

# 中央研究院

## 物理研究所簡介

概說

王凱弘

中研院物理研究所於民國五十一年在南港復所，聘請吳大猷先生爲首任所長。現任所長則爲林爾康先生。

國內物理研究向以台大、清大、中研院三地爲中心。過去國家發展的重心放在清華，一直到近幾年，清華方面的人員、設備充足了，才轉而著力中研院物理所之發展，不僅於南港蓋了一棟物理研究大樓，並積極招募研究人員，目前已有二十五名專任研究人員。

「提倡國內物理研究風氣及促進物理研究人員之心得交換」爲所方工作原則。故目前所方除了本身之四個研究方向（理論、原子核、固態、大氣流力）以外，並積極推動全國性的演講會及研討會，如粒子物理及場論研討會，原子核物理研討會，與台大合辦的丁肇中先生、Glashow先生之演講會，與清大合辦之統計物理研討會，與物理中心及物理學會合辦之凝體物理研討會……等等。此外，所方亦經常邀請國外學者來所從事訪問研究工作或演講，如郭子斯博士、謝瑞平博士、Dr. S. Glashow、Dr. J.S. Nilsson、Dr. I.F. Silvera、Dr. K. Nishijima……等等。

在圖書方面，所內擁有參考書籍一萬兩千餘冊、國內外物理期刊百餘種，供研究人員閱讀。

除了上述工作外，所方亦幫助各校研究生至所內從事論文之撰寫與研究，藉此培育後進人才。

理論物理組簡介

胡進鯤

物理學研究有實驗物理和理論物理兩方面。實驗物理研究的目標是希望發掘新的自然現象及其規律性，而理論物理研究的目標則是希望想出一些新的物理觀念以了解自然現象，尤其是希望以少數的觀念了解許多表面看起來並不相同的現象。理論物理研究要做得好，最重要的就是要能想出新的觀念，也要知道別人的新的觀念和新的結果。從本

年度開始，中研院物理所增訂很多期刊，以後重要的物理期刊大都可在這裏找到。但論文從投稿到印出來大約要半年以上，國外出版的期刊寄到台灣大約又要二個月，爲了知道國外新的理論物理成果，我們理論組建立一個 reprint library，收集國外剛寫好但是尚未發表的論文。此外，我們也利用出國開會的機會到國外一些研究機構短期訪問，和

國外學者面對面談物理新的發展，目前理論組的江慶章、李世昌，和曾詣涵等人都在國外短期訪問。

中研院物理所從民國七十年起，開始有理論物理組，目前研究方向大致為原子核理

論、量子場論與粒子物理，以及統計物理。共有研究人員五人，其中蔡尙芳先生和台大物理系合聘。

(註：胡先生為所內研究人員。)

### 實驗原子核物理組簡介

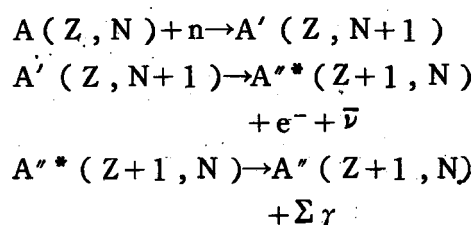
王凱弘

欲探究原子核之構造，首先須對合成子 (nucleon) 之間的作用力有所了解。這些力是強作用力 (p-p, p-n, n-n)、電磁力 (p-p) 及弱作用力 ( $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ )。對於電磁力的研究目前已十分精詳，由之所導出的原子核性質 (Quadrupole、magnetic dipole……etc.)，均可相當精確地推算及量度。在強作用力方面，已有的知識就遠不如電磁力方面詳細，但是我們仍可就已知的性質來揣摩核內部的結構，然後由此結構模型推導核本身之各種性質，再與實驗所得之資料比較核對，可知此模型之「真實性」如何。至於弱作用力，因其力強度遠不及強作用力，故除非直接研究輕子—核交互作用，通常不予考慮。

不過，由力的定律著手，逐步發展出原子核構造模型是理論物理學家的事業。目前中研院原子核物理組所從事的工作，主要是原子核能譜及伽瑪躍遷之角相關、機率等資訊之取得及分析，還有實驗設備的改進。

核能譜取得及分析的方法就叫核譜學，是藉著核在能階躍遷過程中所吸放的粒子 (或光子) 能量來了解原子核的內部結構。假設原子核可有許多 eigen state，當一粒子 (或光子) 衝擊原子核時，可能會和原子核交換能量，使其躍昇至較高能階。處於受激態之原子核並不穩定，在一段時間後會釋出各種能量的粒子 (或光子) 而回到基態，這些釋出的粒子所帶的能量各自對應於一種能階差，因此，研究這些能量可得部分核結構之資料。

目前所方研究的主要方法是在原子爐中將一慢中子置入試劑 A，產生 A 之同位素 A'，經  $\beta$ -decay 後成為一處於激態中之原子核 A''，然後測量 A'' 回到基態過程中所釋出之  $\gamma$ -ray：



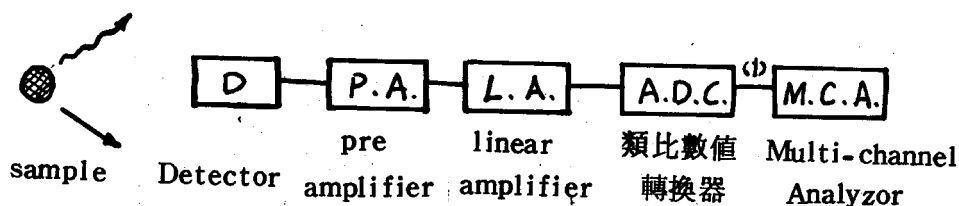
如此，我們可以獲得 A'' 之核譜。

當原子核之能量作躍遷時，其各 eigen state 均對應不同之 J (Angular momentum) 及  $\pi$  (parity)，各 eigen state 間 J  $\pi$  之關係可由研究躍遷中釋出之光子與核某特定軸之夾角而得。但由於所取試劑通常含有許多原子核，因此我們便藉同一核中連續釋出之兩個光子間之角相關來討論原子核之 J、 $\pi$ 。當然，這一類的度量都與機率有關，這現象便稱為伽瑪躍遷之角相關。

由以上兩種方法，目前所方人員能確實掌握的資料有各樣品核的 energy level, spin, parity, life time of excited state 等等，而由原子核能階躍遷的情形配合適當的核模型，亦可導出波函數。

為求實驗數據的精確，同一實驗必須要重覆數次，同時亦與其它機構之實驗結果相比較，當有較精確的數據時，便可從事分析，並負起驗證理論模型的功能。

在實驗中，數據取得的基本設備如圖：



其中最貴重的是MCA，可接受各種不同能量的訊號，將之記錄於相對應的頻道上，而得一能量一個數的圖形。MCA的缺點除了昂貴以外，它所能直接提供的物理量之間的圖形（個數—能量）也不敷應用。因此，所方希望在圖中(1)處用Apple II取代MCA，如此，可利用電腦程式將實驗中偵測到的訊號繪成多種物理量之相關圖形，如能譜、伽瑪躍遷圖等，於是在人眼前所呈現出來的資料，就較由MCA而得的豐富，且利於分析各函數關係，而略去複雜的Mapping手

續。

此項設備名為DATA ACQUISITION SYSTEM，其所須研究的基本問題，是在資訊處理及訊號產生之時距上。Apple II執行一個動作須時 $10^{-6}$ 秒，而實際上兩個訊號產生的時差可小到 $10^{-9}$ 秒，因此我們無法使Apple II直接處理這些訊號。於是，便須製造靈敏度在 $10^{-9}$ 秒內之儀器，先行接收實驗訊號，之後每隔 $10^{-6}$ 秒輸入Apple II，供其記錄於磁碟或磁帶。

#### 大氣環境風洞介紹

王凱弘

物理所大氣環境風洞建造之目的，是爲了研究大氣邊界層性質，以便爲人類適應環境、改造環境提供相關之資料。所謂大氣邊界層，所包含的範圍爲距地表數百公尺以下之大氣層，一方面是人類生存的主要空間，一方面也是大氣層和地表進行交互作用（例如能量、動量、質量之交換）的主要場所。

此類研究有三種途徑：其一是從純理論下手，做數值模擬分析，但其隨機起始條件及須處理之資料太多，至今尚無具此類巨型容量之電腦可資應用。其二是實地測量，這顯然要耗費大量的人力物力及時間。於是，將地形地物作成縮小之模型，在實驗風洞中作模擬試驗，便成爲最可行的辦法。

只要是流體，便都有類似的性質，因此，水槽也可以用來模擬氣流實驗。大氣物理組便曾用水槽模擬研究中央山脈對颱風路徑的影響。

風洞之結構如圖，屬於吸入開放式風洞。空氣經由末端之蜂巢孔吸入，再經由四層

細網及收縮段後，形成均勻氣流，進入試驗段。爲了形成紊流（即模擬大氣邊界層之情況），可採自然發生或人工障礙的方式。所謂自然發生即指任由氣流及管壁之間產生的摩擦力及氣流本身之黏滯力形成紊流。人工方式，如參觀當天，在風洞內有磚塊置於試驗段前端，藉此產生紊流。

依照實驗所須紊流層之厚度及流場特性，在試驗段中設立三個實驗圓盤（如圖，圓盤本身爲夾板製成，可予拆卸或轉動，以便模型之置入及測試不同之相對風向。）。第一個轉盤可以從事均勻氣流、低紊流之空氣動力實驗。第二個轉盤可以從事一般大氣擴散之研究，該處紊流可發展至50公分厚。第三個轉盤紊流層已可發展至100公分以上，可以從事風力對建築結構物之影響。

在試驗段內有一可操縱移動的支架用以固定偵測儀器探針，由此取得實驗分析所需之風力、風向及溫度……等數據，直接輸入電腦。

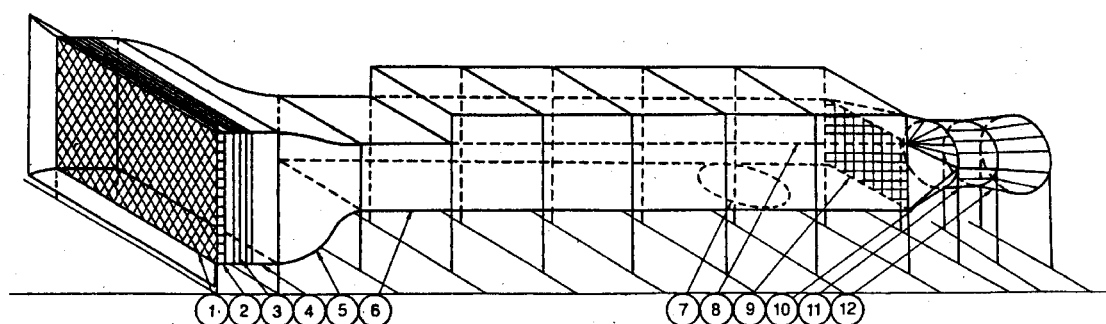
風洞本體工程於七十二年完成，其附屬設備亦於七十三年初裝設完成。目前所方正在測試風洞內風速分佈之情形，以為將來實驗所需。

風洞完成後，可實驗之問題包括：

- (1)大氣近地層風力對建築結構物影響之研究，以配合國科會防災科技研究。
- (2)複雜地形地物之紊流擴散現象研究。
- (3)受小尺度地形影響之氣流現象研究。
- (4)雷諾數與福祿數（或李查遜數）變化條

件下之基本紊流現象研究。

No	說明	No	說明
1	保護網	7	試驗轉盤
2	蜂巢管	8	可調高度頂板
3	整流網	9	安全網
4	整流收縮段	10	風扇收縮管
5	收縮段	11	軸流風扇
6	試驗段	12	擴散管



大氣環境風洞立體圖

中研院固態實驗室參觀有感

——淺談凝態物理（Condensed matter）中的一些探測技巧

黃紳嘉

一前言：

七月三十日匆匆一行，三個小時的參觀時間，無異走馬看花，因此要對中研院固態物理實驗室做全面介紹，勢必只能浮光掠影點到為止。為了使本文略具深度與系統，筆者斗膽抗命，捨固態實驗全體，而僅以“雷射光譜實驗室”為經，以各種偵測技巧及原理為緯，草成此文，還望編輯大人莫扣發稿費才是。

什麼叫譜學（spectroscopy）？為什麼需要它們？人類的眼睛固然巧妙無比，使我們能欣賞色彩繽紛的大千世界，但是在科學的領域中就顯得功能不足，若想知道物質中的原子排列、雜質含量、轉動能階、振動能階、鍵長、種類、數目……等，就必須發展

“第二視覺”——譜學。所謂譜學，就是利用各種媒介（ $\alpha$ 粒子、中子、電子、光子……）去撞擊待測的樣本（sample），然後用偵測器收集資料分析數據以求得結果的科學。

在本文中僅介紹用光做為探測媒介的部份，因為在凝態物理中，光是最常用且最方便的。

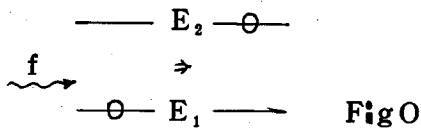
二光與物質的作用：

要以光為媒介去探測物質，首先就要先了解兩者的交互作用，其作用不外乎下列幾類：

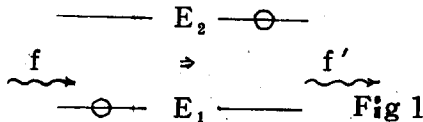
(1)吸收（absorption）：

a.入射光子被原子吸收，使原子從低能階躍遷至高能階。

$$hf = E_2 - E_1$$

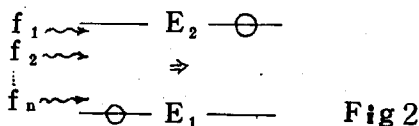


b. 吸收頻率取決於能階差及原子種類；而且光子能量是不可分割的，要就全部被吸收，不然就全不吸收，不可能被部份吸收而變頻，所以：



$hf = hf' + (E_2 - E_1)$  是不能發生的。

c. 但是原子可以一次吸收兩個以上之光子而躍遷。但機率較小。

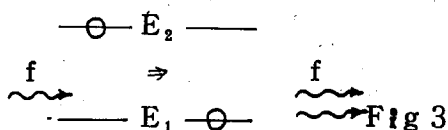


$$h(f_1 + f_2 + \dots + f_n) = E_2 - E_1$$

d. 物質吸收光遷至高能階，不久後又會掉回低能階而放出光子，稱之為螢光 (fluorescence)。一般而言，能量與所吸收之光子應相同，但是由於反彈效應 (recoil effect, 為平衡原子與射出光子動量所產生之效應) 故能量減少了一些，所以原子核的吸收比發射頻高 (這在梅思堡效應中是很重要的變因)。

(2) 激發發射 (stimulated emission)：

此為愛因斯坦於一九一七年所提出，當原子原來若在高能階  $E_2$ ，而這原子有另一能階  $E_1$  低於  $E_2$ ，此時如果有  $f = \frac{E_2 - E_1}{h}$  之光在附近，則會刺激原子掉至  $E_1$ ，放出與激發光同頻、同向、同偏振的光子。



(這是雷射的由來)

(3) 散射 (scattering)：

光被原子“假”吸收又馬上放出，但放出之光子的行進方向與原來的方向不同，稱之為散射。

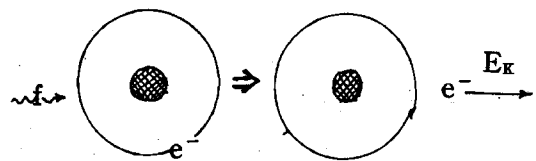
a. 如果散射光頻與入射光頻相同，稱為瑞利 (Rayleigh) 散射。

b. 如果散射光頻與入射光頻不同則稱為里曼 (Raman) 散射。

c. 如果原子排列整齊 (晶體)，此時將 X 光射於其間，可在某些角度因同相而加強。Brag's law:  $2d \sin \theta = n \lambda$   $n = 1, 2, 3, \dots$ ，我們特別稱之為 X 光繞射 (x-ray diffraction)。

(4) 光電效應：

光子把所有能量給予電子，使電子逸出原子。



$$hf = E_K + E_B$$

Fig 4

$E_B$  為電子束縛能， $E_K$  為逸出動能，且  $hf > E_B$ 。

(5) Compton 效應：

如果光子打到自由電子，則光子之頻率及方向和電子的動量及能量均改變，稱之為康卜吞散射。

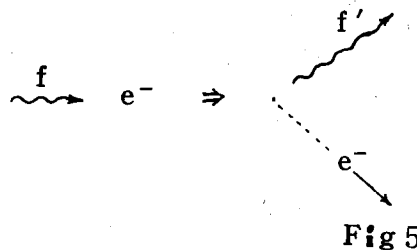


Fig 5

(6) 正負電子對 (pair production)：

如果光子之能量大於 1.02 MeV，則能在原子核附近產生正負電子對。

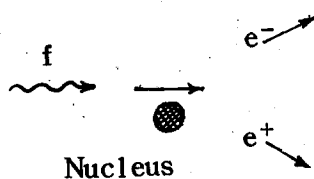


Fig 6

以上各種現象，量子電動力學已可充份掌握。至於光子照射物質後會產生以上那一種作用？各種作用發生的機率則與入射光頻及物質特性有關。

### 三方法介紹

#### (1)里曼 (Raman) 散射：

##### a. 原理

此為印度物理學家 C.V. Raman 在一九二八年發現的，中研院的雷射光譜實驗室就是應用此一原理。

剛才在上節的散射部份，就已提過瑞立及里曼散射，前者是一種彈性散射；而後者屬非彈性，光出來時頻率改變了，顯然它在物質中損失或得到了能量，而這些能量變化就是物質的原子或分子能階差。一般而言，里曼散射要比瑞立弱  $10^6$  倍。

我們通常以波數  $K$  為橫軸來標示兩者之差別。因為  $K = \frac{n}{\lambda}$   $n$  為折射率， $\lambda$  為入射光波長，空氣之  $n \approx 1$ ，所以  $K = \frac{1}{\lambda}$  又  $f\lambda = C$  ( $C$  為光速)  $\Rightarrow f = CK$   $E = hf = hCK$  ①

因此，當發生里曼散射，如果

(i) 入射光子在物質中得到能量，則散射之光子，頻率變大，由式①知  $K$  亦上升，所以繪圖後里曼譜線在瑞立譜線之右側，稱之為 anti-stokes 側：

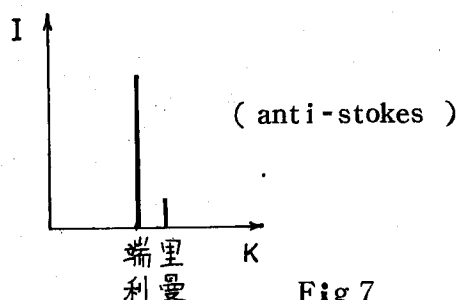


Fig 7

(ii) 反之，若光子在物質中失去能量，則頻降波數亦降，因此里曼在瑞立之左側，稱為 stokes 側。

我們由譜線之分佈，可推得物質之能階及構造，從散射光強度可決定分子數目。

里曼散射之強度可用下式表之

$$I_s = \frac{8\pi\omega_s^4 I_L}{9C^4} \sum_{\rho\sigma} |(\alpha_{FG})_{\rho\sigma}|^2 \quad (2)$$

$\omega_s$  為散射光角頻， $I_L$  為入射光強度， $\alpha$  為偏極化性， $\rho$ 、 $\sigma$  為入射光及散射光之極性， $G$  及  $F$  為物質之始態及終態。在式②中我只指出一點，因為散射光強  $I_s$  正比於散射光角頻的四次方，所以散射光頻越高越好偵測，在紅光附近里曼譜已很弱，若到紅外光就更難測到了。因此，里曼散射有其應用的極限：

(i) 對原子而言，原子只有電子態，而電子態間能階差很大，故散射光頻都在紅外線區，很難測到，除過渡元素之  $d$  層電子。因能階較近尚可測出外，只有鹵素中的  $F$ 、 $Cl$ 、 $Br$  原子，因在電子基態時有精細結構（能階非常近），故其精細結構之里曼譜線可被測得，位置各在  $404882$  及  $3685\text{ cm}^{-1}$ 。

(ii) 對分子而言，有電子、轉動及振動三種能階，其中電子能階差較大，所以和原子能階一樣測不到。

至於轉動能階，轉動動能  $E_R$  可表為

$$E_R = B R(R+1) + \dots, \quad R = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

$R$  為轉動量子數（用來標示不同之轉動態）， $B$  為轉動常數，因  $B$  很小，所以轉動能階差  $\Delta E_R$  不大，故可測得，通常轉動造成之里曼譜線離開瑞立不超過  $250\text{ cm}^{-1}$ 。

當然③式之  $R$  值有其規則（selection rule）存在， $\Delta R$  必須為  $\pm 2$ ；當  $\Delta R = 2 \Rightarrow (\Delta E_R)_s = B(4R+6)$  稱之為  $S$  支，在 stokes 側 當  $\Delta R = -2 \Rightarrow (\Delta E_R)_s = -B(4R+6)$  稱之為  $O$  支，在 anti-stokes 側（見 Fig 8）

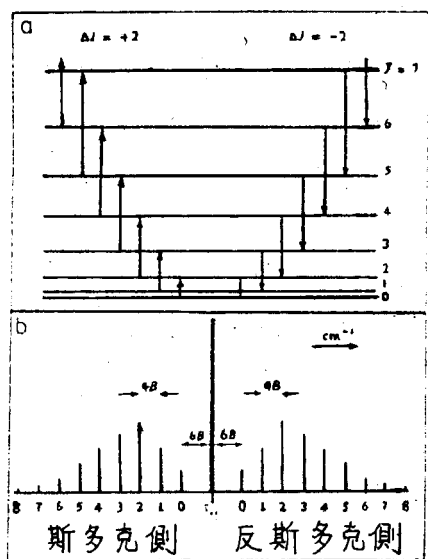


Fig 8 轉動拉曼轉移(a)及其譜線(b)：中央粗線為瑞立散射光。譜線所附數字為較低能階的轉動量子數。

最後談到振動能階，振動動能可表為

$$E_v = w_e \left( v + \frac{1}{2} \right) - w_e x_e \left( v + \frac{1}{2} \right)^2 + \dots \quad v = 0, 1, 2, \dots$$

$$v = 0, 1, 2, \dots \quad \Delta v = \pm 1$$

$w_e$  為振動常數， $w_e x_e$  為校正項

計算結果，分子振動能階約在  $100 \sim 4500 \text{ cm}^{-1}$ ，可輕易測定，因此，決定分子振動模式，成為里曼光譜最常見的應用，例如：水分子有三種正常振動模式（normal mode），他們分別對應於三個波數值：見 Fig 9

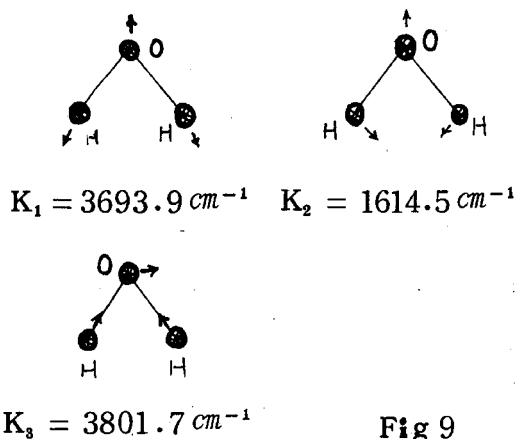


Fig 9

因此在  $K = 3693.9, 1614.5, 3801.7 \text{ cm}^{-1}$  三處可發現三個對應峯值（peak）。

b. 實驗裝置：（中研院雷射光譜實驗室）

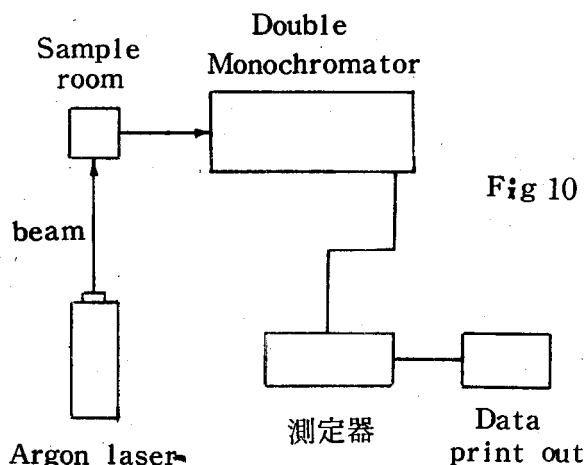


Fig 10

(i) 光源：中研院使用功率 4 瓦的氬離子雷射，有下列優點：①里曼譜線強度正比於入射光強度，雷射光正可提供高強度之入射光。②里曼譜線之頻寬正比於入射光之頻寬，雷射光之頻寬僅  $0.3 \text{ cm}^{-1}$  左右，可使散射之里曼譜線有很好的解析度（可分辨很近之兩條譜線）。③雷射光為平行光，聚焦性好，一般可聚到  $1 \mu$  大小，因此樣品只要很小即可。④雷射光為線性偏極光，可幫助確定每一條譜線所對應之振動模式。⑤功率雖只有 4 瓦，但其光束截面積約只有  $\approx 50 \text{ mm}^2$ ，所以單位面積、單位頻率之功率就很高，若再經聚焦功率可增加  $10^6$  倍。

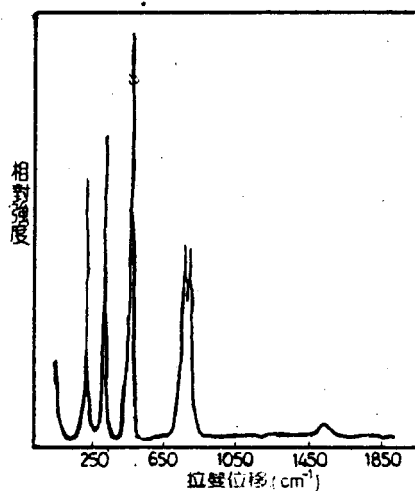


Fig 11 利用雷射及光子計數器所測得的  $\text{CCl}_4$  拉曼光譜。

(ii) 樣品：可為氣、液、固態，但濃度要高，因為里曼散射之強度和樣品濃度成正比。目前中研院已做過  $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CBr}_4$  及醋酸鉀等樣品。（見 Fig 11）

(iii) 單色分光儀（monochromator）：功能是濾出特定頻率之光，加此一來可將瑞利散射和有位移之里曼散射光分開，它的解析度要很好。在中研院是將兩單色分光儀串聯，以減少殘光量、增加效率，稱之為 Double monochromator。

(iv) 強度測定器：目的在測定里曼散射之強度以便分析，如果其靈敏度夠好，以後可能可以量到原子能階而不再僅限於分子能階。

## (2) 延伸 X 光吸收精細結構（Extended X-ray Absorption Fine Structure）：

### a. 緒言：

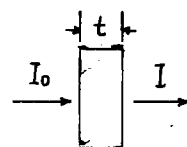
這項光譜技術簡稱 EXAFS，早在 1920 年左右即已發展成，我們用它來決定物質的區域結構（Local Structure），找出 (i) 一個原子和鄰近原子的距離準至  $\pm 0.01 \text{ \AA}$ ，(ii) 鄰近原子的數目準至百分之八十，(iii) 辨別週期表中不同行的化學元素 (iv) 用偏振性決定單晶之幾何形 (v) 研究百萬分之一濃度（PPM）的稀薄溶液。

為什麼 X 光被用來達成這些功能呢？第一，因為 X 光和物質作用不很強，所以穿透性強，例如：10 KeV 的光子可穿透 1 mm 的水而只損失百分之五十的強度（1 mm =  $10^7 \text{ \AA}$  在固態中算是非常長的距離），因此我們能把 X 光射至我們感興趣的區域。第二，每種原子吸收的 X 光頻率都不相同，如果我告訴你：某一物質吸收能量 2 eV 的可見光，請問你這是什麼物質？這就和我拉起褲管然後問你我叫什麼名字一樣可笑，因為太多元素會吸收 2 eV 的可見光，根本不可能分辨。然而 X 光就不同了，每種元素只吸收特定的 X 光，例如週期表中相鄰的鎳和銅，他們對 X 光的吸收峯就相差 1 KeV，因此可以輕易的辨別各種元素。

### b. 原理：

當物質受 X 光照射時，吸收 X 光的程度可用吸收係數  $\mu$  表示：

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$



$I$ ：射出光強  
 $I_0$ ：入射光強  
 $t$ ：樣品厚度

Fig 12

度量  $I_0$  及  $I$  即可知道  $\mu$ 。

但是當物質完全不吸收 X 光時， $\mu$  並不等於零，因為還有散射等因素使  $I$  小於  $I_0$ ，而使  $\mu$  具有背景值，構成吸收譜（X 光能量為橫軸， $\mu$  為縱軸）的基本底線  $\mu_s$ 。

當 X 光能量逐漸上升到原子的吸收邊緣（absorbing edge），原子內層的電子開始吸收 X 光，躍遷到外層空軌域（如：1s → 3d；1s → 4s；1s → 4p；1s → 5p 等），造成  $\mu$  驟增而形成吸收邊緣區（見 Fig 13）。

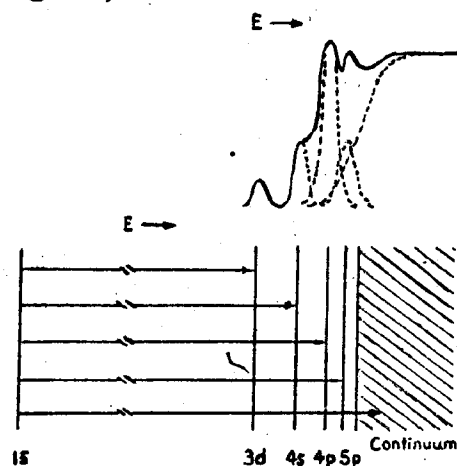


Fig 13

當 X 光的能量繼續上升，使內層電子躍升至連續層，此時  $\mu$  會有兩種不同情形出現：

(i) 如果躍升至連續層之光電子，可以自由離開原子（如惰性氣體原子），則以後  $\mu$  隨 X 光能量呈“平滑”改變，如 Fig 14 中之 Kr 光譜。



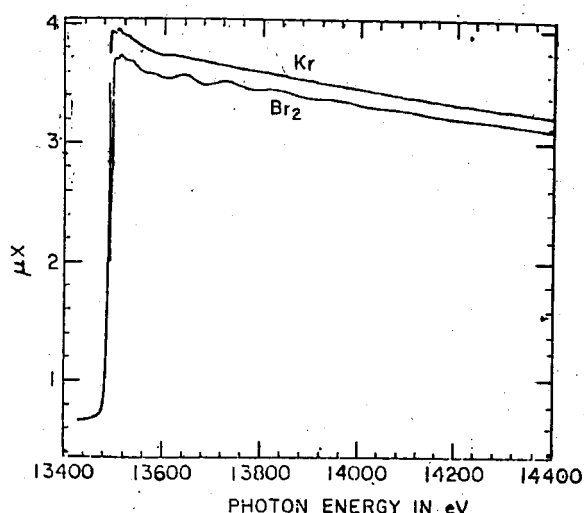


Fig 14

(ii) 如果吸收X光之原子旁邊有緊鄰原子存在，則遷升至連續層的光電子，想跑出去時會被散射回來，因此和往外跑的光電子形成干涉現象。如果兩個電子波正好同相 (in phase) 則成建設性干涉造成  $\mu$  值最大，反之則最小。因此， $\mu$  隨相差大小改變，而相差又隨能量的改變 (i.e. 電子波長之改變) 及吸收原子和鄰近原子的距離  $R$  ( $2KR$  為電子波程差)，呈週期性關係，這種“週期性振盪”約出現在吸收邊緣後 35 eV ~ 1000 eV 的範圍，我們稱之為 EXAFS。

Fig 14 為無 EXAFS 的情形 (i) (以 Kr 為代表) 及有 EXAFS 的情形 (ii) (以  $Br_2$  為代表) 兩者的比較，其中  $Br_2$  之光譜已被往左移到與 Kr 光譜對齊，以便比較細微的振盪與平坦之差別。

我們能實際算出振盪大小和各變因之關係：

$$X(K) = \sum_j \frac{N_j}{K R_j^2} f_j(K, \pi),$$

$$\sin |2KR_j + \phi_j(K)| e^{-2R_j/\lambda}$$

$$\rho^{-2} \sigma_j^2 K^2 \quad (1)$$

(i)  $K$  為光電子波向量 (photoelectron wave vector) 用來表示光電子能量，它與

$$\text{入射 X 光的關係為 } K = \left[ \frac{2m(E - E_0)}{\hbar^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

。  $E$  為入射 X 光能量

$$(ii) X(K) \text{ 代表振盪大小} = \frac{\mu - \mu_s}{\mu_0},$$

$\mu_0$  為自由原子吸收係數 (即如 Kr 等無干涉的原子)， $\mu_s$  為前面提到之背景值。

(iii)  $N_j$  為鄰近原子數； $N_j$  越大振盪越大。

(iv) 電子波是向外走的，所以振盪隨  $R$  增大而減小。

(v)  $f_j(K, \pi)$  為任一原子  $j$  之散射因子

(vi)  $2KR_j + \phi_j(K)$  為兩電子波程差加上相位移。

(vii)  $e^{-2R_j/\lambda}$  使振盪振幅越來越小 (damped oscillation)。

(viii)  $e^{-\sigma_j^2 K^2}$  為 Debye-Waller 因數，為數學處理上之校正因子。

由①式，我們可以看出，鄰近原子數目  $N_j$  可由各子層的振幅大小決定；鍵長或吸收原子和鄰近原子之距離可由波頻決定；鄰近原子可由其波形 (envelope) 決定。

### c. 數據分析

實際分析數據求取結果的過程相當複雜，在此筆者只大略指出四個過程：(以鎢晶體為例)

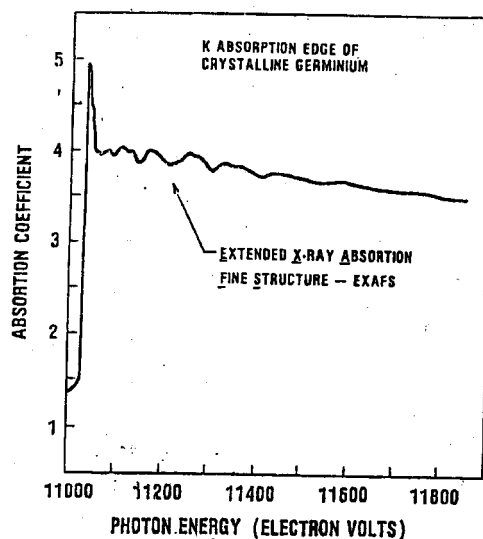


Fig 15

(i)原始圖形為 Fig 15 我們可由其中找出吸收邊緣之能量  $E_{\text{edge}}$  (在此約為 11050 eV) 因  $E_x = E_{\text{edge}} + E_e$  ( $E_x$  為入射 X 光能,  $E_e$  為射出之電子動能) 電子動能可求出, 所以電子波長亦可知道 (因為  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m E_e}}$ ) , 於是我們將  $X(K)$  對波長倒數  $K$  重新作圖得 Fig 16。

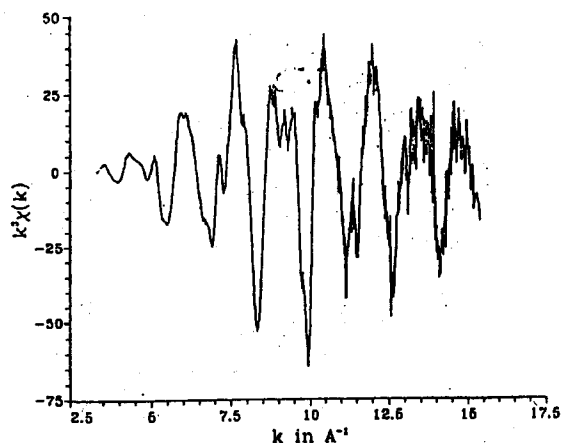


Fig 16

(ii) 我們將 Fig 16 做傅立葉變換得 Fig 17, 在圖中我們可發現銻晶中包圍銻原子的子層, 從第一子層一直到第六子層。

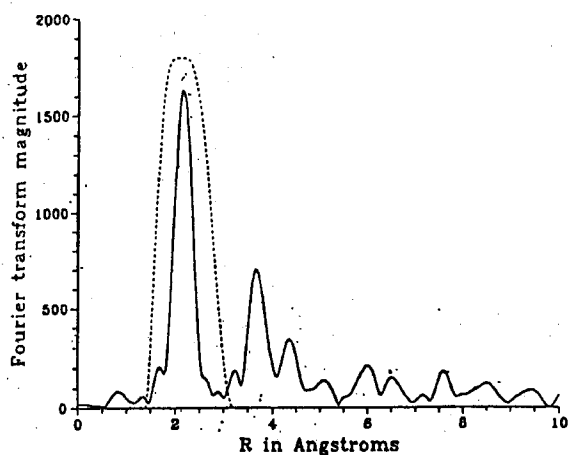


Fig 17

(iii) 將 Fig 17 中之第一子層 (虛線標出) 做 Back Fourier Transform “回復” 傅立葉轉換得到 Fig 18, 我們就得到第一子層之振幅方程, 由此可決定  $N_1$ , i.e. 鄰近原子數目。

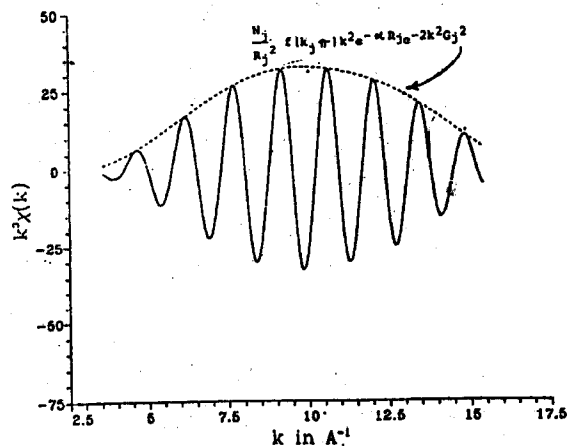


Fig 18

(iv) 將 Fig 18 之相位對橫軸作圖得 Fig 19; 若  $\phi(K)$  相位移已知則  $2KR$  可求得, 原子間距  $R$  亦可算出。

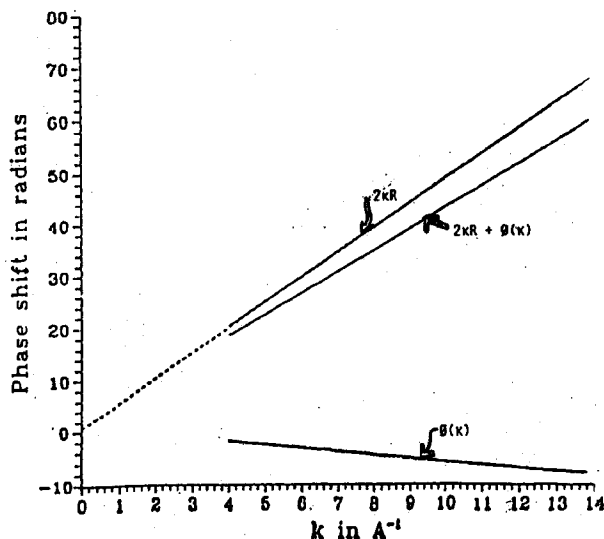


Fig 19

#### d. 實驗裝置 (見 Fig 20)

A 可為傳統光源 (熱電絲及金屬靶) 或來自同步輻射之光子, C 為單色分光儀用以選調入射 X 光之頻率,  $I_0$  為入射強度偵測器,  $I_T$  為吸收剩餘的 X 光強度偵測器,  $S_F$  為樣品。

至於  $I_T$  的用途則另有妙處, (i) 一般偵測 EXAFS 只用到  $I_0$  及  $I_T$ , 即可由  $I = I_0 e^{-\mu x}$  得到  $I = I_0 - I_T$  (ii) 但亦可用另一種方法度量  $I$ , 因為原子之內層電子被打出去成為游離態, 過不久游離原子會吸收電子而放出

螢光 ( Fluorescence )，我們用  $I_F$  直接度量螢光即可代表  $I$  (  $I_F \propto I$  )

$$\text{i.e. } I_F = I_0 e^{-\mu t}$$

用此法做 EXAFS，可使信號對雜訊比增加一個數量級，故對極稀薄溶液 (  $\approx 10^{-8}\%$ ，以重量計 ) 極有用，如此我們便可利用示蹤元素 ( trace element ) 的 EXAFS 來研究物質 ( 固、液或氣態皆可 ) 在壓力、溫度變化下的結構。

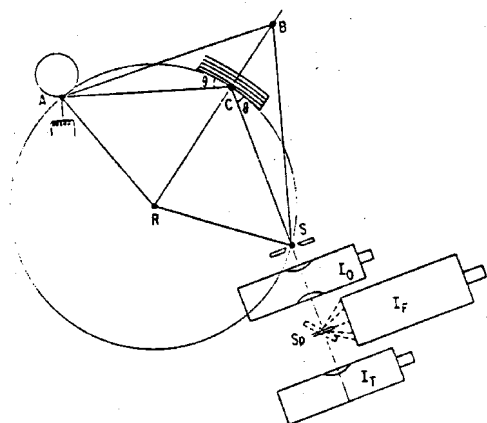


Fig 20 傳統光源 EXAFS 實驗裝置圖。

四結語：

在第三部份中，筆者原本擬了五個介紹主題：(1)里曼散射(2)延伸X光吸收精細結構(3)康卜吞圖廓 ( Compton Profile )(4)X光繞射(5)梅思堡效應 ( Mössbauer effect )，不料行筆未及一半就已佔了過多的篇幅，只好就此住筆。幸而剩餘的三個題目都是可以獨立成篇的，故可留待以後再續，至於我為什麼要選這五個題目呢？原因在同步輻射加速器的興建。政府建加速器的目的，是希望提昇國內科技水準，然而徒法不足以自行，沒有優秀的人才，那終究是一堆“死”機器。筆者所簡介的五個方向，在同步輻射加速器上都能有極廣的應用，甚至能改善實驗品質、獲得新的突破，但願有心的學弟妹能稍加留意，共同為科技生根而努力。

推薦人：王元市

- A: Principles and Results of the Natural Sciences
- B: Philosophy of Science
- C: Science, Scientists and Society
- D: Novels

A

- 書名：物理學的進步  
作者：愛因斯坦及英費爾德合著  
出版者：水牛出版社
- 書名：The First Three Minutes  
作者：Weinberg Steven  
出版者：Basic Books, Inc., Publishers New York (1977)
- 書名：From x-rays to Quarks  
作者：Segrè, Emilio  
出版者：開發出版公司 (1980)
- 書名：The Key to the Universe  
作者：Calder, Nigel  
出版者：新竹黎明書局總經銷
- 書名：Knowledge and Wonder: The Natural World as Man Knows It.  
作者：Weisskopf, Victor F.  
出版者：Doubleday and Co. New York (1963)
- 書名：Mind and Matter  
作者：Schrodinger, Erwin  
出版者：國興出版社翻版