

與X-ray為伍的兩個月

—記暑假的實驗

王義瑛

前言：本實驗結束後，未及詳細整理實驗結果，新學期就開始了。值編者索稿，本欲以隨筆方式略述一二，未料編者向鄭先生索稿時，鄭先生因公事繁忙，囑筆者詳述實驗經過，故本文後半部係以實驗報告體裁書寫。若有闕漏，尚祈諸位不吝指正，是幸。

爲了這是最後一個能讓我們自由支配的暑假，也爲了想在心版上留下些雪泥鴻爪，我企盼在這段有意義的時間裏做些有意義的工作。期末考後，忙過了，亂過了，也玩過了，往後將會是一片真空的日子。這時候，很感謝李世緯打電話來邀我共同做實驗，請鄭伯昆先生教我們一些東西；久仰鄭先生在實驗上的成就，於是我們物三的六位同學在暑假中便湊到一塊兒了。

我們把這個意思向鄭先生說明後，難得鄭先生在百忙中答應一星期讓我們做兩次實驗。（特別聲明：這句「百忙中」並不是恭維話，而是事實。據我所知鄭先生自己要做 Mössbauer effect，要帶一部分四年級同學及研究生實驗，又要籌劃下學期新的實驗，新的教材）。鄭先生告訴我們，關於X-ray方面的Moseley's experiment，目前在臺灣很少人做過，而其原理及步驟並不太深，很適合剛讀完大二的我們；若好好做的話，也很能學到些實驗的技巧，得到些實際的經驗。

由於我們以前只在「近代物理學導論」中學過一些關於X-ray光譜的特性，對於實際儀器的操作和應用則是完全陌生的；所以鄭先生讓我們由

X-ray Tube的操作下手，再做些有關X光的簡單實驗，如Laue Spot及X-ray對數種金屬的穿透力等，使我們熟悉操作X光管，沖洗底片及換靶的方法和應注意的地方。另外，爲了操作的更方便、更安全起見，我們曾加做了鉛屏、換了液態空氣瓶的支架，並改裝了部分的線路。實際的工作使我們更清楚了儀器各部分的功能，且更體會到理論和事實間如此巧妙的契合與出入。我們的儀器和地質館裏那架只要按鈕就會自動運作的X-ray generator比起來是算簡陋的了，但正因它簡陋，每一部分都需要「侍候」，幾次做下來，我們很高興它不再是具「黑箱」了。

剛開始的時候，什麼都是新奇的，記得當第一束的X光被我們用螢光筒測出時，一個個都興奮極了，顧不得放射性可能有的危險，大家都爭著用任何手邊可拿到的東西來試驗X光的穿透力，意猶未盡，竟看起自己手指骨的形狀來了。但做X-ray的實驗總歸是件很費時間的事，抽真空就要花上三、四小時，照起像片來，曝光時間又動輒一兩小時，抽真空時還可以不必守候在旁，但照像時却要隨時注意儀器的狀況是否正常，所以一定得在旁耐心等待（好在暑假裏的時間比較充裕，我們也就樂得

揮霍一番了）。當然，我們也不完全是坐在那兒白賠時間，這時候是讓我們檢討上次實驗的優點和缺點，想想改進的方法，怎樣才能做得更好，以最省時，最省力的方法，得到最精確的數據。

另外，鄭先生還抽空給我們上課，講解一些較精深的原理，提醒我們實驗應注意的事項。當然在準備實驗的過程中，講義和參考書是少不了的，據說我們用的這些講義還都是許多年前的老大哥、大姊們花過苦工夫整理出來的實驗報告，這些報告也的確有值得佩服的地方，條理清晰，說明透徹，由此可見他們用功之一斑。

在我們熟悉了光管的操作，底片的沖洗和換靶的方法後，就正式開始了Moseley's exp.。最先是製作儀器，但其中旋轉盤是以前留下來的，底片匣是物四的幾位同學幫忙做的，所以這方面我們沒花多少工夫；但在裝置儀器時倒費了一番思量，幾次的修正再修正，所得的結果才差強人意，由洗出的像片上看來，我們確實是一次比一次進步，這點倒給了我們很大的鼓勵，似乎一個多月來的辛勞都值得了。在做Moseley's exp.時，我們的工作是加重了，但我們的興趣却愈來愈高，早上做不完，下午接著做，有幾次甚至連晚飯都端到實驗室來了呢！

在實驗結束後，我們比較所攝的底片，對每一種靶金屬都選出一張結果最好的，再加以分析、計算、繪圖，並沖成了正片。以下便是我們的實驗，正片也附在文後。

※實驗名稱：Characteristic X-ray spectrum and Moseley's Experiment，

※指導老師：鄭伯昆先生 助教：陳建瑞先生

※參加同學：物理系三年級李世緯、李羣和、項義、陳英琦、劉國康、王義瑛等六名。

※實驗目的：研究X-ray Tube中的靶元素之原子序與所射出的X-ray特性光譜之頻率間的關係。

方法：利用X-ray在晶體之原子層間反射而造成的干涉條紋來測量X-ray的波長 λ 。此次實驗所用晶體爲Calcite（方解石）。

(2)更換X-ray Tube所用的靶，記下靶元素之原子序，再測波長。

(3)用不同的元素做靶，繪出「 $\sqrt{\nu}$ 對 Z 」圖。

※原理：(1) Moseley Diagram

Moseley發現X-ray特性光譜的頻率 ν 與靶元素原子序 Z 間有著簡單的關係，以K-series中的第一條譜線 $K\alpha$ 爲例： $\nu = \frac{3}{4} CR(Z-1)^2$

其中 C 爲真空中光速， R 爲Rydberg常數。

故所畫出的「 $\sqrt{\nu}$ 對 Z 」圖爲一直線。此圖稱之爲Moseley diagram。

(2) Bragg Equation 與X-ray之波長 λ ：

Bragg 父子發現當 X-ray經過晶體反射後，在適當的安排下，可得到明顯的亮紋，其關係如下：
 $2d\sin\theta = n\lambda$ —— Bragg Equation,

其中 d 為晶體內原子層間距離； θ 為入射光與原子層面之夾角，故入射光的延長線與反射光之夾角為 2θ (見附圖)； n 為正整數； λ 為所用的波長。查書可得晶體之 d 值，取 $n=1$ ，測出入射光的延長線與反射線間夾角，可推算出 λ 值。

※實驗經過：

(一)儀器製作：

(1)底片匣：用鋼管做成內徑約為10cm 的半圓形匣，中間可裝入約 3cm寬的感光底片一條。

(2)旋轉軸：用電唱機之轉盤連馬達改裝而成，將轉軸加高以便放置晶體。

(3)狹縫盒：用厚鉛板拼成，中有一道狹縫，供光線通過。

(二)儀器裝置：

(1)將旋轉軸安置於一可調高度的木板上，木板上有三個螺旋支腳。

(2)依下列各步驟裝置狹縫盒於木板前方中央，並定出底片匣之位置：

(a)找出轉軸的旋轉中心：

因儀器製作難免將轉軸做成一偏心圓，即其幾何圓心並不一定是旋轉中心，欲找出其旋轉中心，則先畫出此偏心圓周上一定點在轉軸旋轉時所造成的軌跡(為一圓)，再用幾何法找出該圓的圓心，即為旋轉中心。

在初找出的旋轉中心上插一根大頭針，再取一固定支架垂直插上一根大頭針，使眼與兩針成一直線，開動馬達，若見兩針始終合一，則該點確為旋轉中心。

(b)將狹縫盒置於木板前方中央，使自狹縫透過的平行光恰通過旋轉中心。

(c)用硬紙板定出底片匣的位置：

找出底片匣的內徑 r_1 外徑 r_2 及轉軸之最長半徑 R 。取一塊適當大小的長方形硬紙板，以

r_1 、 r_2 及 R 為半徑畫三個同心圓，再依底片匣實際的曲度略加修正，並依我們打算在木板上安放底片匣的位置大小將圓切去一部分後，將欲放底片匣及欲讓轉軸穿過的兩部份挖去，再將此剪好的厚紙板固定於該木板上(見附圖II)，使得當底片匣置此部位後，由狹縫射入之半行光恰可經匣上中心部份的小孔穿過，則底片匣下位置固定。

(3)固定晶體位置：

將一塊厚約 3mm 的方解石晶體平貼於一L型鋁片上，再把鋁片放在轉軸上，使晶體中心的垂線落在旋轉中心；水平調整鋁片位置，使由狹縫透過的平行光線恰沿晶體表面切過，當晶體旋轉後，亦復如是。(此時，我們用可見光做為光源，用眼睛觀察其位置是否正確)

(4)用螢光筒找出X光管所發射的X光之路徑。

(5)將整個木板安置在 X-ray Tube 前，調整木板的高度，使之和原先測好的 X-ray 路徑相合。按下高壓電源，使之產生X-ray，置螢光板於底片匣中心的小孔後，調整至有 X-ray 經狹縫，晶體小孔射至螢光板上，開動馬達，觀察螢光板上明一暗的情況是否良好，準備攝影。

(6)將裝好底片的底片匣放在原先預定的位置，開動馬達，開動 X-ray Tube開始攝影，由攝影結果可看出裝置合不合標準，繼續修改裝置至最理想情況。

(7)換用不同的金屬靶：

我們第一次用 Cr (原子序24)，依次再用 Fe(26)，Co(27)，Ni(28)，Cu(29)和Mo(42)，分別攝影。

實驗數據：

底片匣直徑：10.3 cm； 方解石原子層距離 $d=3.028\text{\AA}$ ；

攝影日期	靶元素	原子序	X光管電壓 (KV)	曝光時間 (min)	$K\alpha_1$ 線與度片中心距離 (Cm)	θ (徑) = 與底片中心距 直徑	波長 λ (Å) = $2d\sin\theta$	$1/\lambda$
1.	$^{14}_9\text{Cr}$	24	17.4	90	3.94	0.383	2.26	0.667
2.	$^{18}_9\text{Fe}$	26	21.0	120	3.31	0.322	1.94	0.717
3.	$^{19}_9\text{Co}$	27	25.5	150	3.08	0.298	1.80	0.746
4.	$^{19}_9\text{Ni}$	28	25.5	150	2.83	0.275	1.67	0.774
5.	$^{20}_9\text{Cu}$	29	25.8	150	2.58	0.251	1.53	0.808
6.	$^{20}_9\text{Mo}$	42	27.0	150	1.12	0.109	0.674	1.22

後記：這次的實驗經過整整的兩個月零五天終於在九月廿日結束了。但鄭先生對我們教導之熱心和要求之嚴格都令我們難以或忘。又在民國五十一年九月至次年三月，當時物四的五位女同學施慶璋、張劍二、陳惠美、商夏惠及洪莎莉曾做過此實驗，我

們所用的部分儀器是當時留下來的。幫我們做底片匣的是現在四年級的黃培珩、梁煊廣、彭展粵和王正強四位同學而本文之成多賴李世緯、李群和兩位同學之鼎助，官東生同學幫忙繪圖，在此一併致謝。