻¹⁰公分（即萬萬分之一公分）

所有上述那些光線，都屬於橫波動系，就是平常所謂以太波動；但是這種說法，並沒有什麼真切的意義，因為世間還沒有人知道以太究竟是一種什麼東西。我們所知道的，便是運輸光線的是能(energy)；能够把光線從這一點傳到那一點。能的效率，可以計算得出；就是不同的地方和任何顯著的損失，也都能比較得出。我們所不知道的，不過是傳佈的媒介物究竟是什麼東西的一個問題罷了。我們想像一種媒介物，而名之曰以太，實在我們還是叫牠做驅瘧符（第二圖）之爲愈。波動一事，我們必不可把牠當作是什麼物質的進行。假使我們把一塊石子投到平靜的池沼中去，從石子入水的地方，就有水波向四圍成圈子的蕩漾出去。但是池中的水，並未依波動流出，掃蕩出去的祇是一個能波，周期的擊撞池水，轉成一高一低的水浪罷了。在池中所傳出來的是能，而非水也。

ABRACADABRA
ABRACADABR
ABRACADAB
ABRACADA
ABRACAD
ABRACA
ABRAC
ABRA
ABR
AB
A

圖 二 第

我們知道，一個整個的電磁景是依牠所含成分的波長而分段的；而且每一種波長的集團，還

有某種顯著的相同的性質。現在我們研究X射線，我們應該知道X射線這個名詞，也是包含着許多不同的波長在內的。實在說起來，這完全的一組——雖然波長的性質這一端的和那一端的便不大相同——都叫做X射線，因為牠們都屬於一個集團，用一種方法，便可把牠們一起發生出來。尋常的X射線管所發生的X射線，卻包含着許多不同的波長；但是使用的電壓，對於短波X射線，卻很有限制的能力。這個限制值，就叫量子限（quantum limit）。電壓所以能限制波長的理由，此地卻不能詳述，祇好請讀者去看專書了。對於尋常X射線管應特別注意的一點，就在從管內射出的光線是混合不分的，普通的名詞，就叫世代交替（heterogeneous）。但在實際應用上，卻常常祇要X射線光中的某種波長，其餘的非特無用而反有害，我們要達到這種目的，就用某種物質放在X射線放射的中途，使牠吸收幾種無用的波長，讓有用的波長在牠裏面通過去。

走得極快的電子（陰極線）受了物體的阻擋，就會發生X射線。對於這個簡單的事實，卻有一二個要點很應得注意。X射線的波長，依行動迅速的電子停止或消滅的速率而不同。停止得愈快，所生的X射線，波長就愈短而愈能深入。X射線的深入力，依牠的波長的長短而異。波長愈短，深

入力也愈強。普通叫深入力很強的X射線做「硬X射線」，深入力微弱的，叫「軟X射線」。這兩個名詞，無甚意義，不過習慣如此而已。

電子行動得愈快，牠們擊撞對陰極片 (target) 也愈快，消滅得便更快；所以我們要發生硬X射線，最要緊的就在電子要流動得極快。在X射線管內電子行動的速率，就靠在X射線管上兩極的電壓。電壓就是X射線管上正極和負極中間的電位差。把電子從負極推到正極來，在正極附近，電子就被一個預置的對陰極片捉去。所以X射線的硬度，完全依靠在電壓。跑得極快的電子流，牠所含的能也極大，在電子流受對陰極片阻斷的時候，這個大能，就一部分轉成X射線，一部分變成熱了。事實上，大部分的能，卻變成了熱，對陰極片的溫度，也驟然的升得很高。X射線管的對陰極片，顯而易見，必須要用融點很高的金屬了。尋常總是用一種難熔的金屬，如鉑如鎢。讀者至此，或許要有最後的問題發生：『電子從那兒來的呢？』我們要回答這個問題，我們就要研究X射線管了。假使我們從裝有兩電極的玻璃球裏，抽去多量的氣體，再把兩極接連在高電壓的電源上去，因為殘餘氣體中，有了自由的電子，可以做成導體，所以在管內的兩極就有一道電流通過了。自由電子在

穿過管子的時候，牠們就和原子相擊，在原子中擊出更多的電子來。這樣在兩極之間，就有一個繼續不停的電子流了。這是X射線管的一種機械的組織。像這樣的管子，平常叫做氣管（gas tube）。

現在普通所用的X射線管，雖然也會發生電子，可是和前述的方式，確乎不同。這種管子，叫做熱陰極管（hot cathode tube）。一九一三年美國哥立芝博士（Dr. W. D. Coolidge）所發明。這種管子，實際上把管內所有的氣體，一概抽出，所以把牠接到高壓電源上去，沒有自由電子可以發生的，電流也絕對不能通過。弗萊明（J. A. Fleming）教授早已發見一件事實；把一種金屬加熱到白熱的時候，金屬的表面就會丟出電子來。哥立芝博士就利用這種現象，應用到他的X射線管上去。哥氏的X射線管，其中有一個電極，就是陰極，用一個純鎢絲螺旋圈做成，作為補助電流的部分，使鎢絲燃燒而成白熱。電子由此發生，帶了高電位差的電流在管內通過了。我們早已說過，管上的電壓對於X射線的性質極關重要。電子的數目，也是一個重要的因子，電子的數目和產生X射線的容量很有關係。在哥氏管內發生的電子數，是依螺旋圈所升的熱度而定，熱度的強弱，自然又要靠用以發熱的電流了。因此就在鎢絲圈中，插入一個障礙；電流的強弱和電子的數量，就由此障

礙而得隨意增減了。哥立芝式 X射線管，因為管理便利，使用堅固，所以普通用的最多。

現在讓我們來把 X射線所有的性質，簡略的研究一下。

第一，X射線因為波長極短，比了可見光線的波長竟短去了一萬倍，所以牠們能夠透入普通不透明的物體。X射線對於物體的透明度，依物體的密度而不同。（這句話並不十分真確，但在實用上可以認為是對的。）一個 X射線照相，實是一個黑影圖。在 X射線經過的途中，放了一個密度各處不同的物質，X射線穿過的結果，就依密度不同的各部形狀，射出一個明暗的影子。這種現象，用處很大；外科術上的 X射線照相，就是很熟識的例子。手的骨骼，在 X射線照相上，總是顯着深黑的黑影，就是因為骨骼比了牠們周圍的體素稠密得多，對於 X射線有較大阻力的原故。有一種東西，差不多正和 X射線照相相平行的，那就是黑影圖（*silhouette*）了。黑影圖就是一個不透明體放在可見的光線裏面，在一塊白幕上所生的黑影。有時藝術家用手指蘸墨畫出來的人影，卻也和 X射線照相的原理，互相脗合的。

我們已經提及 X射線照相了；X射線照相就是 X射線的第二種重要的性質。X射線和相片

所起的反應，和普通光線所起的反應，很相類似。所不同的，祇在用 X 射線來照相，照相的乾片或軟片，不必像普通光線一樣必須要用黑紙包裹的。因為 X 射線對於透過黑紙包被，並沒有什麼困難。X 射線還有一種最重要的性質，大家是不大知道的；那就是 X 射線的電離力了。我們知道氣體是非導電體，但是把 X 射線光來照射以後，那氣體就成良導體了。這種性質，受科學家多方利用，在下面我們講到用 X 射線來考察結晶體構造的時候，就可知道這種特別性質在實用上變得怎樣的重要了。

在我們把手放在帳幕和 X 射線管中間的時候，光明燦爛的帳幕上就現出我們的手指骨來。這是表示 X 射線的又一種有價值的性質。這個帳幕上是塗着一層化學的化合物叫做氫化鉀 (barium platino-cyanide) 的。在 X 射線投射到這種化合物的時候，化合物就發出燦爛可見的螢光，放在 X 射線途中的不透明體，就在幕上投出一個清明的黑影。此外還有別種化學品，被 X 射線投射以後，也能發出可見的光亮。其中一種叫做矽酸鋅 (willemite)。其他化學品受了 X 射線的照射，雖然也能發光感應照相片，但為人目所不能見。我們在下章研究到 X 射線在醫藥上和外科

上的應用時，我們就會知道X射線在生物學上還有重要的性質。X射線對於生物，在有些地方，能够殺死活體素，又有些地方，卻能對於生物的生命和生長，反有刺激和促進的能力。這些特別性質，雖未十分確定，但近年來經多方研究，已經大有進展，現在對於癌症的治療，大家都已承認X射線是十分重要的治藥。X射線尚有其他種種化學性質，那是一種專門的研究，對於我們這本小書似不十分重要，姑置不論。

X射線還有一種性質，在商品應用上頗佔優勢。X射線有一種能力，能够使近代的玻璃生出一種古代玻璃所特有的紫色；這樣一來，我們就可用近代玻璃去裝置古董去了。在我們講X射線管的時候，我們已經說過一種金屬受了高熱，表面上就能够放出電子來的。然而把X射線射到任何物質上，牠們多會發出電子來，這是一件極堪注意的事情。這也是X射線和普通光線不同的一種性質，普通光線或許也能和X射線一樣生出那種性質，但是必要有相當的環境才能辦到。

關於X射線還有一個有趣的事情，值得再說一說。X射線射到任何物體上，牠們會使那物體發生別一種X射線放射。這就叫做二次X射線 (secondary X-rays)；牠們的性質和波長，都依激

起牠們的X射線的性質，以及發生牠們的物質而定。在相當的電場勢力之下，發出X射線或電子來撞擊物質，物質就發生所謂特別的X射線，這就是二次X射線了。

在起始發見X射線的時候，因為牠們不能適合許多光學的定律，卻使人們吃驚不少。這是應該記得的，X射線不能反射屈折，也不能偏光。然而把牠們的性質，更精密的研究了以後，我們現在已經知道X射線在相當環境之下，牠們確和可見光線一樣的服從那些光學的定律。

我們現在已把X射線的重要性質，很簡單的說明了；在下面幾章，我們就要研究這些性質，怎樣地使X射線成爲各種科學現象中的一個最有價值的東西了。

X射線和普通光線不同，其最大的一點，自然就在X射線不能用人目看見而已。反而言之，我們的眼睛到了將來，或許會變得十分銳敏，可以看見X射線的，因為有些人確有這種感覺啊。

第三章 X射線的器械

最初試驗克魯克斯管的，大多用誘導圈 (induction coil) 來做發高電力的發電機，X射線也由使用這種器械而發見。誘導圈是一種很熟知的器械，我們先來把牠的工作原理講個明白，以後再來研究近代發電機怎樣的從牠脫胎出來。誘導圈爲法萊第所發明；因發見了電磁誘導的現象而製成的。誘導圈的主要部分分兩部：一部是一卷粗銅絲，尋常祇有幾旋，叫做一次圈 (primary coil)；又一部是一卷細銅絲，旋圈很多，叫做二次圈 (secondary coil)，包圍在一次圈的外面。假使把一次圈內的電流變更，例如把電扭打開，使生電流，再把電扭關閉，使電流消滅，那末由此所生的磁場也就變更。在這種事實上，法萊第告訴我們，二次圈的每一旋都發生了一個電動力；因爲二次圈的旋數很多，所以各旋的電動力合併起來，就發生一個極高的電壓 (voltage)。二次圈的總能，卻和一次圈相等，不過分佈得不同罷了。二次圈內的電流很小，電壓甚高。但是這兩個銅絲圈，應該

互相絕緣，一次圈也必須繞在軟鐵心上，誘導力才能加強。用這誘導圈的二次圈接在X射線管上就得X射線所需要的高電壓了。

還有一個要點，我們尚未提及；就是一次圈的電流開閉得愈快，二次圈的電壓便愈大。使用舊式誘導圈的人，大都很知道怎樣去開關電流以得其必需的電壓。那種開關方法，不過是一個彈簧，彈簧在電流開通的時候，因電磁力的作用，就被吸到鐵心上去，等到吸上去了，電流就被打斷，磁力隨之消失，彈簧就彈回去，於是再接通電流。這個循環，反復進行，非常迅速。在發見X射線以後，對於誘導圈的設計改良，一時極為興奮，所以不久就有改良的器械出現。因為用了重電流，彈簧和鐵心的接觸地方，就有極大的火花發生，這是彈簧開關的第一個缺點。第一件事就須改良彈簧，務使開關了一次圈的電流，可以得到最大的效力，不使有無謂的消耗。達維遜爵士 (Sir James Mackenzie Davidson) 就發明了一種奇巧的開關法；以一金屬片，用電動機使之旋轉，迅速的浸入水銀裏去。起初用酒精來做電媒 (dielectric)，以防止水銀的迅速氧化，後來改用煤氣，到現在還有用牠的。但是近代所用的開關，卻是轉動水銀，噴擊金屬片，而不是把金屬片來轉動的了。這樣的開

閉電流，確是很快的。但在發電機上，X射線管還有一個極重要的要求。就是電流必須同方向，換句話說，電流必須由負極到正極，不能反轉的，否則電子非但會從陰極射出，並且也會從陽極射出來了。在這一點，誘導圈是不能成功的。我們知道一個誘導圈上的電壓，在一次圈電流通的時候，就在一個方向裏升高起來，在電流關斷的時候，就向反對方向裏消退下去。這種情狀，固然可以把開關的方法來稍予限制，但總不能完全消除，所以把誘導圈用在X射線管上，所謂逆電壓（Inverse voltage）的，常是一個困難的問題。

這個缺點，就引起一種叫瓣管（valve tube）的器械發生了。這種器械，重要的不過是幾個真空玻璃管，管的電極和形狀，都排列得使電流在一個方向上能夠很容易的通過，要在反對方向通過，就有極大的阻力。近代所有的瓣管，構造得那般複雜，在無線電上應用得那樣普通，都是從那種簡單的計劃上發展出來的。阻止誘導圈的逆電壓，除此以外，還另有一種方法。這是把一隻機械轉動的接觸器或叫整流子（commutator）的，放在誘導圈和X射線管中間的電流上，在電壓向增進方向的時候，整流子就把接觸打斷，祇准電流在打斷的方向裏通過。在近代的X射線應用上，普

通已經不用誘導圈了，但有一兩種的特別用處，卻仍要用牠們的，實在說來，近來的研究和創造，大都是向着改良誘導圈的計劃上擴張出來的。例如要想把X射線器具改造得便於攜帶，就有威爾遜 (W. H. Wilson) 氏在一九二二年完成了一個奇異而優美的誘導圈了。

打倒了誘導圈取而代之的普通發電機，就是高電壓變壓器 (transformer)。這種器械和誘導圈的原理，實無差異，不過X射線變壓器有一個叫做封閉的鐵心罷了。在這種變壓器內，導圈的軟鐵心並不露出，卻彎成長方或圓形。這種計劃的結果，就使磁性力大大的增加。還有一種利益，就在可以減少些開關的缺點。實際上我們用了這種封閉鐵心的器械，因為電有自誘 (self-induction) 的特性，我們就不能再用開關了。那末在封閉鐵心的變壓器上，我們就得要用別種方法來完成一次圈內的開通和關斷了。完成這個目的，就是用交流電 (alternating current) 來供給變壓器的一次圈。假使這種交流電不能得到，那末也可用迴轉變流機 (rotary converter) 來把直流電 (direct current) 轉成交流電的。

用交流電的電壓器，牠的電壓是升到最高點後再漸漸消失，又重新在反對的方向升到最高

點，要完成這個有規則的完全的循環，每秒鐘常是五十次；這樣電流也要每秒鐘向前向後五十次；把這種電壓器用到X射線發電機的一次圈上去，恰恰足以接通和關斷牠的電流了。

X射線的變壓器就應用這個原理做成的，二次圈的電壓，也就發得很高了。吳威克 (Woolwich) 研究所製有一架能夠發生四十萬弗 (volt) 的高電壓。這架器械二次圈的銅絲有九十哩長，牠的大小，我們也可推想而知了。

從X射線變壓器的原理看來，讀者自能明白，我們雖然用了封閉鐵心得到幾許利益，但是要消滅逆電壓 (inverse voltage) 的問題，仍得要待解決。那是實在的，這種變壓器和誘導圈都有這個缺點，但變電器的缺點，要比誘導圈的容易免除。爲什麼容易呢？讓我們來細細的研究一下。我們已經說過電壓增大消去再加大，成功一個完全有規則的狀態。現在我們用適當的器械，正可利用這有規則的一點來轉變反逆的半波走入X射線管，和有用的半波採取同一的方向。

我們完成這個目的是用整流器 (rectification) 的。整流器是用一組變極開關 (pole-change switches) 或整流子 (commutators) 來和交流電取同一的步伐。這種式樣的整流器，叫做「機

械式。』然而我們也可用無線電工程中所用的高電壓熱離子瓣 (thermionic valves) 來改正牠的。這兩種方法，任便採用那一種整流器，總可完成工作，所以一個製作精良的 X 射線變壓器，無論如何，總不致有逆電壓的困難發生了。

在 X 射線裝置上最重要的電學器具，自然就是發高壓電流的發電機，但是除此以外，還有別種要件哩。我們現在研究哥立芝式管，就要有一種能夠灼熱陰極的電流。要完成這件工作，電壓量須十二電流量 (amperage) 約須三·四。這種電力，用一組電池或用別種小變壓器，就能得到。但是我們必須知道這樣的一組電池，通電到 X 射線管（陰極）上去，電壓很高，所以必需要有絕緣的設備，還要十分清潔；在運用的時候，沒有絕緣的長把手或其他相當的設備，我們是萬萬不可去接觸牠的。我們已經說過的兩種單位——電壓和電流——再加上必要的阻力 (resistance)，計量器和開關，都包括在 X 射線裝置的電的方面。

X 射線變壓器，自然除上述的以外，還有許多不同的樣式。在過去的幾年中，X 射線事業，進步得很快，近代的 X 射線裝置，也達到了正確而有效的極高點。還有許多機巧的改良，便利於 X 射線

的特別用處，讀者如果感到特別的興趣，可取各種X射線器械製造廠時時出版的圖樣目錄來研究。

現在讓我們來研究真正的X射線管罷。在前一章，我們已經說過，我們要發生X射線，必需要有一個走得極快的電子流，和一個阻止牠們走過的標的（target）。下面一圖（第二圖）就是樂琴發見X射線時所用的X射線管式樣。這是我們現在叫做氣體X射線管的胚胎。在管內殘留着一定量的氣體，電流通過了，氣體就離子化（ionise），產生陽離子，吸到陰極去，撞擊陰極表面，把陰離子放出，陰離子便是所謂電子。這些從陰極放出的電子，被玻璃管壁擋住了，於是乎發生X射線。樂琴所用的電壓，比較的很低，祇有幾千弗，所以他發出的X射線是極軟的，這軟字的意義，我們已經說過，就是X射線祇有極小的深入力。假使把我們現在平常所用十萬弗的高電壓，通到那時樂琴所用的X射線管上去，那末電子和玻璃的劇烈擊

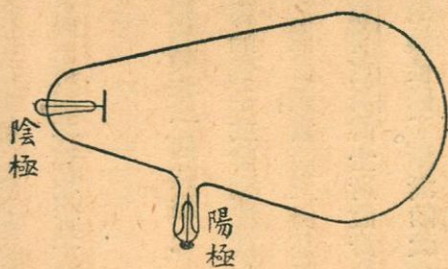


圖 三 第

撞，實足破裂玻管而有餘。在樂琴的X射線管裏面，就把玻璃當作標的用；但是那種裝置，並不是專為發生X射線而預備的，所以在不久的時期內，就證實了要常規的產出X射線，非要把管子改良不可了。

一八九六年三月，劇克遜爵士 (Sir Herbert Jackson) 發表他所做成的第一個焦點 (focus) X射線管。陰極是凹的，在玻管的中央近旁，裝置一個金屬標的，於是放出的電子或陰極流就集中在標的一個小面積上。標的的裝置是和陰極軸成四十五度的角度。這個計劃，實際上仍是氣體X射線管的模範。這種器械，除掉標的角度放置以外，卻和二十年前克魯克斯爵士所設計的，毫無不同，但克氏所計劃的，原非用來產生X射線，不過用來研究陰極流的熱性罷了。漸漸的改良，就得到X射線管的製作，再加稍稍的改革，就除去了運用的種種困難。但是X射線管的裝置和運用的重要原理，直到一九一三年，沒有一些改革。

以蒨萊明博士和力却特遜教授 (Prof. O. W. Richardson) 兩人做先鋒的許多物理學家，研究物理學裏的一分支，我們給牠一個名字叫做熱離子學 (Thermionics)。在一種金屬熱到極

高極高極高的溫度時，這些物理學家就發見了金屬放出的電子也極多極多。這個重要現象，非但把X射線管革了命，並且使近代無線電上得到無線電瓣基本原理的成功。

一九一三年，美國哥立芝博士，利用了熱離子原理，造出一個新計劃，來代替舊X射線管，得到更外完善的真空，把一個鎢絲螺旋圈代替了舊式的固體陰極。哥立芝博士的產生電子方法，並不是靠管內殘餘氣體的電離，他卻把螺旋陰極加起高熱，使陰極蒸發出電子來的。哥氏X射線管，卻是一架優美的器具。牠有兩個電極。陽極（anode）就是標的，用固體的鎢做成。鎢是一種金屬，在此地具備兩種最重要的性質；一是質量極重，二是鎔點極高。陰極是細鎢絲螺旋做的，裝在一小圓筒內，圓筒的裝置地方，恰好使陰極流集中在標的面的中央。玻管內的真空，近於實際上所能達到的完全真空。所以把高電壓接通了這玻管的兩端，陰極絲在冷的時候，電流決不能通過的。

熱陰極式的X射線管，給予我們最便利的一點，就在X射線的產量可以完全受運用人的管理。X射線的產量，依白熱絲所發出的電子數的多寡而定，電子的數目，依溫度而定，溫度自然又受電路（electric current）所限制。在鎢絲電路中有了各種阻力的相當設備，就可十分正確的來

管理 X 射線的產量了。這件事情，在氣體管上就不能辦到。X 射線的性質，我們早已說過，牠的深入力是依電壓的大小而定。哥氏式管已經製就，可以運用三十萬弗的高電壓，產生的 X 射線，非常之硬，能夠深入堅鋼到五吋的厚度。

依熱陰極原理而造成的 X 射線管，還有幾種，各不相同。在哥氏發明他的管式時，立倫佛爾特博士 (Dr. A. J. Lilienfeldt) 同時在德國也發明了相似的熱陰極管，但是他的構造，更加複雜。立氏的管子，需要補助器械，管理起來，錯綜繁複，所以牠雖有許多優點，也不能受衆人歡迎。在最近發明的熱陰極管中，我們就得推崇漢堡慕樂 (Müller) 製造廠的出品，而荷蘭菲力潑 (Philipp) 製造廠，最近得到專賣權的 X 射線管，尤爲特出。那是出名叫做金屬 ("Metalix") X 射線管。這種管子，在 X 射線管構造上，完全是新思想，管子都用金屬製成，所以牠能自衛 (self-protecting)。在我們研究 X 射線生物學的效用時，我們就會知道使用 X 射線應該十分謹慎，因爲牠們的傷害，足致人於死命。因此常把 X 射線管放在鉛箱內，以免此種危險，但是這樣一來，購買的價格，就增加了許多，而且因爲牠的煩累，技術上也增加了許多困難。小巧玲瓏，便於攜帶，就成爲 X 射線管構造上

的一個重要的要求，新造的金屬管，實足解決這個困難。金屬管和哥氏管一樣的利用熱陰極，不過金屬管用一個鎢紐裝在銅床裏來代替了哥氏的鎢塊標的了。

研究X射線的產生，得到一個極可注意的結論，就是X射線管的效率小得駭人聽聞。用於一X射線管的能，祇有百分之一的幾分之幾是轉成X射線的。其餘的都是耗費。大部分的能，都轉成熱力，升高標的和管壁的温度。所以要想法消去這毋謂的熱力，乃是製造X射線管上的一個問題。標準哥氏管，用鎢塊的放射來除去這種熱力。別種式樣的X射線管，有用標的做成圓片狀，架在一空銅管的端頭，用冷水在空銅管內循環流動。這種管子，就叫水冷（water cooled）管。其他的製造法，也有用幾個金屬鰭和標的接着，來增加放射面積的。

用於X射線管的電壓，雖然普通是很高的，然而X射線管所消耗的總力，卻是極小，因為電流常是很小的。因為電流很小，用尋常量電流單位的安（ampere），不能量得出來，所以祇能用比安小一千倍的單位來量了。X射線的電流常用毫安（milliampere）來測量。用作攝影人體的X射線管，祇要在一短時間內具有五至三百毫安的低電壓就够用了。這種攝影的曝光，真真祇要一個

極短的時間，譬如要得一心臟的X射線照相，祇須極速的一瞬就够了。照心臟的影，假使用極重的電流，曝光的時間，祇要一秒鐘的幾分之幾就好了。在另一方面說，曝光的久暫並不和需要深入一樣地重要，所以管子的構造，就須拒用高電壓而僅限於有較小的電流了。這種管子的應用，就在外科治療（例如癌症）以及厚金屬X射線照相兩方面。但在最近幾年中，X射線管的標的，有了精巧的水冷設備，在二十二萬弗高電壓時，已經可以繼續的有二十或三十毫安的電流了。

現在我們對於X射線設置上的重要器械，已經有了些概念，我們當進一步來研究牠的用途。我們記得X射線的發見，距離現在還不過三十多年的事情，然而這門科學的進步，確有一日千里之勢哩！

第四章 X射線在醫學上的應用

第一次得到人手的X射線相片的時候，維也納報紙就形容牠『形貌鬼怪極了，』這個形容詞，隨時代的前進，猶未失其爲真實。然而X射線在醫學和外科診斷上的價值，又未可限量。這種事實，在發見X射線後，立即證實了。差不多在X射線一發見，隨即有一個報告，報告用X射線找尋人腿裏面的彈子的結果，牠說：『四十分鐘的曝光，拍出一張照片，看出脛骨和腓骨都蓋在一層薄肉裏面，一個變平的彈子，就在兩骨的中間靠着脛骨的內角，非常清楚。第二天割一個兩吋深的創口，就把彈子取了出來。假使要從傷口割進去取彈子，就要割五吋深的肉了。』然而現在的曝光，祇要幾分之一秒就足够了。

在X射線的發見宣佈了六個月以後，全世界的醫學界就普遍的應用了。在那個時候，也有人想把X射線當作治療劑用的，有一兩種病症，竟也實際的應用起來。用X射線來治療癌症和肺癆，

早已實行，在癌症方面，已經得有改善的報告。

X射線有強烈的生物作用，也隨即發見了，例如X射線能使頭髮脫落，在從前已受人注意了。

一八九六年三月，愛迭生 (Edison 從前的試驗家，並非近代的大發明家) 注意到他自己和他的

同伴，做了幾個鐘點的X射線放射工作以後，他們都爛眼了。其他X射線試驗者，也報告說他們因試驗X射線的原故，也受了灼傷。這些事件，就引起一個有系統的研究；X射線對於活體素 (Living

tissue) 究有什麼影響，尤其對於細菌和微生物的影響，研究得格外認真，在這個目標上，現在已經得到很多有價值的論證了。做X射線工作的人，起初很想證實X射線有殺死人體內有害細菌的

極大的價值，因此好用X射線來治愈被細菌作祟的疾病。但是這個希望迄今尚未成功，X射線雖在幾種疾病上，能把牠的微生物殺死，可是所需要的用量太大，對於病人的生命，也有嚴重的危險。

X射線和體素所起的作用，各處不同，也已證實。有幾種活細胞，受了X射線的作用，就會死亡，

又有別種活細胞，受了X射線的作用，反而興奮，生長得更快。活細胞和X射線所起的作用，因細胞的生活時期也有不同；例如未成熟的細胞，比了成熟的細胞，對於X射線的感應就敏銳得多。這種

意思，並非說小孩感應X射線比成人更形靈敏的意思，實是指某種原形質細胞的生活而說的。還有一個有趣而重要的事實，就是不同的細胞對於X射線的作用，也各不相同。例如我們身體的某部感應用X射線，比了別部，更加敏銳；再具體的說，患癌症的細胞感應X射線比了健全的細胞，銳敏得多。這個事實，自然非常重要，因此把這個目的，擴大的研究了。這種工作，可喜的結果，就是X射線在專家手裏施用起來，確是現在與癌症作殊死戰的最重要而最有希望的一種方法。用X射線治療金錢癬 (ringworm)，也有某種功效，現在對於這種治療，應用極廣。X射線即在治愈傷口上，也有極大的價值。雖然X射線有這些有價值的性質，但是非有十分精練的專家來施用，對於病人的生命，就有十二分的危險。X射線的危險以及計算適用量的方法，我們將在這章末了，再行詳述。

因為X射線不可用之過分，所以用X射線來醫治疾病，不是經驗豐富的人，不可輕予嘗試。在普通醫學或外科手術上得有學位享有盛名的醫生，無論他們的技術怎樣的精明，在外國總不給他們有任意運用X射線和鐳的正當的資格。在歐美各國，有幾個大學，對於專門研究X射線的人，已經給予他們特別的證書。考驗的標準，也非常嚴格，所以現在得有證書的人，差不多都是可以信

託得過的X射線專家，這是一件值得慶祝的事情。雖然祇許有資格的醫生領取證書，應用X射線和鐳來治療疾病，但是普通的醫生，要用X射線來幫助施行手術，也可雇用X射線攝影師。這種攝影師，對於X射線的運用，須有訓練，於技術方面，也要精明。外國有幾個學會，對於這門科學舉行考試，對於受了充分時間熟練的人，給予證書。這種人員有使用X射線裝置的資格，在正式醫生直接指導之下，有攝取X射線照相的資格。

X射線和人體所起的毒害，已經有很多的經驗來警告我們了。主要的犧牲者，就是醫生和科學家，他們都是終年累月的努力於開拓X射線工作的試驗。許多有價值的生命，已經在研究前進的中途犧牲了，但是他們的犧牲，並不是徒然的。因此就有逐步的改良，到了現在，器械的構造，技術的精良，在在足以使得使用人，病人和隨從人，得到可以絕對的避免各種的危險。在英格蘭已有X射線和鐳的保護委員會的創設，對於使用X射線的機關和人員，訂定了許多保護的規則和條例。這委員會的工作已經擴張到全世界，一九二七年在瑞典京城斯德哥爾摩開的第二次國際放射

學會議 (International Radiological Congress) 已經將該委員會的各種安全條款，採作國際的

準則了。從前用低電壓的時候，X射線大都是軟的，發生的傷痕多是厲害的焦爛和表面的腫脹，牠們的外表和癌症相差不多。這被灼傷的原故，就是因為皮膚和表面體素吸收了軟X射線，這種傷害，完全是局部的。這種病症痛苦異常，傷害了從前許多做X射線工作的人，雖然牠的影響這樣的嚴酷，這樣的貽人予痛苦，但是牠有了一種好處，人們就不忍不繼續的來研究牠了。這種痛苦，不久也就明白了。但是X射線的工作進步了，用的電壓也較高，發生出的深入X射線也愈普通，因此X射線的惡影響，也變得更厲害了。硬X射線深入皮膚，被較深層的體素吸收進去，於是生出極厲害的貧血症 (anaemia) 及其他嚴酷的伤害，常致人於死亡的終局。然而硬X射線的惡影響，又不能迅速的顯現出來，所以到了發覺的時候，常常已經是性命難保的時期了。

運用任何種類的X射線管來照射，延長定量，總是很危險的。要避免這種危險，就須把器械改良，務使除所要的一條狹光以外，其餘的一概不准射出。我們已經知道元素的原子序數 (atomic number) 或密度，是能够限制X射線的深入力的。鉛是金屬，密度很大，又極不透明。所以用鉛來罩蓋X射線，卻是一種優良而價廉的物質了。事實上使用X射線管的時候，常用鉛箱來包圍着的，高

電壓的 X 射線，鉛就要四分之一吋以上的厚度。鉛箱內裝有隔板，或可以調整的小孔，使所需要的最小限度的光線，在所需要的方向上射出去。這是 X 射線保護的主要的目的，然而在要去包圍管子的時候，畢竟還有許多 X 射線射出，卻也是危險的源泉。除此以外，在 X 射線室裏面，還有其他的危險；例如高壓電流也常是危險的東西。二十萬弗的高電壓，生出的電流雖然極小，但是祇要有一個射擊，也足致人於死地了。預防電的危險，必須十分謹慎，務必要避去有射到病人或運用人身上的機會才好。高電壓在空氣裏面能夠產生一種化學作用，對於我們的健康上也有傷害的，所以 X 射線室內必須要有一個特別強有力的通風設備才好。這類事情，都在保護委員會所訂的條例上說明和指定了，所以運用 X 射線的人，假使能夠觀察得周詳，器械裝置得適當，構造得精密，就無需害怕有什麼惡果來降臨了。

在醫學上和外科術上，X 射線有兩種顯著的用處，一種是幫助診斷，又一種是作為治病的藥劑。在診斷上，X 射線的用處，很是明顯。例如治療折骨的時候，可以不時的用 X 射線來考察。物體到了人體裏面，可用 X 射線照見，並且可以確實知道牠在什麼地位；實在的，X 射線的技能達到了這

樣圓滿的地步，在歐洲大戰的時候，確是一件值得大加祝福的事情。X射線非但對於我們前面所說的幾種病症，有大幫助；現在一班內科醫生竟把X射線用到胸病心病的診斷上去，而且還用來研究消化的進行，考察腎臟膽囊等等的形態哩。

我們已經說過，X射線照片實在是一張黑影圖，依標本各處不同的密度，而射出濃淡不同的黑影。在研究胃或膽囊的作用上，就發生困難了，胃和膽囊沒有骨骼，決計投射不出黑影來，而牠們所有的體素，各處的密度又相差不多。在這裏X射線還有什麼用處呢？科學家總不肯把困難輕易放過，必得把牠解決了，才會安心。這種困難問題，不久也就解決了。在考察以前，先請病人吃些不透明的食物（opaque meal），普通總做成粥糜狀吃的。這種食物含有一種無害而質量極重極密的物質，通常用的便是鉍鹽（bismuth salt）。在消化進行的時候，鉍鹽經過各種器官，就給X射線一個極大的阻力，因此就投出了黑影。胃和其他器官經鉍鹽走遍了，牠們的外形和輪廓就會明晰的投到X射線板上，醫生便可注意到牠們的異常的狀態了。依同樣原理，用一種適當的藥品投入膽囊，射出黑影來，就可得到一個正確的診斷了。如果沒有X射線來幫助，那祇有瞎猜的一法了。

X射線其他的用處，就在所謂療法(therapy)方面，X射線最大的價值，也或許就在這療法上罷。但是現在所有的困難，也正極大。我們早已說過做X射線工作，必須要專家，而且要從X射線得到圓滿的價值，還有許多問題，先要解決哩。在現在的時代，X射線治療癌症的功効，是最能引人鼓舞的；有時X射線被人用來當作外科手術的附加，也有時竟用來替代治療的地位。

要正確的計量X射線的用量(dosage)，也是X射線工作上的一個困難問題，這個困難問題，也早被打退了。一九二七年第二次國際放射學會議的又一個重要工作，就是制定X射線強度的單位，作為萬國計量X射線用量的標準。會議上所公認的單位，是依X射線離子化的能力而定，牠的界說如下：『在二次圈原子完全被利用，室壁的影響也完全除掉，X射線放射量在攝氏表零度，氣壓水銀柱高七十六公分的時候，一立方公分的大氣空氣中，產生的傳導力，等於在飽和電流上量得的一靜電單位的電荷。』這個單位就叫樂琴，用文字表起來，就是小寫的r字。

此外還有一件事，我們也得下一句警告。這事不關X射線也不關鐳，但和兩者都有相似的關係。那就是紫外線(ultra-violet)放射了。我們看了第一圖就知道X射線和紫外線在光景裏面

是極近的隣人。牠們還有許多相同的性質；例如他們都不能用肉眼看見，對於我們的身體，都有劇烈的作用。用X射線來治療疾病必須專家，對於紫外線，幾乎有同樣的要求。雖然紫外線的功用，已確切無疑，但非熟手來使用，也每每可以釀成巨禍。各種放射，在專家用來都是一種新巧而極有力量的工具，但在無經驗不熟練的人手裏，就會闖出禍來的。

第五章 X射線在實業上的應用

X射線最著名的應用，雖然是在醫藥上，但發見後不多時，實業上的應用，也就有了許多報告。看了現在X射線在實業上的應用，這般廣大，使我們追想過去，尤覺興趣盎然。一八九六年二月，耶魯大學教授萊歐特（Professor A. W. Wright）照出一塊非人目得見的破碎金屬。牠的破隙和破紋，異常密接，決不是人目所能看得出來，但用X射線一照，則顯然可辨。這個結果，就引起炮官用X射線來考察軍器中有否隱匿的缺點，機器上也好用來檢查有無破損。一八九六年，法人也用X射線來檢查煤中的雜質以及金屬內隱藏的破碎。下列各項，即表示從前X射線在實業上的應用，也足證明實業界各方面，對於X射線都有了新應用了。

(1) 在舊金山用X射線來檢查混雜在麪粉和糖裏面的沙土及堊土，在德國則用來檢查其他各種食品中的雜質。

(2) 用X射線來指出蚌內的真珠，不庸剖開蚌殼。

(3) 區別真假寶石。

(4) 用X射線來檢舉用礦物質混入織物的欺詐行爲。

(5) 檢查郵包的內容。

(6) 檢認包裹裏的爆炸物和違禁品。

(7) 考察海底電線的絕緣與否。

這許多X射線的應用，在初起幾年很是發達，但後來爲了運用的困難，以及發生了鬼怪的X射線病，這些應用就停頓了好多年。

歐洲大戰的時候，吳威克研究所就設計應用X射線來解決一種重要的軍用品問題，又把X射線應用到考查各種軍庫方面，也大有得益。此後加緊研究，把技術和器械逐步改良，到末了竟把重金屬，如鍛炮物，以及重鑄造品和其他軍用原料，都用X射線來檢定，得到一個一定的標準。這個工作完成以後，其他各種工業品，現在也用X射線來檢查牠們的破隙和劣質的了。

我們在第二章裏已經說過，X射線的深入力由於用在管上的電壓而不同。單是電一方面的問題，並無多大困難；用在X射線裝置上的高電壓，平常極易取得。真正的困難問題，乃在管子的本身。直到現在，我們還製造不出一個管子，可以使用三十萬弗以上的高電壓哩。就是三十萬弗電壓的X射線管，也祇能供試驗之用罷了。現在市場上出售的X射線管，最高電壓祇有二十二萬弗。這種高壓管子，雖能深入金屬，完成其有價值的工作，但是對於重而價昂的物質，還有竭力擴張其深入力的必要。

鋼鑄物和鋼鍛物是最容易有內部缺陷的，這是大家所知的事實。這種內部缺陷，常常要在機器耗損了，碎片暴露出來，才會發覺。這種情狀，在經濟方面，顯然是一個很大的損失。有些時候，物件的缺點，在製作和裝運的時候，都露不出破綻，但在使用的時候，每每因為內部的破隙而工作柔弱，終至不堪運用。倘使事先就用X射線來考察了，就不致有反噬莫及的情形了；這也是X射線的價值。現在X射線用在其他的地方，就是考察造成功的東西，例如導火管，牠的內部構造是極混雜而又極重要的，那就非事先加以縝密的考察不可了。現時英政府的檢查部，也用X射線來校對已經

製成而密封的物件。

X射線還有一種重要應用，就是考察銲接。各種銲接，都易陷於缺憾，世間除X射線外，也沒有別種方法，能够不稍損壞銲接而能驗出銲接的健全與否的。因為這個原故，所以有限制應用銲接的事實了。在許多重要的機械上，非確實證明銲接健全而沒有缺陷的，不能應用，否則須用其他的構造來替代。所以用X射線考查銲接的研究，就令人大大的注意，結果對於金屬的銜接，有二吋或二吋半厚度的，其中的柔弱和缺陷的部分，都能用X射線檢視出來。這是要注意的，金屬厚了，就必須用攝影法才能顯明，那就要有片子的消費以及攝影器的設備了。反之，假使金屬的銲接祇有半吋的厚度，那末祇要直接用一螢光簾 (Fluorescent screen) 來幫助檢驗好了。假使工程師對於X射線漸漸的熟練了，那末在檢查銲接上，就會有一個迫切的要求，要求有一個特製的X射線裝置，使他們可以格外的便利運用，這是可以預料的。

要把放射的方法擴張到工程界上去，X射線的裝置確須大加改良，方能受人歡迎。許多年來，應用X射線的，祇有醫生，在器械上看來，醫生所需要的並不要和工程師所需的那樣厲害。在工程

上，X射線的出量必須十分壯健，足供全工廠或鑄造廠的任意使用，並且還要繼續不停才好。尤其重要的，牠們還得絕對的使人易於明白，絕對的能置人於安全的地步。特別的需要，當然要有特別的計劃。在醫藥方面，用的標本常爲人體，總差不多有同一的形狀和同一的X射線性質，但在實業上的各種需要，就各不相同了。

我們總不可以爲X射線照相是和用柯達克鏡箱拍快照一樣的簡單。X射線照相，絕不會那麼容易簡單。牠不能叫你把X射線管放在病人或標本的這一面，把片子放在那一面，用手一按鈕就能攝得映像的。要拍一個X射線照片，在技術上有許多要點，必須謹慎注意；要得一張好的照片，尤其要有遮光的技巧。我們已經說過幾次，X射線和平常的光是同類的，牠們和光一樣地服從分散的現象。所謂分散現象，祇要我們在迷霧裏面，點了一盞洋燈，觀牠所現出的朦朧纖毛，就可得到分散現象的真義，毋須再加解釋了。但是X射線穿過不透明體，也不會沒有損失的。有些投射光線在途中被吸收而消失了，又有的向各方分散，正像光波受霧或混濁水霧的分散一般。那些穿過標本現出來，感應照相乳劑而生出映像來的，都是直X射線光。分散的放射，非特無益，幷反有害。在X

射線技術上最難的一點，就是要盡力的把這個困難消滅。分散的X射線和其他任何X射線，都是性質相同，對於照相乳劑，都能起反應的。假使從標本上顯現出來的X射線，非但有直光線，（成直線的）而且還有分散放射，從上下左右各處現出，向各可能的方向放射出去，那末分散光線就會把照相板變成全黑，打破反映，照相的目的，也就毀滅無餘了。

那末我們將怎樣解決這個困難呢？前幾年德

國有一個物理學家名叫伯够（Bucky）的，爲了這

些二次放射，發明了一種極精巧的格子，或叫陷阱。那格子含有很多很多的鉛條，邊接邊的放着，和X射線的投射光線並行。這樣，主要的光線就得穿過鉛條的間隙射出去，毫沒阻礙，其他要取各種角度而穿過格子的光線，便被鉛條吸收不能走出去了。這種格子，放在標本和照相片子之間，參觀第四圖，

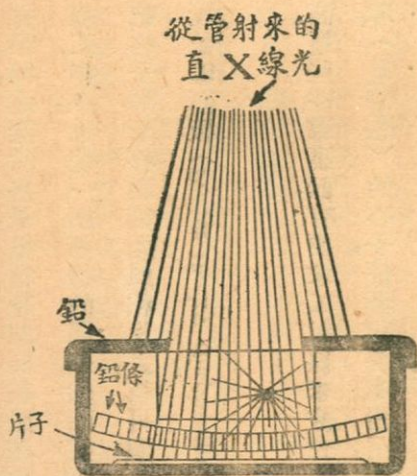


圖 四 第

對於伯够格子，就能完全明瞭。讀者至此，或許立即就會想到，這樣的格子，牠自身就要在照相片上投出一羣線影來的。這是完全確實的，在多數的X射線工作上，也是一個困難的問題。然而這種缺點，可以設法避免，祇要在曝光而還沒有投影的時候，把格子漸漸移動橫過照相片去，就可解決了。這種移動格子，應用頗廣；商場上有一種式樣叫做包脫伯够隔板（Potter-Bucky diaphragm）的，差不多已經達到了完善的地步。

近年來各種實業要求X射線的幫助的呼聲很高。這些呼聲裏面，有要求X射線來檢查煤中有沒有灰燼的孱和，又有要求X射線來檢查高爾夫球（Golfball）的心子，是否和各處對稱，是否在球的中心。X射線也能區別得出真假寶石；真的金剛石對於X射線是十分透明的，假的因為含有重元素（鐵）就比較的不透明了。實業家又利用X射線的生物作用，來殺滅香煙和雪茄煙裏面的微生物。飛艇的構造，原料和製作，都要十分健全，那是很顯明的；在這一點上，X射線就有極大的貢獻，所以X射線在重要實業上的應用，決不會被人忽視的。還有用X射線來避免各種意外危險的，那也值得注意，例如海陸軍演習時所用的空彈，可先用X射線照過，以免有真實的子彈偶然的

夾在炮箱裏面而發生危險。

在歐洲大戰的時候，虜得了敵人的軍用品，在用手去割開檢查以前，總先用X射線來檢查，以免危險。倘使不先用X射線來考察牠內部的構造，有沒有爆發物夾在裏面，如有，究在那處的說法，而貿貿然就動手開割，那就危險萬分。

那些像電的絕緣體和電線，也屬於X射線的檢查範圍，爲了這種意思，已經發明了特種的裝置，專作檢查牆壁和天花板上的汽管及電線的用度。把這種器械謹慎的調整好了，隱匿物的大小，可以量得十分正確。因此要造一個陽螺旋要正確的和一個陰螺旋相配合，那就非用X射線來決定不可了。X射線在這方面的應用，功用極大。如果要把X射線所有的各種用處，詳盡無餘的列出一張表來，那是不十分可能的；祇要把X射線和人們熟悉了普通了，實業上的應用，自然而然的會大大的增多。現在進取的皮鞋匠，正在試用X射線來檢查他們所做的皮鞋和皮靴，是否到了完全適當的地步，這使我們想來，那用意更深長了。

X射線還有一種特別有趣的應用，是阿姆斯特丹的赫爾隆博士 (Dr. Heilbron) 第一個調查

出來的。那就是檢驗古畫了。有許多有價值的古畫，現在已經查出，因為要隱匿原畫便於轉運免致壓壞起見，或是爲了別種原故，已經加上了近代的顏色。X射線爲什麼能够發見古畫塗有近代的顏色呢？因爲近代的顏料，大都由煤焦油（coal-tar）提鍊成功，密度較低，對於X射線都是透明的，古代的顏料，來源和近代不同，密度較高，對於X射線是不透明的。赫爾隆博士最著名的工作，便是查出了克尼列恩格爾勃勒斯頓（Cornelis Engelbrechtsen）所繪耶穌磔刑圖（Crucifixion）的真相。那幅圖上，前面跪着的是一個婦人，但是X射線檢驗出來，原圖確是一個牧師而不是個婦人。從此以後，這圖就恢復了原狀，原來的布局，也從此復現了。用X射線檢驗古代作品，業經許多調查者採用，因而得到重要發見的，也實在不少。

X射線對於獸醫學，又是一塊肥沃的耕地。狗貓吞食了外界的東西，用X射線來指出東西的所在，那是大家早已知道的了；非但如此，而且X射線在馬骨病診斷上，也佔了一個極重要的位置。這種用處，到了將來，笨繁的X射線裝置變得小巧靈便易於攜帶了，自然要大大地擴張的。用X射線來檢查大象，確實證明了牠吞嚥了一隻戒指，早也已有入報告過了。

在下面一章我們將研究X射線的分析結晶法實在也是X射線在實業上更進一步的用處。在這種場合，X射線早已有了一種價值，而且所用的調查方法，超出化學的領域而和化學的意義不相悖謬。在這一章，我們單就X射線的照相看來，已知道牠的功効正確，前途發展，正未有限量了。

第六章 X射線的結晶分析法

在我們要研究X射線怎樣去檢查結晶體的構造以前，我們先得要知道結晶體的眞義。我們對於物體的三態——氣體、液體和固體——都很熟悉。這三態的不同，完全是因爲牠們的分子運動的關係。我們知道世間的物質，都是由原子（atom）組成，原子也祇有九十二種。化學家研究化合物，他們採用的單位是分子（molecule），分子是原子的積聚。分子有時含有許多原子，有時祇有一個，例如金和鐵。氣體裏的各分子，聯接得很鬆懈，運動很速。在液體裏，分子間的吸力較大，分子的運動也有些限制，因此分子的接觸，雖不十分嚴密，但是比了氣體的分子，卻要緊接得多了。假使我們把液體加了大熱，使分子運動得更快，牠們就會互相分離，結果就成氣體了。當我們把促進迅速運動的刺激物移去了，分子就安停下來成爲一個比較靜止的狀態。例如我們把氣體繼續的冷卻，使分子運動遲緩，結果就成液體；假使我們加冷液體，使液體的分子吸力更加固着，我們就得到固

體了。固體內的分子，互相接觸得極嚴密，對於任何運動的趨勢，都有很大的阻力。固體有一個有趣的性質；等到一塊固體成功了，「自然」總命令牠的分子靜止而互相聯結，成爲一個極美麗而有規則的形態。這種步驟，在我們應用蒸發來製造結晶體的時候，可以看到。假使我們取食鹽水少許，置玻璃片上，徐徐加熱使水蒸發，水盡乾了，玻璃片上就有精美放光的小針狀體發現。這針狀體就是食鹽的結晶。各種固體，都是用有規則的方式造成的。假使在製造的進程中，繼續進行沒有中途的阻礙，那末造成的物體便很大，足以使我們認得出牠的分子，成爲有規則的排列，這種物體，我們就叫牠做結晶體 (Crystal)。反之，倘使爲了什麼原因，製造的進行在中途停止，停止了一時，又復製造，這樣造成的東西，雖然有有規則的部分存在裏面，但是牠不能夠造得很大，足以使我們認識出牠的整齊的排列了，這種固體，我們便叫牠做無定形 (amorphous)。

如果我們說所有的固體，幾乎都是結晶體的話，有些讀者便要驚異了。其實甚至蠶絲和羊毛，也是結晶的。但是玻璃卻非結晶體，確是固體中少數例外的一個。玻璃就是所謂無定形固體。關於結晶體，我們還有一種有趣的事例。我們已經知道物質的基本單位是原子，化合物的基本單位是

分子，現在我們知道結晶體也有結構的單位。這個單位叫做結晶模式單位 (crystal unit of pattern)。這結晶體單位，有時很難得到牠的真義，因為牠有三種長度而不是和圖畫一般祇有兩種長度的原故。然而也很簡單；我們祇要當牠是成塊的東西，不要當牠是平面就好了。伯蘭格爵士 (Sir William Bragg) 應用了糊壁的紙來做模式單位的實例。假使糊壁紙是有花紋的，那是我們常常可以劃出一方塊，使牠的花形大小可以成爲一個完整的模式，那整張的糊壁紙花紋，不過是這模式的重複而又重複罷了。於是這樣的方塊，就是一個模式單位，在這個例子裏是平面上的模式，假使再要得到立體的意思，我們祇要看了蜂巢的構造，全體由一個模式聯合而成，那就容易明白了。這樣的一種構造，也足介紹我們結晶模式單位的意義了。結晶模式是一塊小磚，含有一個或多個分子，分子依晶軸堆砌，成功一個完全有規則的形態，由此產生一座建築物，就是結晶體了。所以結晶體的構造，不過是小磚或叫單位的整齊排列而已。每個單位，各含有整個結晶體的重要形式和重要性質。這些小單位的形式，都是極尋常的。牠們都有三對並行邊，常成小的正方體。各種金屬，差不多都是這種形式。金屬中有些分子的排列是有一原子羣在正方體的各角上，還有一個在

中間。這種例子便是鐵。有的正方體的各角上有一原子，六表面的中心也有一原子。依這模式排列的便是鎳和鋁。這些事實，都是說明結晶體是以層列組成的。層列就是原子的有規則的排列，做成一個完全的格子，包含着重重疊疊的模式單位。

雖然這些結晶單位，構造得這樣精巧，在自然界中又有一個重要的功用，可是牠們卻渺小異常，決不是我們的肉眼所能窺見，即用最高倍的顯微鏡，也不能有所助力。但是我們研究了結晶體的外表，就可推斷模式單位是怎樣的形式和怎樣的排列了，因為這些單位的形狀和排列，就造成結晶體那些光澤的小面，使結晶燦爛放光的。用了這種的研究方法，去正確的測量結晶面和結晶面間的角度，從前的結晶學家，早已把各種結晶體非常正確的分類排列出來了。

我們早已說過勞厄教授在一九一二年的預言；他說假使X射線穿過一個結晶體，在結晶體裏面，我們假定着有排列整齊的原子層，可以當作一個天然極精細的迴折格子，那末X射線也就會迴折，好像平常的光，受割有密接細線的玻璃板所迴折的一樣。但是也有不同，結晶體並不和玻璃板上的線一樣是一個平面的格子，牠卻是一個立體有三種長度的。換句話說，牠是一個成塊的

格子。所以勞厄的預言，X射線的迴折，是複性迴折，因為X射線受幾個格子彎曲的原故。勞厄的預言，被兩位有經驗的物理學家，佛蘭列克和納賓，光明顯赫的證實了，這個結果，非但證明了X射線的性質和其他光線的性質相等，並且還發見了一種新科學——X射線結晶分析學——哩。

結晶體迴折X射線的能力，我們前已說過，是屬於結晶體中原子層與原子層間的距離，等於X射線波長的原故。在這一點上，我們就得X射線結晶分析的祕奧了。也就是我們用X射線來檢查微細的構造，比用最高倍顯微鏡來檢查還好小得一萬倍的道理。

使含有各種波長的X射線，通過一個結晶體射到照片上去，結果就可看見一個極對稱的斑點模式，這些斑點，就是因結晶體內有適當的原子層，迴折了各種X射線而成的。主要的X射線直穿結晶體，射在片子中心，顯出一個大斑點。各種光線成分所受迴折的總量，當然可以用迴折光線和直線所成的角度來計量。這種X射線的新應用，實足驚人，英格蘭伯蘭格教授父子很迅速的便把牠承認了，他們又用了結晶體內的原子層來推想X射線反射的觀念。但我們必須知道，我們所說的X射線反射，和用於可見光的反射，卻完全不同。X射線反射，並不是從結晶體表面反射出

來的。無論任何物質的表面，怎樣的光澤，用來反射X射線，總嫌太粗糙，X射線放射的時候，X射線透入結晶體少許，可以當作是受最表面的原子面所反射。伯蘭格教授父子倆，不久就在原子排列和X射線波長及X射線反射角三者之間，求出了一個極簡單又極正確的關係，所以祇要有兩個原子知道了，第三個因子，就不難求得。這個關係就叫伯蘭格定律，方式是 $n\lambda = 2d \sin \theta$ 。在此 λ 表X射線的波長， d 表分隔原子面的距離， θ 是反射角， n 表原子面參與反射的數目，就是所謂光景序數 (order of the spectrum)。

伯蘭格爵士創造了一種儀器，他名之曰X射線分光計，用此儀器，測量上述數量，可以十分正確。儀器中的結晶體可以轉動，使各結晶體平面都有反射X射線的機會，使一條已知波長若干的X射線射入。另外還有一種設計，使反射線和垂直線所成的角度可以讀出。伯蘭格不用佛蘭列克和納賓所用的照相板，卻用一個電離室 (ionisation chamber) 來記載反射線。光線經過電離室，使室內的氣體電離，氣體離子所通過的電流總量，就是X射線在任何角度上反射的強度。

我們在此，就知道X射線分光計，非但能够計算上述簡單方程式中的 d ——換句話說，就是

量出了結晶體原子間的距離——而且還可以由知道了距離，而計算出X射線的波長來哩。

用了X射線分光計和簡單的伯蘭格定律，X射線在研究物質的原子構造上，就有極大的功效。其他X射線的結晶分析法，在特種事業的應用上，也有特別的價值。伯蘭格的儀器，我們知道必須要用單個結晶體的。有時我們所要研究的物質，不易找得單個結晶體，那末我們所能做的最好的方式，就是把結晶粉末裝滿一小立方體來代替。或者我們要考察固體銅鐵的原子排列法，我們也可用一種相似情形的東西來替代。把許多結晶體堆聚起來，是沒有次序，也沒有排列的。在我們所述的事業上，我們知道結晶粉末和大結晶體有同樣的構造，假使把X射線通過這種完全沒有次序的質量，那裏卻有很多的原子面，足以適合伯蘭格定律，反射光線。這種分析法，受特倍 (Debye) 和虛爾 (Scherrer) 兩人的合作以及赫爾 (Hall) 一人的努力，推展出去，用在多種實業上和其他應用上，價值極大。這種方法普通叫做粉末法 (powder method)。

我們有了勞厄的激勵，伯蘭格的先鋒工作，因此就能够使用X射線（因為牠們的波長微小之故）來研究結晶體原子排列的方法了。這件事情，粗看起來，好像沒有什麼大用，且讓我們來稍

研究研究牠的眞義罷。物質所有的各種物理的性質，完全依牠的原子構造而異；硬性、韌性、脆性、滑力、彈性、傳電性——所有這些性質，以及其他我們所能想到的種種性質，都完全靠着原子的構造。假使我們舉一個特別的情形來做例子，這原理的重要地方，就格外容易明白了。我們現在就用炭元素來做例。在自然界裏，炭是一個最普通的元素，同時又是一個最重要的元素。炭是金剛石惟一的元素，金剛石裏面除炭以外，不含其他的元素。金剛石極少極貴又極硬，琢磨得適度的時候，有極好的光采。然而石墨所含惟一的元素也是炭，石墨就很普通又很軟，因為牠軟，我們已經把牠當作一種最好的潤滑料，而且價錢又極低廉。這兩種物質，都是純粹用炭造成，為什麼牠們的性質竟差異到這般田地呢？牠們的不同，實在祇是因為牠們的原子排列法，有了一個極小的差異罷了。

伯蘭格教授把他的結晶分析法應用到金剛石和石墨上去，他非但能夠決定兩者炭原子間的距離，並且在構造上還檢到一個不同的地方，確足解釋兩者物理性質的所以不同。伯蘭格發見金剛石原子的排列，是成一種有四個面的錐體（four-faced pyramid），一原子與他一原子相隔的距離是一·五四安拜斯屈勞（一安拜斯屈勞等於萬萬分之一公分）。炭原子相互的吸引力，

非常強大，要分裂牠們，幾乎是一件不可能的事情，這就是金剛石的所以堅硬了。那末石墨怎樣呢？
伯蘭格教授發見石墨的構造，除一小特點外，其餘概與金剛石極相類似。石墨的炭原子層和炭原子層間的距離，比金剛石原子層間的距離加闊了，原子間的吸力，也就大為衰弱。實在石墨之所以成爲一種優良的滑潤料，就在牠的炭層容易擦去。我們用鉛筆寫字，就是擦去炭層的工作。我們知道金剛石和石墨的根本不同，就在石墨原子層間的距離比金剛石的闊了兩倍多的原故；由此，我們也可以知道原子構造的重要了。

在種種化學的研究上，X射線結晶分析法，確有極大的價值。在這種分析法沒有出世的時候，化學家因爲要解決困難的問題，不得不造假說，此種假說，不過是化學智能上的貢獻，卻沒有事實可以拿來確實的證明。有許多假說，後來應用X射線分析法來實驗，就確實的證明了。這種方法，在研究爆發物上，也很有價值，算出了那些爆發物的感受性爆裂性，也可得到重要的警告。

冶金學又給予結晶分析家一個極大的研究範圍。在這一方面，有許多重要工作，早已做成。瑞典威斯特格林（Arne Westagrin）博士對於這種工作，尤其努力。鐵從原子構造上看來，卻是一種

奇異的金屬。純粹的鐵在尋常溫度時，有所謂中心體 (body centroid) 的立方體構造。那結晶單位的模式是一個立方體，立方體的每角和中心，都有一個原子。冶金學家稱這種叫阿爾發 (alpha) 鐵。但是把鐵加熱到攝氏千度左右的時候，牠的構造就改變了，改變成所謂辯媽 (gamma) 鐵。辯媽鐵的結晶單位模式卻和阿爾發鐵的不同；牠就變成立方體的各角和各表面的中心有一個原子了。這種鐵的區別，無論用什麼化學方法總分別不出來，但是用 X 射線結晶分析法來檢查，就很容易認識了。這兩種性質不同的鐵，在機械工程上卻很重要，不能不區別的。

X 射線在機械上還有一個重要的應用，就是牠們能够檢查出金屬中結晶體的方位 (orientation)。假使我們把一塊鐵或一塊銅放在兩個重轉軸中捲起來，那末牠的結晶體單位，就向一個特別的方向排列起來。這種情形卻和物質的張力相似，如果發見有這種方位情形存在的時候，我們就可用適當的鍛鍊法來免除牠。換句話說，把金屬灼熱，使結晶體起劇烈運動，失掉牠以前的排列方法。用 X 射線分析法，這結晶體單位，先前的排列，很容易檢出，因之可用鍛鍊方法來把牠們校正到適當的程度了。這種檢查方法，事先無需割裂標本，事後又不受損傷，確是再好不過的了。

X射線結晶分析法另有一分支的應用，雖然牠發展的能力，還沒有像我們所說過的那許多工作，那麼利害，但是牠的價值卻也不可磨滅。那就是化學分析了。世界上所有的元素，受了高速度電子或其他X射線的相當刺激，都會發生X射線的。計量牠們所生的X射線的波長，就足區別各元素的性質。所以假使我們要決定一種未知物質，究竟是什麼東西，我們就可拿這物質來做X射線管的標的，使牠放出X射線來，再量牠們的波長，從波長的長短，就可斷定那物質的本質了。倘使未知物是一種混合物，例如鎳鐵合金，那末發出的X射線就要包含表明鎳性和鐵性的兩種波長了。所以在X射線分析上看來，我們所要分析的物質不論是純粹的或是化合的，分析法毋庸變更了。任何假裝或隱匿的東西，X射線會透入牠們，揭穿牠們的。因為這個原故，X射線化學分析在許多情形之下，總比尋常的化學分析法好得多了。

關於X射線的重要問題，我們所能述的，不過是這一些，讀者如果感有興趣，可購外籍深加研究，購置儀器從事試驗。此書所述原理，基本而重要，可做研究者的階梯，也可當作普通的常識。

中華民國二十四年六月初版
中華民國三十六年二月三版

(59221)

自然科學
小叢書 X
射線一冊

定價國幣壹元伍角

印刷地點外另加運費

版 翻
權 印
所 必
有 究

著 者 胡 珍 元

主 編 者 王 雲 壽 五

發 行 人 朱 經 農
上海河南中路

印 刷 所 商務印書館
商務印書館

發 行 所 商務印書館
各地商務印書館

民國 53 年 5 月	
登錄 錄碼	3766
分 類	083.7 1424
編 號	76

贈

臺灣省立臺中圖書館



31120003411435

31120003411435
S 083.7 1424 v.76
胡, 珍元
X射線

PTL 國中圖

083.7
1424
76

3766

著者 胡玲之撰
Author

書名 X 射線
Title

083.7
1424
76

3766

著者 胡玲之撰
Author

書名 X 射線
Title

083.
1424
76

