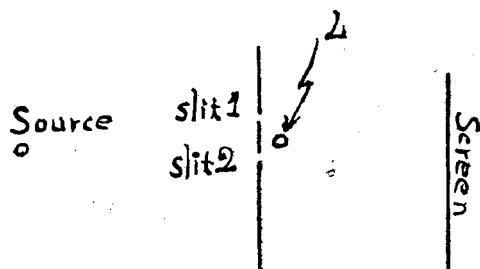


讀 書 拾 遺

黃 政 哲

一般量子力學書為解釋 Wave character of matter及Superposition of matter wave，常以 two-slit experiment 為例說明之。在 Feynman 所著之Lecture on physics-Vol. III 中，對這一實驗作更進一層的敘述：茲將其書所述之實驗簡述如下：

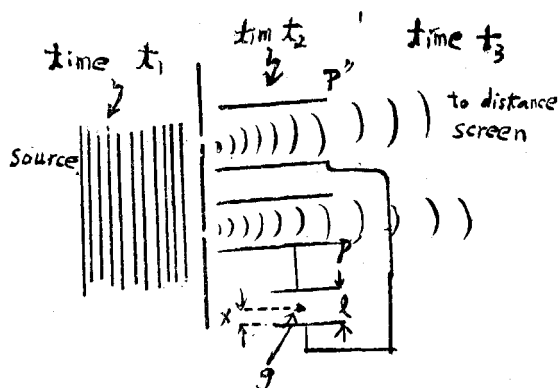


如圖所示：Source 表電子源，L表光源。一般書所敘述之 two-slit experiment 皆無 L，在此情況下，由 Source 發出之電子經過 Slit 1 及 Slit 2 于 Screen 上產生 interference Picture，且 amplitude of distribution function 與 $|\psi_1 + \psi_2|^2$ 成正比。其中 $|\psi_1|^2$ 表 Slit 2 封閉時；電子通過 Slit 1 之 amplitude of probability distribution on screen。同理 $|\psi_2|^2$ 亦可作同這之解釋。

若光源 L 存在，則由電子對光之散射作用 (Scattering)。我們可知電子由那一個狹縫通過，因光子與電子間之作用而改變了電子之運動，我們可直覺地預知電子在 Screen 上之分佈情形必有所改變。Feynman 上所述之結果：因光子之干擾，通過 slit 1 及 slit 2 之電子不產生「干涉」作用，電子之分佈情形與 $|\psi_1|^2 + |\psi_2|^2$ 成正比。Feynman 更強調一點：無論光源之波長及強弱為何值，只要我們能由實驗說出每個電子由那一個狹縫通過，則電子在 Screen 上之分佈情形必與 $|\psi_1|^2 + |\psi_2|^2$ 成正比。問題就在于此——若此光源只照射于 slit 2 之開口處，對通過 slit 1 之電子毫無影響，則此時通過 slit 1 及 slit 2 之電子于 Screen 上之分佈情形應如何呢？然于此實驗中，我們亦可測得電子由那一個狹縫通過，因通過 slit 2 電子與光子作用產生 scattering，故由實驗可測知通過 slit 2 之電子，于 Screen 上出現而于 Slit 2 開口處無「閃光」發生之電子必由 Slit 1 通過。若依據 Feynman 所敘述之一般原理，電子之分佈情形與 $|\psi_1|^2 + |\psi_2|^2$ 成正比，為何兩個物理情況會得出極相似之結果呢？

于 Phys. Rev. 118, 623 (1960) 中，W. H. Furry

and N. F. Ramsey 提出一個與此問題有關之實驗茲將其簡述于下：



裝置：用發散性很小之波，且管 P 及 P' 不太長，使得加上管後並不影響波形，二管之下有一電容器，其內有一帶 q 電量之電荷，當波未進入 Slit 1 或 slit 2 時，此電荷位于電容器之中央，于波通過 P' 及 P 後 q 又被置回中央位置，當 Wave 進入 P' 或 P 時，由 q 之運動情形，我們可知電子由那一個管（狹縫）通過，因電子之存在，而于二管間所產生之位能差為 $V = \pm e/2c$ ，其中 C 為整個儀器所具有之電容：因此

$$E = e/2lc$$

其中 l 為電容器之距離；因此對 q 產生動量之變更：其變更量必大于 q 動量之測不準量，即 ΔP ，方可于實驗中知電子由那一個狹縫通過：

$$q|E|T > \Delta P$$

其中 T 表電子滯留于管內之時間
電荷 q 離開電容器之中心位置 $X = l/2$ 而至 X 處所產生之位能差為：

$$V = (q/c)(X - l/2)/l$$

所以電位差之測不準量為

$$\Delta V = (q/lc)\Delta X$$

將 (1) 式代入 (2) 式再乘以 (3) 式：得

$$qeT\Delta V/(2lc) > (q/lc)\Delta p\Delta X >$$

$$(q/lc)h/4\pi$$

$$\text{所以 } eT\Delta V > h/2\pi$$

因 q 而產生之位能降及連帶產生之相位差 $\Delta\phi$ 為

$$\Delta\phi = \Delta VeT2\pi/h > 1$$

我們若欲確知電子由那一個狹縫通過則 $q|E|T$ 至少要比 ΔP 大上 3 倍則 $\Delta\phi \geq 3$ ，而此相位差正足以破壞其「干涉」現象。

關於磁場對 two-slit experiment 之影響該篇

(大學物理的) 新課程表

徐 厚 興
(節譯自 Physical Today)

物理在最近數十年中的進步可以說是一日千里，傳統的教學方法是否能把所有物理現象及方法在大學畢業之前做一個全盤的講解是值得懷疑的，所以在外國（包含英美等國）已經有許多新的課程表排出來，其目的在把那些冗繁的部份去掉而把許多近代物理中新的觀念加入，使學生對物理的看法不再是許多定義及公式化的文章。當然這種改革也曾引起許多非議，到現在為止尚在實驗的階段。先談高中時代課程採用 1. The PSSC course 2. Haward project physics 3. Engineering Concepts Curriculum Project 4. The Nuffield Project，讓學生們對物理有初步的瞭解，以下就談到大學的課程。

1 The Feynman course

採用由 R.P. Feynman, R.B. Leighton 及 Matthew Sands 所編的「Lecture on Physics」，全書共三冊，第一冊談力學、光學、熱，以及最後一章有關對稱的性質。第二冊談電磁學、及物質。第三冊談量子力學。初看，似乎加重了教學的困難，但是在全書中沒有斜體字的定義，沒有有方框的重要公式，沒有全章總結，沒有說明例，沒有三度空間的圖形。by Howard P. Stabler

這些演講是非正式的，親切的並且它們廣博和深入的看法是令人神往的。這些演講是好到足以作為博士候選人的 PhD qualifying exam。……有 180 智商的學生並且以一個全世界最出色的物理學家做演講者，在 Feynman 的序言中說明到「才有壹貳拾個學生瞭解了幾乎全部的演講。」

2. The Berkeley Course

第一冊談到力學中的許多問題，特別是在向量分析，電子運動，參考系、對稱、及由廣義的觀念說明保守定律。狹義相對論說的特別清楚，有更深

一層的問題在某些章的後面特別為較聰明的學生準備。

第二冊談靜電學、定常電流、磁場、電磁感應，在物質中電和磁的極化作用。……在五、六兩章把運動電荷的電場和磁場看成相對論及電荷守恆的結果，……。

第三冊「波」在頭兩章之後是電磁波，最後兩章討論光學。幾何光學談得很少，最後有一些高等的問題及一些在其他介紹性的書上不被重視的問題像：superposition, characteristic impedance dispersion, bandwidth and coherence time, Interference and coherence。

第四冊「量子物理」目的在介紹量子力學的想法……在詳細討論過能階、半衰期、和波粒學說後，Wichmann 就介紹量子力學的一般想法和 Schrödinger equation。

第五冊「統計物理」此書目的在於以一個簡明的獨一並且廣義的觀點表示統計力學的基本概念，熱力學和熱學。

而此一觀點使得對物理的看法要建立在微觀的基礎上，——by A. Carl Helmholtz。

這些書印刷的很美，並且以黑白相間的襯底做說明例，……這些書和在 MIT 的二年物理課程一樣，專為那些經過挑選的和高智商的學生所準備的。

兩者都是由卓越的物理學家所計劃製作的——Mark. W. Zemansky。

3. The New MIT Course

在第一學期介紹物質特性、光的量子性質及粒子的波性，牛頓的一個和二個粒子的系統首先說明並用以描述電力，磁力，重力，彈力。

第二學期談狹義相對論並用以說明，電學、磁學。

(下轉第21頁)

論文亦有詳細推演在此從略。

由上述之實驗我們得知：由 two slit 中任一者通過之 wave 經過干擾如：電場，磁場或光波之干擾，則二者成為 incoherent wave；然 Coherent wave 為產生「干涉」現象所必需之條件，故得由 Feynman 所預測者恰與 Suggested experiment 之結果吻合，但只有一部份受干擾時與全部受干擾

時所得結果又有何不同呢？茲將敝人之意見記于下供有趨于此之同學共同研討：Feynman 中所述有 L 存在者為 $|\psi_1|^2 + |\psi_2|^2$ ，應改為 $|\psi_1'|^2 + |\psi_2'|^2$ 其中 $|\psi_1'|^2$ 與有 L 存在而封閉 Slit 2 之電子分佈情形成正比， $|\psi'|^2$ 亦作同樣之解釋，故當 L 只照射在 Slit 1 之出口處時，其電子之分佈情形應與 $|\psi_1'|^2 + |\psi_2|^2$ 成正比。