

論作根基，如愛因斯坦的統一場論，歸納別人的理論，自己建立一套理論來概括他人的理論，而可以解釋其他很多物理現象，這種工作需要有很大的天才與耐性。二、與實驗物理保持密切的聯繫，而從事於理論的建立。像李政道、楊振寧就是走的這條路。選這一條路，需要相當高的智慧及興趣。三、實驗物理，是必須把一般看不出來的物理現象，用實驗表現出來。

物理分為很多部門：一為原子核物理 (Nuclear physics)，在第二次世界大戰時甚為熱門。因原子與原子核構造的特性而導出原子能，從而衍生出核子工程。但是直至今日吾人對原子核物理所知仍然有限，對Nuclear Force現在仍偏重現象型的了解。為了對核力作進一步的瞭解，研究質子、中子、 $\pi$ 介子等基本粒子間之性質及相互作用情形，而發現了許多 Particle，由此產生了高能物理 (High-energy Physics)。二、為固態物理：(Solid state physics)：這是一門偏應用的學問，中國目前只才開始。固態物理研究物體之聲、光、電、磁等現象及效應，可以用之來為人類服務。我雖學的是核子物理，但今後為國家工業發展，我希

望多點同學從事固態物理之研究。以前以色列尚未建國時，猶太人到處受人歧視及羞辱，甚至遭到屠殺，等到成立了以色列國，不少在美國及其他國家學物理的猶太人，放棄了優厚的待遇而紛紛回國。現在許多人只高唱學術國際化，實在應記取猶太人的教訓，我們不能不為自己國家打算。

物理學的分類還有量子物理、電子物理、太空物理等。太空物理除了探測宇宙的奧秘外還有軍事的價值。此外還有生物物理，把生物的奧秘用物理的方法來研究分析。

今天簡單的介紹了一下物理學。唸書人學到高深的學問，不見是為興趣而研究，還要對人類有貢獻對國家有貢獻，那才更有價值：學物理要有秩序，有方法，不能急功近利，好高騖遠，要按部就班地去探討，所以在六三大四選課時應該慎重，切實打好基礎，為以後的成功鋪條平坦的路。

王唯農博士，34歲，清華研究所1960級校友，1964年獲R. P. I. 的Ph. D. 主修原子核物理，現為物理研究所所長。

## 近代物理的基礎

# 量子論

——李怡辰博士講 陳永睿筆記——

在19世紀末期，由於數學的進步，牛頓力學經過Lagrange, Hamilton等人加上便利的數學形式，已經成為一門很完整的科學。它可以用來解釋天體運動的問題，也可以由統計方法的應用而推廣到多物體的問題範圍去。在另一方面場論的發展也由於Maxwell對電磁場理論的成功而達到一個頂峯時期，像干涉、繞射的現象，都可圓滿的解釋。且由連續介質(以太)的理論將場論和粒子的力學連在一起顯得更和諧。

因此當時英國的一位大物理學家就曾經說過：「現在的物理學好像是一片蔚藍的天空，僅有二片黑雲而已。」這二片黑雲一是X光的發現；另一個

就是放射性物質的發現。在當時一般人都認為這二片黑雲不久也就會散開，但不知就因為這二片黑雲而開拓了近幾十年物理界的新境界——量子論。

首先我們來看看X光，它是由陰極射線打擊金屬板所產生的，陰極射線是一束高速的電子流，而X光却是頻率很高的電磁波。後來利用X光我們發現了光電效應和Compton效應因而顯示了光的雙重性。

Mosley由X射線的繞線得出了X射線譜，由此可見光譜引起了對原子結構的研究。另外，由於放射性的現象，發現了 $\alpha$ 粒子。後來Rutherford利用放射性所產生的 $\alpha$ 粒子的碰撞，構想出原子

模型。這模型成爲波爾模型產生的基礎。

以上二條途徑似乎都可導出量子論來，可是量子論的起源却是熱力學。在那時，爲了解釋黑體輻射的問題，許多物理學家將電磁波輻射的理論，和能量等分定律（從古典統計力學所得到的結果）合成許多種理論，像 Rayleigh, Wien 等，可是他們的結論都只能用在一部份的頻率範圍內。例如，Lord Rayleigh 的理論就只適用於頻率很低時。因此，蒲朗克才想到了能量量子化的可能，因爲能量量子化和古典物理的能量連續有很大不同，尤其在頻率很高時，在等分原理中量子化較古典物理少去很多項。蒲朗克的理論在解釋黑體輻射以至後來用到固體比熱的問題上，都獲得很大的成功。愛因斯坦將蒲朗克的理論用到光電效應上去，因而顯示出光的雙重性。

對於光的雙重性我們可以用二個簡單的例子來解釋。首先我們從通常的繞射現象可以知道，幕上所形成的像是明暗相間的。再看光電效應，產生的電子能量和入射光的頻率成線型關係，但和光的強度卻沒有關係。前者的現象表現光的波動性，而後者表示光的粒子性（帶着能量  $E = h\nu$ ）。

到了 de Broglie，他看到光的雙重性因而發生了一個疑問，是否只有光才有雙重性？因此他提出就是物質粒子應服從  $\nu = E/h$ ,  $\lambda = h/p$  的關係。在這裏  $h$  是蒲朗克常數。這就是物質雙重性了。後來電子在結晶體上有繞射的現象證明了物質雙重性的存在。

到了這時候，波爾提出了一個很不合協的歸納，他利用一些量子的假設，加上半古典的方法，提出了波爾原子模型，居然很成功的解釋了許多問題。這時，可以說是量子論的開端，因爲波爾的半古典方式嚴格上說起來，實不算是量子論。

Heisenberg 從物質的狀態出發，將它們轉換成矩陣的形式，來觀察它們中間的關係，因而建立了矩陣力學。

Schrödinger 在 de Broglie 之後，也提出了波動方程式，它對物質的現象都以一個偏微分方程式，用波的特性來表示。這時候，量子論可以說分成二支，後來，Schrödinger 證明出來，矩陣力學和波動力學實際上都是一回事，只是數學上所用的工具不同而已。到這時，量子論大體上可說已經完成

，只有些 Spin 等的東西是以後再加進去的。

以上簡單地把量子論的發展歷史介紹了一下，接下來，再談談量子論的基本觀念。一般人介紹量子論都喜歡用波動的方式，用偏微分的方法來解釋，我認爲這樣對物理觀念來說，並不易使人了解，所以我用另一種方式來講。

依照牛頓力學的理論，我們知道一個粒子的位置和動量。我們就可以求出這粒子以後的位置和動量。如果我們把這粒子的動量和位置表示在一個六度空間的位相空間上（phase space），以一點表示，我們就可以得到一個狀態的觀念。一個「狀態」有它一定的動量和位置，而一個 system 中有很多的狀態。

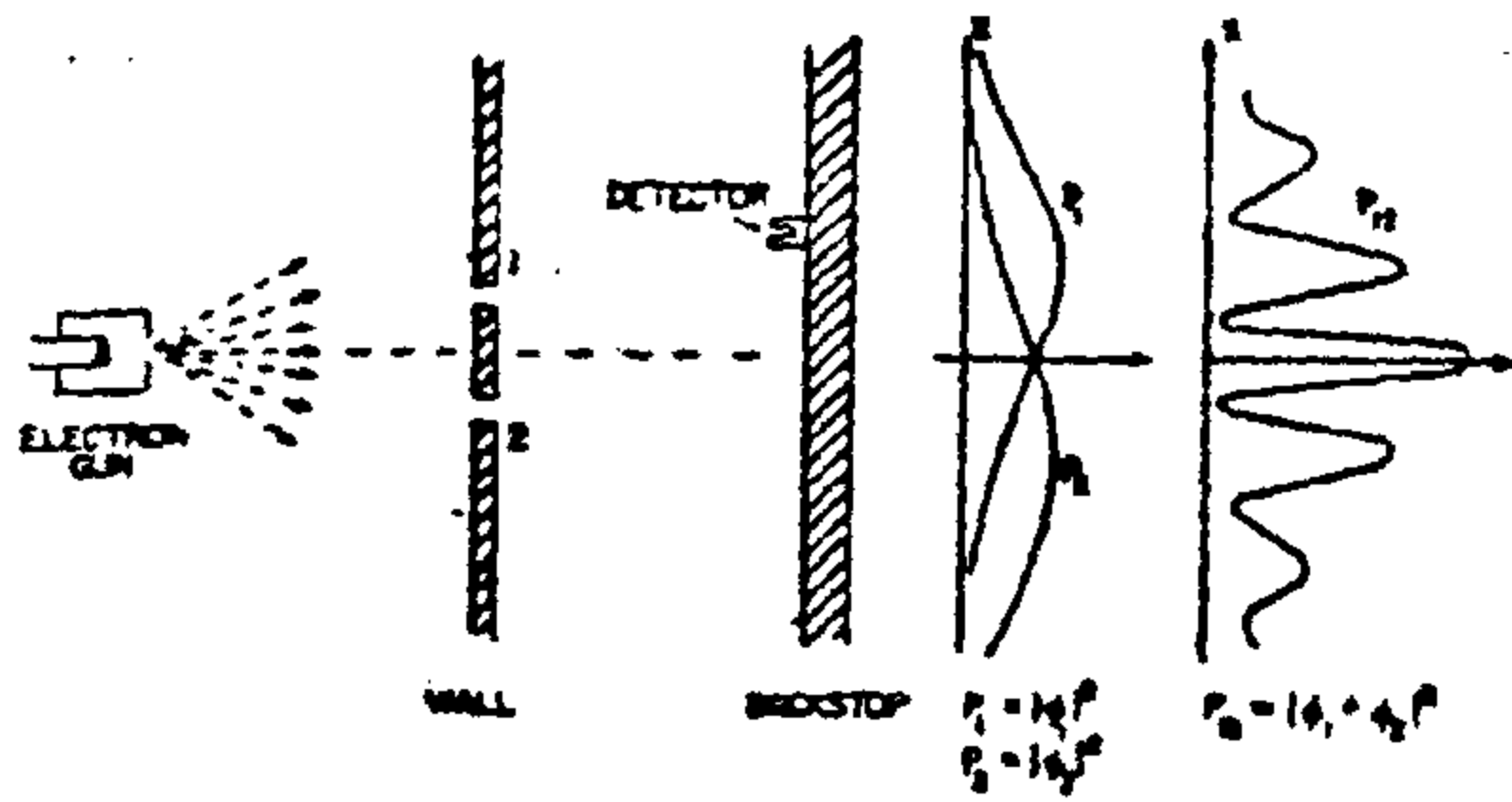
在巨觀的看法下，我們似乎可以同時量到位置和動量。可是實際上巨觀中這些獨立的位置和動量是否可以準確地量測以前並沒有人注意到。直到廿世紀初，我們產生了一個問題：巨觀現象上所得到的結論是否可以用到微觀的問題上去？在微觀中，我們仍保留「狀態」的觀念但是在一個「狀態」中我們是否可以同時量到粒子的確實位置和動量？從實驗上我們知道答案是否定的。例如我們如能够很準確地知道一個粒子的動量。則必無法準確知道它的動量？又如在 energy transition 時雖然量到了放出光子的能量，我們却無法知道它放出時的確實時間。因此由於在實驗上我們無法得到確切的結果，一個或然率的觀念就產生了。在許多次的實驗中，我們可以得出結果的分配情形，將它用或然率的振幅表示，而或然率在量子力學內被表現成本身振幅（Amplitude）的平方。振幅有 Superposition 的性質，這種表示方式和波的性質相類似，實際上，量子力學和波動的確有許多相近的地方，例如一個由 A、B 二件事合成的事情。它的或然率就不是 A、B 二件事情或然率的和。例如在雙狹縫實驗中，像幕上所顯的 pattern 就不是兩個個別狹縫的 pattern 的和。因爲

$$P_1 = |\phi_1|^2 \quad P_2 = |\phi_2|^2$$

$$\text{而 } P = |\phi|^2 = |\phi_1 + \phi_2|^2$$

$$P \neq P_1 + P_2$$

在這裏  $P$  表示或然率，而  $\phi_1, \phi_2$  分別表示其各自的 Amplitude。所以從不準確性  $\rightarrow$  或然率  $\rightarrow P = |\phi|^2$  這一點很重要。



在某一個狀態下，當我們量了X方向的位置再去量y方向的位置後，回過頭來再量X方向的位置，我們發現並沒有什麼改變。可是當我們量X方向的位置，再量X方向的動量後，回過頭來我們會發現X方向的位置已經改變了，因為在測量X方向的位置分量的狀態中，X方向的動量並不確定，所以在我們測量X方向的動量時，我們已經把X方向的位置的狀態改變了，我們自然無法得到相同的位

置了。所以有些測量是不能相容的，而這不準確性也就是量子論的基礎，由其不相容的程度的基礎設，我們就可以構築整套量子論。

最後我要再提一點，就是像 $\Delta P \Delta X > h$ ， $\Delta t \Delta E > h$ ，這些是 Heisenberg 所提出的不準確性原理，關於在這些不準確性實際上有嚴格的定義，我們這裏暫且不提它。但大家要知道，不準確性是「狀態」本身所產生的，從這些不相容的情形，我們可列出方程式而建立起整個量子論。

李怡嚴博士，31歲，於1964年獲密西根大學 Ph.D. 主修理論物理，現專攻高能物理，今年開大一普通物理與博士班量子理論及弱交互作用專題。

## 介紹李、楊對弱作用中 宇稱守恒性的探討

~何宏澤~

在自然界及日常生活中我們常可發現一個現象——對稱 (symmetry)。例如人的雙脚、雙手、雙眼等即是生物上對稱結構的一個例子。又如在藝術上、數學上我們也不難找出很多對稱的實例。而物理學中對稱的觀念可以說是直接導源於我們的日常生活。在力學問題中，我們往往祇需追索對稱性，便可得到重要結論。例如，在氫原子裏，一個電子的軌道角動量量子化的情形，事實上是原子核加諸電子的庫倫力 (Coulomb force) 球對稱的自然結果。對稱性在這裏是指庫倫力的各向同性。這樣的對稱原理，在古典物理中雖然已經存在，但是在量子力學中，我們對它的了解却大大地深入而且推廣了。對稱原理在量子力學中的重要地位可舉兩個倒來看：選期表的一般構造，實質上祇是上面所提對稱性——庫倫力的各向同性的直接而美麗的結果；又如反粒子的存在，乃是狄拉克理論所預期的。他的理論就基於相對論的對稱原理。由上所述，以及其他例子中，我們看到自然界似乎經常利用許多

對稱例的簡單數學表現。這種對稱帶給物理結構的深奧和複雜性，及其所牽涉到的數學推理的優美和精闢，是鼓舞物理學家們最大的力量來源。它使得我們企望自然界是具有我們可能理解的秩序的。

在許多對稱原理中，關於左右的對稱 (right-left symmetry)，是自古以來就常被討論的。過去許多哲學家也曾詳細地辯論過自然界是否顯示這一種對稱的問題。在生物現象中自從1848年巴斯德 (Pasteur) 的研究以來，我們就知道，有機化合物或生物常常只呈現兩者中的一種，例如蝸牛或海螺的壳。然而，在無機過程中，兩者常常同時發生，並且彼此是對方的鏡像。但是，物理定律却經常顯示左右之間的完全對稱。這種對稱，在量子力學中也可以簡單地陳述為守恒定律 (Conservation law)，即空間反轉或宇稱的守恒性 (Conservation of parity)。這是與左右對稱原理完全相當的一項守恒律。在分析原子光譜時，它很快地就變得非常有用。這個觀念以後又被擴展到原子核物理，