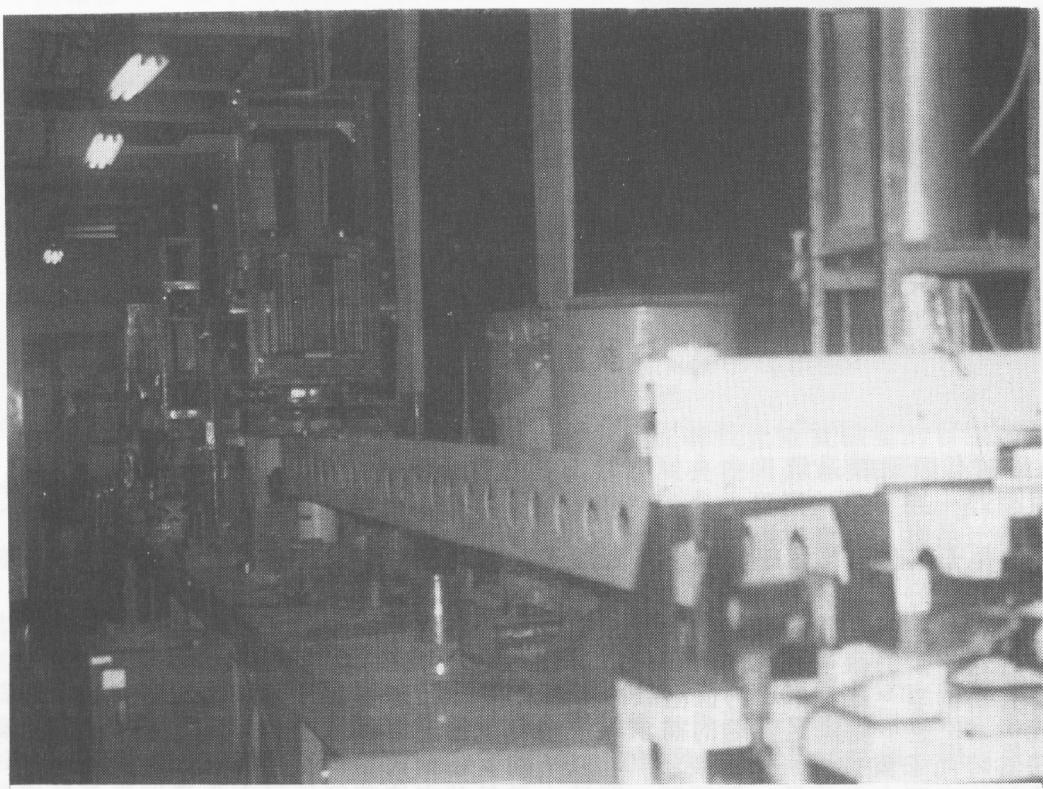


固態物理實驗室簡介



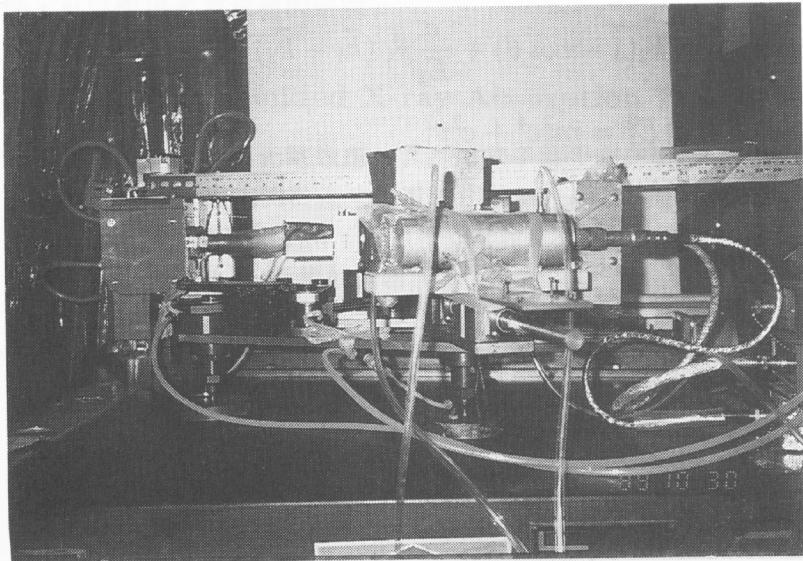
圖為 1D-ACAR 之外觀，全長十餘公尺，頗為壯觀。

吳恭德

臺大物理系固態物理實驗室現有鄭伯昆、蔡尚芳、彭維鋒三位教授（其中彭維鋒教授任教於淡江大學，每週二至三天來臺大與本實驗室進行EXAFS研究合作）、一位博士班研究生、八位碩士班研究生（其中兩位係彭教授淡江大學之學生）、一位技正退休之助理人員、一位技佐、及一位研究助理。這些人員構成本實驗室研究群的主力。

本實驗室主要的研究方向如下所示，括號內的說明代表各研究主題所用之實驗儀器系統。

1. 物質中電子、正電子狀態之研究。（Compton scattering、Doppler Broadening、1D-ACAR，2D-ACAR）蔡尚芳老師進行理論計算。
2. 正電子在物質中的生命期。（Life time）
3. 表面覆層之X光吸收譜研究。（EXAFS）
4. 含鐵物質梅斯堡能譜研究。（Mössbauer effect）以下將簡要敘述上列各實驗儀器系統在各研究主題上所扮演的角色及所能量得的物理訊息。

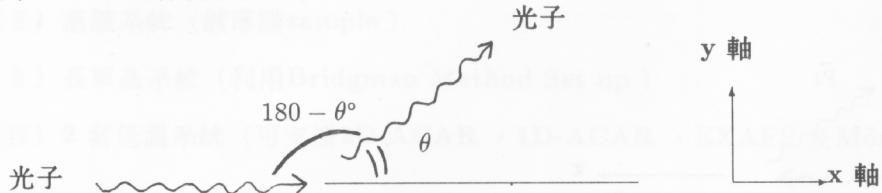


圖為 EXAFS 實驗設備之內部一景。

1. 1D-ACAR (1 Dimension-Angular correlation of Positron Annihilation Radiation) 2D-ACAR (2 Dimension-Angular correlation of Positron Annihilation Radiation)

1D-ACAR 和 2D-ACAR 的原理相似，差別的只是 2D-ACAR 比 1D-ACAR 多提供了一個維度空間的訊息，因此作者不擬在此多提 2D-ACAR。雖然 2D-ACAR 在整個實驗系統的設計以及量得的數據的分析、解釋上遠比 1D-ACAR 複雜許多，也提供更多的訊息，但是讀者很容易從 1D-ACAR 去瞭解 2D-ACAR。

正、負電子對在其質心座標系中互相消滅大多數是產生兩個光子，其動量大小相等，各具有 0.511 MeV 的能量，以 180° 的夾角相背而去。但在實驗室座標系中，由於消滅前的電子帶有動量，因此，這兩個產生的光子，運動方向的夾角並非 180° ，而是如圖一所示，兩個光子運動的方向夾了 $180^\circ - \theta$ 的角度。



圖一

θ 角是實驗上所要量得的數據，利用能量守恆及動量守恆關係可以求得消滅前電子的動量在 y 軸方向（如圖一）的分量 p_y 與 θ 的關係為 $\theta = \frac{p_y}{m_0 c}$ ，利用 θ 將可求得物質中電子的動量在 y 軸方向的分量的分佈情形。此即可得知 $\int \int \Psi_{\pm}^2(\vec{p}) dp_x dp_z$ 的訊息，於是可對正電子及電子的狀態 $\Psi_{\pm}(\vec{p})$ （或 $\Psi_{\pm}(\vec{r})$ ）進行研究。此處 $\Psi_{\pm} = \Psi_{e^+} \cdot \Psi_{e^-}$ 。

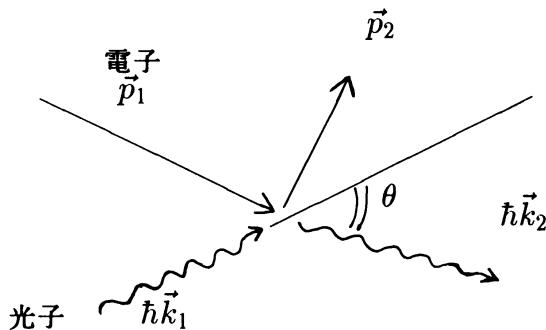
2.Compton Scattering

如圖二所示，設物質中電子的動量為 \vec{p}_1 ，入射之光子動量為 $\hbar \vec{k}_1$ ，散射後的電子動量為 \vec{p}_2 ，光子動量為 $\hbar \vec{k}_2$ 。由動量守恆及能量守恆關係可以求得

$$k_1 - k_2 = \frac{\hbar c}{E_1} k_1 k_2 (1 - \cos \theta) + \frac{c}{E_1} \vec{p}_1 \cdot (\vec{k}_1 - \vec{k}_2)$$

$$\text{此處 } E_1^2 = m_0^2 c^4 + c^2 p_1^2$$

利用上式，當量得 k_2 時，將可得到 $\frac{\vec{p}_1 \cdot (\vec{k}_1 - \vec{k}_2)}{|\vec{k}_1 - \vec{k}_2|}$

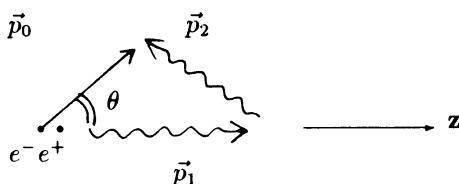


圖二

此即為電子動量在散射方向 $\frac{\vec{k}_1 - \vec{k}_2}{|\vec{k}_1 - \vec{k}_2|}$ 上的投影量，若取此方向為 z 軸，則將可得到 $\iint \Psi_{e^-}^2(\vec{p}) dp_x dp_y$ 的訊息，於是可以在電子的狀態進行研究。

3.Doppler Broadening

如圖三所示，設物質中電子的動量為 \vec{p}_0 ，正電子由於極易熱化（thermolize）故設其動量為 0，設電子與正電子消滅後產生的二光子動量分別為 \vec{p}_1 及 \vec{p}_2 ，則利用動量守恆及能量守恆關係式甚易求得 $p_1 = m_0 c + \frac{p_0 \cos \theta}{2}$ ，此處 θ 如圖三所示。當量得光子能量 cp_1 時，利用上式即可得電子沿 \vec{p}_1 方向的動量分量 $p_0 \cos \theta$ 。若定 \vec{p}_1 方向為 z 方向，則可得到 $\iint \Psi_{\pm}(\vec{p}) dp_x dp_y$ 的訊息。 $(\Psi_{\pm}(\vec{p}) = \Psi_{e^+} \cdot \Psi_{e^-})$ 可以對正電子、電子的狀態進行研究。



圖三

4.Life time

正電子在物質中之生命期與當地的電子分佈有關，若密些則生命期較短，正電子生命期與電子密度之關係如下：

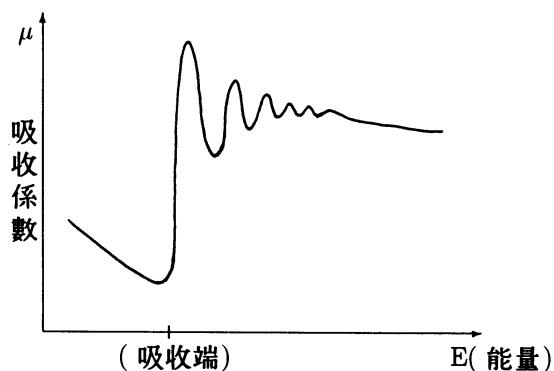
$$\frac{1}{t} = \iint \int_V \Psi d\tau$$

利用這式子，亦可對電子狀態進行研究。值得一提的是正電子對晶格缺陷非常敏感，利用這特

性，可以作很多有意義的研究。

5.EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure)

X光的吸收效應即為光電效應，其游離電子將受到周圍原子的散射作用，導致出射波與散射波的干涉作用，反過來對於產生光電效應的原子的X光吸收截面給出了調制，從而產生了振盪的精細結構。利用這精細結構，可以得到吸收X光原子與鄰近原子間的距離，鄰近原子的種類及配位數。典型的EXAFS能譜如圖四所示。



圖四

6.Mössbauer effect

主要為利用物質對 γ 射線的吸收譜去探討外在環境對物質的原子核的能階的影響。其理論與EXAFS複雜程度相似，都不易在此說明清楚，只好留待以後有機會專文探討。

除了這些主要的實驗儀器之外，本實驗室尚有一些支援設備，在此一併列出：

- (I) UPS (不斷電系統)
- (II) 蒸鍍系統 (鍍薄膜sample)
- (III) 長單晶系統 (利用Bridgman Method Set up)
- (IV) 2套低溫系統 (可支援2D-ACAR, 1D-ACAR, EXAFS 及 Mössbauer effect 實驗)
- (V) 高溫超導體燒結爐

固態實驗室係由鄭伯昆教授一手創建，從無到有，辛苦經營，終有今日之局面。在建設過程中，每每限於經費，很多設備都只能買主要部份，能自製的部份，都儘量自製。或設計後委請金工廠、玻璃工廠製造。或由學生自行製造，如BGO晶體的研磨、全實驗室各實驗系統數據量取的自動化等。作者跟隨鄭老師多年，對此經費不充裕之狀況瞭解甚深，因此更深知有今日局面之不易，非有過人之毅力，決不易有此成就的。

最後，歡迎大學部同學到固態實驗室來學實驗，以及研究生到固態實驗室來作論文。從這兒你將可以得到許多實驗知識，寶貴的經驗，以及作實驗應有的態度。你們如因此而有所得，將是作者寫本文最大的期盼。

(感謝吳恭德學長的熱心協助) ◆