

所謂分身術有無科學根據？

吳大猷

壹、引言，古典物理學

聯合報十月下旬某日第十一版載有一文，謂邇來報上常見之「分身術」，或有科學的根據，提及創立量子力學之大師之一的薛略丁格的「貓」的問題，和最近兩位物理學者的新實驗簡報。筆者未得讀後者，不知該實驗及其意義，至若某人之分身影像，本文將均不作討論，只將試著簡明的說出量子力學的基本觀點及其確切涵義，薛略丁格的貓的討論的意義所在，俾免誤解量子力學，以為其或和「分身術」有關。科學的態度，首重現象的精確觀察，開放但邏輯的態度，不以先入偏見而排拒新現象及新觀點。但未經精確實驗及嚴密的理論分析而附會某一觀點，則是「反科學」的態度。

茲先略述物理學的性質。人們初由一些自然現象的觀察，引入並定義若干概念，（最基本的，如時、空等），以描述各現象的規律性。由初步之純經驗性定律，經推演的思維及實驗，進而建立普遍化的定律（例如由物體之自由降落運動之觀察度量，初得運動有一定律，經更深的觀察及思維，終得牛頓的運動三定律。又如由電、磁的現象，先建立若干概念；次由實驗，建立靜電，靜磁個別的定律；更由實驗，發現電流產生磁場及電磁感應的現象，建立安培定律及法拉第定律。再稍後，由馬克斯威爾的創見思維和數學才能，創建「電磁場理論」，不僅綜合涵蓋所有已知的電磁現象，且預示電磁波之存在及它和光的同一性。此理論後且成為引發建立狹義相對論的基礎。到了十九世紀末年，力學（及其若干部門），天體力學，電磁學（包涵光學）、熱力學、分子運動論、統計力學等，均已高度發展，奠定了「古典物理」。

所謂「古典物理」，其研索之現象，皆人們日常所經驗的「宏觀」的；這「宏觀」，是和需要特殊設備作觀察的原子層次的「微觀」現象相對而言。在古典物理中，我們所用的概念，皆是來自宏觀現象和經驗。這包括我們描述物理現象、定律，理論所用的「語言」，和對現象的「了解」。在這裡我們要著重的，是物理學（或科學）的敘述語言、了解，皆基於若干基本的概念，而這些基本概念，則是來自人們的宏觀經驗。

在處理宏觀現象（古典物理範圍內），則用由宏觀經驗得來的基本概念，自然沒有問題。但到了二十世紀之初，原子層次的現象，漸入物理學研究的範圍；物理學的基礎，乃出現了嚴重的問題。

貳、量子論

先是十九世紀的末年，有物理學家由實驗和理論，研究物體（在溫度 T 時）放射的輻射（電磁波）在光譜（波長）上之分布定律。這是一個很具體，似是宏觀性的問題；但研究的結果，卻逼使物理學家極無奈的得到一個革命性的結論。所有已知之古典物理，皆無法解釋實驗的結果。這逼得蒲朗克創立所謂量子論（一九〇〇年），愛因斯坦（一九〇五年）更作光子論，謂古典物理中有連續性的電磁波，在空中傳播時亦有「粒子」性；前者之特性頻率 ν ，波長 λ ，與後者之特性能 E ，動量 P ，有下列的關係，（ h 乃蒲朗克常數）

$$E = h\nu, \quad P = h/\lambda \quad (1)$$

這兩方程式將來源意義均不同而且無關的概念作成等號，不僅是不可解，甚至可謂「不通」的。但光電效應和康普頓效應（ X 光被電子散射）的實驗，卻明顯的支持它。

初量子論只應用於輻射，但旋即廣達固體（低溫時比熱問題，愛因斯坦，一九〇七年）；氫原子光譜及結構（波爾理論，一九一三年；桑姆菲爾德理論，一九一五、六年）；康普頓效應，（一九二三年）；在物理學的發展，構成一個大震撼。上述的愛因斯坦的光子論（第(1)式），在基本的概念上，動搖了古典物理學。

參、量子力學

到了一九二四—五年，量子論一方面在古典物理若干領域中指出其「失敗」處，一方面在其自身的發展上，亦呈現若干嚴重的基本性困難。大約時機成熟了，法國的德布洛依，德國的海森保，波因，在瑞士的奧國薛略丁格，英國的狄拉克等人，各從不同的物理觀點，用不同的形式的數學工具，建立了矩陣力學、波動力學，和用二者的共同主要特性——不交換性——的更普遍數學結構。這部理論，是先有了完整的數學結構，稍後（在一九二七年）才有物理和哲學的解釋。整個數學和物理意義的體系，構成目前的量子力學。

這個體系，可寫成公設式，其首部可稱為「互補原理性」的部，包括在量子力學中，一個物理系統（例如一個氫原子）的「態」的定義：一物理系統的態，是表以一無限維抽象空間的一個矢量，此矢量寫作 $|j\rangle$ 。

為使此易於了解，我們試以我們熟稔的通常三維空間作引言。一任意矢量 $|\ell\rangle$ 可表為三個分矢量之和。我們可取某一物體之隋性矩橢圓體之三主軸為坐標軸，在三主軸之單位矢量為 $|i\rangle |j\rangle |k\rangle$ ，故

$$|\ell\rangle = C_{\ell i}|i\rangle + C_{\ell j}|j\rangle + C_{\ell k}|k\rangle. \quad (2)$$

此處之係數 $C_{\ell i}$ 等，乃矢量 $|\ell\rangle$ 在此坐標的分量值。在三維空間中，可有無數個的坐標系（在量子力學中的無限維空間，每一「坐標系」，稱為一「表現」。

在量子力學中，一個物理量（如一個原子的「能」；一個物體在 X 方向的位置坐標 X ，動量 P_x 等），皆表以一算符（如 E, X, P 等）。算符有其特性，如線性，自伴性和不交換性，在古典力學中兩個共軛量，如 X 和 P_x ，其在量子力學中的算符必須遵守下列的不交換關係。

$$PQ - QP = (h/2\pi i) \text{ 乘1單位算符} \quad (3)$$

此不交換關係，乃古典物理中所無，亦不可解的，新的，革命性的。

一個系統的態，和算符間的關係如下：一個物理量（算符） Q 作用於態（矢量）時，將態改變為另一態，亦即將 $|j\rangle$ 改變為另一矢量

$$Q|j\rangle = |f\rangle. \quad (4)$$

上述皆是量子力學的公設（基本的假定，是命題性質，定義性質，不能證明的，但如是建立的體系，如不能滿意的構成一個物理理論體系，則只有廢棄之而另起爐灶！

上述的公設，多是「數學」性質，並未和「物理」發生真正關係。這個關係，將由下述的「機率性公設」提供。

設一個系統的態（例如一個原子）為一矢量 $|j\rangle$ ，茲作某物理量 Q 的度量。量子力學謂度量所得的期望值，是由下式計算得之

$$\langle Q \rangle = \langle i | Q | i \rangle. \quad (5)$$

由此公設，可得極重要的結果，如下：

設我們欲量「能」 E （在 $|i\rangle$ 態）的值。我們將 $|i\rangle$ 量，按 E 算符的本徵態展開

$$\langle i | = \sum_k C_{ik}^* \langle E_k |, \quad | i \rangle = \sum_n C_{in} | E_n \rangle \quad (6)$$

$$C_{ik} = \langle i | E_k \rangle, \quad C_{in} = \langle i | E_n \rangle \quad (7)$$

由於 E 的本徵矢量之直交性， $\langle E_k | E_n \rangle = \delta_{kn}$ ，由(5)式即得

$$\begin{aligned} \langle i | E | i \rangle &= \sum_k C_{ik}^* C_{ik} E_k \\ &= \sum_k |C_{ik}|^2 E_k \end{aligned} \quad (8)$$

此結果謂：度量 E 的結果，非確切預言某一本徵值 E_k ，而是所有的本徵值 E_k ，都可以各不同的機率 $|C_{ik}|^2$ （皆小於一的正數）出現，但量度後，我們去檢視度量的結果，則自然只有一個 E_k 值出視，這是古典物理（我們的「常識」）所要求的結果。

唯一的例外，可由量子力學預先確知度量必得某 E_k 值的情形，是當我們先已知系統之態，是 E 的某本徵態 $|E_k\rangle$ 。

上述乃量子力學的基本假設和結果。機率公設所導致的結果（第(8)式）謂量子力學不能確切預告度量的結果，而只能預告各不同結果出現的機率。薛略丁格對量子力學的若干性質，頗不滿意，為尖銳的表達第(8)式結論的性質，他舉出「貓」的例子。

一隻貓，關在一密封的箱子裡，箱子有一小窗孔，上裝一半透明的窗片，所謂半透明，乃是射上去的光，有一半的機率透過，一半的機率被返射而不透過。現安排好一個「光子」（不能再分開的），從箱外射落小窗孔，如光子射入，則將引放出毒氣將貓毒死，如光子未射入箱子，則貓便無恙。

現在光子射入和不射入箱子的機率，各為二分之一，故貓之死、活之機率，亦各半。薛略丁格指出：量子力學，未能確切先告我們貓究竟死了，或是活的；只當我們打開箱子看一下，才確知之。

對此指評，量子力學的主流派，承認量子力學，確有此限度。但這並不意味謂在打

開箱子之前，貓同時有「死」，「生」兩個態存在；下文將再略述量子力學的物理或哲學觀點。

肆、量子力學的哲學觀點

量子力學的數學結構（矩陣力學、波動力學、普遍式（不交換算子式），是先建立的。但其哲學意義，則是一九二七年末波爾的互補原理續漸完成的，我們現簡單的綜合如下：

在古典物理，我們所用的基本概念，如粒子、波動、位置、動量、波長、頻率等，皆是由我們所遇的「宏觀」現象而來的，我們對物現象的描述、思考、了解，皆基於這些概念。但到了廿世紀初物理學的發展到原子，次原子的領域，有些概念不適用了。但我們仍然須用那些不適用的概念，故而有愛因斯坦的「波動」與「粒子」的關係（是第(1)式），這些式，在古典物理，是無法了解的，波爾統稱這觀點為「互補原理」；第(1)式的意義，不是將「粒子」和「波動」兩概念看為矛盾排斥，而是表示二者的「互補」；電磁波既不是「波動」，亦不是「粒子」，在不同的場合下，我們須用這兩個古典性不同的概念。

同故，古典力學兩互軛的位置坐標 X ，和動量 P 概念，在原子，次原子領域，是不適當的概念，但我們仍用它們，則在量子力學中須表作算符，且須遵守不交換關係（第(3)式），海森保之「測不準原理」，即可由第(3)式和機率公設（第(5)式）導出。由此，測不準原理，自然亦非古典物理可能了解了。

上所述的量子力學對度量（機率性公設）的解釋，乃是所謂哥本哈根學派的「哲學」，為大多數物理學家所接受，其強烈支持者乃波爾、海森堡、鮑利、盧森菲爾、狄拉克等大師；但多位在量子論量子力學的創立和發展中有重大貢獻的大師中，卻對哥本哈根的哲學和解釋，有不同程度的不滿，如愛因斯坦、蒲朗克、馮勞厄、德布洛依、薛略丁格等，愛因斯坦從始（一九二六、七年）便不喜量子力學的機率性觀點；他初是不信測不準原理，曾想用「設想」的實驗，來反證測不準原理。雖他旋即承認量子力學在邏輯上無破綻，但他直至他去世（一九五六年），始終認為量子力學之不允許同時有位置 x 和其共軛動量 P 出現，是一個「不完整」的物理理論體系。這點的爭論，是愛因斯坦對物理理論的性質的要求的哲學觀點的問題；波爾則堅持量子力學已是人們知識（因基本概念的性質）的限度，我們問題超出量子力學所能回答的問題時，是無意義的。

數十年來，確有人企圖尋覓量子力學的新解釋，甚或另一理論體系，但至今尚未有

成功的發展。

伍、量子力學與分身術問題

我們回到本文題目的問題：分身術是否有科學（或量子力學）的根據？

首先我們須知「科學」首重現象的精確觀察度量。所謂「分身」，應是指：一個人，或物體，同時的在兩個不同的地點出現。所謂「同時在兩不同地點出現」，是須經嚴格科學水準實驗測定的，魔術師有許多表演，顯似是「分身」，不在我們討論之列，近日報上某人之分身顯影，已經其攝影師承認是其「製造」的影片。亦不在討論之列。我們有興趣的，是有人能用嚴格科學水準（且無其它可能解釋的）證實一個人，或物，能同時的在兩個不同地點出現的事實。

至若量子力學是否能解釋符合這個要求的「分身」，答案是否定的。例如薛略丁格的「貓」（本文第參節）的問題。量子力學是說：如我們將箱子打開，則發現貓的「死」態或「活」態的機率各半，並非謂同時有半個「死」態，半個「活」態。量子力學雖在其理論中用了許多「不交換性」、「算符」、「機率性公設」等古典力學所無的概念，但其最終結論（實驗結果的觀察）則仍須是古典性的。在打開箱子察看貓時，只能見一隻死貓，或一隻活貓。量子力學的解釋應是如此。如以為量子力學是說同時有死貓和活貓兩個態存在。那是沒有意義的。那是誤解量子力學了。薛略丁格的「貓」，正是以之對量子力學未包括確切預告貓的死活，仍須人們打開箱子才確知道，作一尖銳的批評，指出量子力學的未完滿。

哥本哈根派對此，則視為「應該如是」，這是哥本哈根派和愛因斯坦、薛略丁格們，對物理理論的性質的哲學態度不同的爭執，量子力學，或薛略丁格，都和「分身」無關，尤其和某某人的分身顯影絲毫無關。

如確有嚴格科學水準，精密周延的實驗，證實一人，或一物，能同時在兩不同地點出現，那卻是一個新現象，那將不是我們目前的科學所可了解的。我們須將我們的「常識」、「基本概念」拋棄掉，（量子力學亦在內），重新從基礎起首，建立一個「新」的科學。