

量子力學的解說和物理學的展望

Enos E. Witmer 原著 姚樂文譯

一、緒論

量子力學——一種微視現象中的理解性理論——發展到現在已經有四十年了，雖然它是一個非常成功的理論，但是有關量子力學的解說至今還是在爭論紛紛的狀態。事實上目前的爭論甚至更超過十五年前。差不多將近二十年的期間，Copenhagen 學派（其中也有若干分歧）較作優勢，雖然有少數如 Einstein, Schrödinger 的反對者，但是他們的異議和批評在當時西方世界的量子物理學家中並沒有什麼影響，蘇俄的物理學家，像 J. Frenkel 等也和一些科學哲學家一樣不贊成 Copenhagen 學派的解說。到 1952 年底，Bohm 發表了批判 Copenhagen 解說的文字，才使量子力學的解說到了一個比較沉寂的時期。雖然在這個以前，Einstein, Podolsky 和 Rosen 所寫的文章使物理學家們開始爭論的影響到現在還沒有消逝。

1952 年以來關於量子力學的解說有許許多多的著作，但是專家們的意見卻無法統一，最被廣泛接受的就是 Copenhagen 解說，它有它重要的價值，也有它的缺點。有些著者認為目前的狂熱和紛擾是由於哲學家 and 理論物理學家思想的對立。其實這種說法是不正確的，因為有一大堆理論物理學家反對 Copenhagen 解說，他們是：Albert Einstein, David Bohm, L. de Broglie, J. P. Vigiér, F. Bopp, D. I. Blokhintev, V. Fock, M. von Laue, E. Schrödinger, A. Landé, Max Planck, A. N. Whitehead, J. Frenkel, Renninger, Alexandrow 和 W. Weizel。除此之外我們還可以加上 Max Born，他反對 Copenhagen 解說中對於波性、物性互補性的應用。另外我們對於 Dirac 是否完全支持 Copenhagen 解說表示疑問，因為他著名的量子力學書中找不到任何「互補性」的字眼。而且在他的書第四版八十頁中他介紹了「波動函數」的名稱，在那兒有一段非常有趣的小註：「以往使用這個名稱的理由是因為這類函數具有波動的形式。但是在近代一般理論的觀點看來，這並不是一個敘述性的名稱。」很顯然地，他的說法和 Copenhagen 解說中波性的物性同等重要的觀念不同。Kaempffer 則儘量避免使用「波動函數」的名詞，也儘量避免與古典物理學做相對應的討論。

以上列舉的一些不接受 Copenhagen 解說的物理學家聲望都很高，而且其中不少是得過諾貝爾獎金的。這可以說明我們對量子力學解說的爭論並不主要是由於哲學家，事實上我們在這兒是基本上有重要的問題。但是以上的物理學家們的觀點也頗不一致。

在這篇文字中我提出所有解說問題的本質，並且

解釋為什麼在這許多高程度的物理學家中也會有許多不同的意見。然後我再提出我自己的解說理論，而這新的容貌是將所有已有解說的根本觀念經過得謹慎的考慮而得到的。對我來說可能還有更好而且容易接受的量子力學解說，這只能憑著對這問題繼續不斷地討論和研究（可能再發展完全不同的新理論），才能導出更好的解說。

在了解這兒所說解說問題的本質時，我們必須注意歷史上的事實；那就是首先出現的是數學上和物理上的算式，然後才出現或多或少較適合的解說。所以 Heisenberg 說：「量子力學理論的數學工具在 1926 年中即已完備，但是它的物理意義至今還不十分明朗。」物理學家往往在沒有完全明瞭一個新理論以前就利用它來解題。看起來直到今天物理學家和哲學家們還無法完全明瞭量子理論的真正哲學景象。

但是在明瞭解說問題中最重要的課題是：物理學家必須做一些哲學上或是形而上學上的假定；除非他們用一些非常抽象的說法或是只把量子力學形式主義看成只是在微視範圍內解題的方法而逃避這個問題。因為這個理由，我們必須分別「物理上——數學上的形式主義」和「物理上的解釋」意義的不同。後者必須具備和形式主義解說相連接的哲學或形而上學的解答。當然這兒只是許多解說中的初步而已，有些物理學家接受或是嘗試接受一些哲學上或形面上學的假說；或是如 Körner 所說的，他們接受一些使物理解說更圓滿的「調和原則」。

19 世紀古典物理學的哲學是很簡單而且很明白的。換句話說：它們是在絕對空間中的物理實體和實場，而宇宙的狀態可以在任何物定的時間用一組數字（代表所有物理量的大小）來絕對精確地指定出來。再進一步，每一事件的狀態是完全和任何不同的觀察者無關的。如同 Laplace 在 150 年前指出的：這整個系統是完全決定了的。假如我們只考慮物理上的宇宙而不管生命和心智的本質的話，這種古典哲學和古典物理學是如此巧妙地符合，而且這些基本觀念不可能接受任何無謂的挑戰的。

但是由於相對論的發明，引起來很重要而困難的哲學的問題，和古典思想的形式完全不符合。最重要的問題是我們是否能維持真實外物理世界和觀察者無關的存在。在這兒有兩種不同的論點；有些人如 A. S. Eddington 認為相對論需要在物理學上有「主觀的解說」，因為絕大多數的物理量是在時空中的向量和張量，所以在時空中任一點他們的分量的數值和觀察、度量的特定參考系有關。那麼我們不可能再說在相對論中在特定時間的宇宙狀態可用一組數值來指定

。因為在選定特定參考系之前這些數值不可能決定。在相對論中的實際情形甚至更複雜些，因為空間和時間的度量並不相互獨立的。這簡單的基本現象 Eddington說「物理量的值是和觀察者有關。」但是物理量的值並不和個別的觀察者（在這裏並不考慮實驗誤差）而只和觀察所在的參考系有關。所以只要適當地定義「客觀」的意義，我們就不必說物理量有主觀的性質。另外有些人如 P. Frank 認為將物理量敘述主觀性質是錯誤的，而且是一個危險的陷阱。但是如果我們要接受後者的論點，我們必須增加對物理量的觀念。例如在時空中一特定點的電磁場的確是該點一事物的狀態；在一座標系中它導出一組電場和磁場分量的數值，而在不同的座標系中則有不同的一組數值。那麼物理量現在具有某種變幻莫測的性質，甚至雖然在不同的座標系中他們之間有精確的數學關係。

對於客觀的論點有一個強有力的支持證據，那就是事實上在許多實驗中記錄儀器可以代替人類觀察者。

我們在這兒也要注意一點；無論接受「客觀」或「主觀」的論點與否，我們總是可以應用相對論來解實驗出的問題。然而有些地方還是有問題的，特別在宇宙論和有關恒星內部的問題，在這些問題中客觀的論點較佔優勢。有許多理由使我比較接受客觀論點，不過我不再繼續討論這個問題因為在量子力學的解釋也發生類似的問題。

二、量子力學許多不同的解說

在量子力學中我們被一些哲學和形而上學的理論弄混淆了，這些牽涉到什麼是主觀和客觀，什麼是真實和不真實，決定論和非決定論等等的問題。在文獻中關於量子力學的解說種類很多，而且各家的學說不僅是實在主義對實證主義，理想主義，作用主義，現象主義，主觀主義等等，而且物性的本體，波性的本體， ψ 函數的意義，決定主義和非決定主義，客觀和主觀的或然率，觀察和度量的本質，觀察者所扮演的角色等等。當然以上這些都相互關聯，所以在每種解說中所考慮的項目並沒有以上所列舉的這麼多。

所以 Losee 最近舉出了五種不同的解說：Copenhagen 解說，Bohm Vigier解說，Schrödinger 解說，Pascual Jordan 的實證主義解說，和 Margenau 解說。但是這些是不夠的，它沒有包括 Landé 解說（近年來有證據支持）。我們可能可以說有 Born 解說，因為他不接受波性和物性的互補性。或是 Dirac 解說，因為他認為波並不重要（雖然他的論點可能和 Born 相同）。最難列舉出來的是 Copenhagen 解說的支持者，因為他們之間也有差異，再說 Bohr 自己的論點也隨時間而改變。

為了要得到最好可能的解說，我們應該考慮所有的解說，因為每一種解說都是很嚴肅提出的，而且都能很據量子力學的物理形式主義和一切物理學上（更一般說來，一切宇宙上）適切的知識。我們並不確定最好的解說已經提出。反過來說，我們不能希望除去

任何一種解說的困難，因為毫無疑問地今日的量子力量只是一種近似，就好像以前的 Newton 運動定律和萬有引力一樣。在這篇文字中，我無法一一討論所有的解說，所以我只討論有關 Copenhagen 解說和我自己新的解說。我們可以將 Copenhagen 說中的一切知識視為當然，因為在大多數的書籍中都可以找到。

三、量子力學中困難的主要來源

在尋找最令人滿意的量子力學解說中最大的困難是：甚至在非相對論的量子力學中一動力學系統在某一時是狀態也無法和在古典唯物主義中一樣可以用一組數值來代表，而只能用 ψ 函數（或者像 Dirac 述說的，在 Hilbert 空間中的 ket 向量）。再說，觀測的數值和 ψ 函數的關係只是或然率的關係。還有更壞的：假如我們接受量子力學的狀態的「關係觀念」（是 Bohr 後幾年所提倡的），那麼我們就不能再說什麼一個獨立微視系統的狀態，而只能說這種系統再加上一切為了度量所用的實驗儀器的狀態了。在任何的情形裏測不準原理的存在使古典力學和量子力學有極顯著的差異。因為這些都是很著名的，我只舉一個典型的例子；一個粒子 x 座標和其軌動量 P_x 的測不準關係是：

$$\Delta x \Delta P_x \geq h \quad (1)$$

測不準關係是永恒不變的（到目前為止我們說是實驗的結果）Bohr 和 Heisenberg 相信測不準關係中的「不確值」是由於我們去知道或觀察能力的限制，但是 Frenkel 和許多蘇俄物理學家認為不確值是現象自身固有的本質。強調觀察者所扮演的角色是 Copenhagen 解說最顯著的特色，也強調認識論的特質。正如先前討論的相對論一樣，我認為強調觀察者所扮演的角色是完全的不必要和不方便的。那麼我們需要什麼呢？我相信是對於物理實體本質更新和更進一步的觀念，結果才能解釋。我認為我們必須承認 ψ 函數是一種完全新的函數，它的存在使我們不能再回到往古古典唯物主義的單純。但是有些量子力學解說的討論卻以回復到對於時間 t 宇宙的狀態能以一組數值來指定的美妙而簡單的結果為目的——或是至少儘可能地接近。看來 Einstein 就是一個例子，他說他發現量子力學中不能令人滿意的是：它的態度是趨向對於所有物理學「程序性」的目標；即對於每一個別真實的狀態（假設獨立於任何觀察動作而存在的狀態）的完全敘述。

四、有關 Copenhagen 解說的一些重要項目

Bohr 和 Heisenberg 是 Copenhagen 解說的創始人（1926年9月到1927年春季）。雖然他們很密切地一起研究，但是他們的哲學和論點也並非完全相同的。Feyerabend 說：

Bohr 和 Heisenberg（特別是後者）希望導出一套完全可觀察的理論，使一切事件不能觀察的狀態無法在其中列式。根據互補性的觀點，這個理論的數學只是將一可觀測事件的敘述轉換成另一個可觀察事件的敘述，超越了這種作用就變成

沒有意義了。這不是我們平常的說法，也和古典物理學不同。兩者都許可那些無論怎麼觀察都無法的知曉物理現象的存在。

Bohr並不認為自己是一個實證主義者。Beyerabend說Bohr：「雖然他也有時也會有實證主義者的說法或討論，但是他總是自稱為實在主義者，所以對Heisenberg的實證主義有些批評。」von Weizsäcker說Bohr有一種論點，根據這一種論點理想主義和唯物主義就沒有什麼分別了。Hall在詳細研究了Bohr的著作之後在一篇文字中很肯定地下結論Bohr是理想主義者。有些人將Bohr的哲學叫成「高階實證主義」，因為他認為古典物理學的概念是人類思想和觀察的「必要範疇」。這也是Heisenberg和von Weizsäcker的論點，但是他們認為用古典術語思想和觀察的必要性是「社會學的因素」，而Bohr卻認為是「邏輯上的必要」。事實上在哲學上說，以上兩句話的觀念很接近Copenhagen解說最一般說法的「心」和「靈魂」。Feyerabend說

我們必須記住量子力學通用的解說包括以下的哲學命題：量子力學是一種預測的工具而不是用來描敘世界的理論，但是古典術語可以用來做直接而確實的參考。這個命題即包含「古典水準和量子水準是完全不同，而它們之間的轉換不能作進一步分析」的意思。

如果我們進一步來看Copenhagen解說，我們馬上發現它並不是一種解說而只是許多種解說。很明顯地我們必須放棄「Copenhagen解說」的名詞。

我很榮幸地參加過von Weizsäcker的書報討論，我由他的敘述中得知；過去Bohr, Heisenberg和他自己有不同的論點，可能到現在意見還不能一致。

Einstein, Podolsky和Rosen所寫的一篇著名的文字使Copenhagen學派有很重要的改變。Feyerabend說：

1935年之後，Copenhagen解說中才加上了量子力學狀態的「關係特性」的觀念，使Copenhagen解說的論點有巨大的改變。

Copenhagen解說的支持者卻不肯很直率地承認這種觀念論的改變。在這改變之前，Copenhagen解說的追隨者總是說：「由於觀察者和物體的相互作用，在系統中無法控制而且很大的改變被觀察到。」Bohr和Heisenberg就是這樣而無法在量子水準中將「主觀」和「客觀」作很明確的分野。到Einstein等的文字發表之後，Bohr說：

在評論Einstein有關量子力學模式敘述不完整的論點時，我們直接接觸到名詞的問題。我特別警告一些物理文獻上常能找到的措辭，如「由於觀察而引起現象的擾動」或「由度量而產生對微視物體的物理表徵」。這類措辭是用來提醒量子理論中一些很明顯的矛盾，但是卻引起很大的混淆，因為像「現象」、「觀察」或「表徵」，「度量」等名詞和通常的定義不盡相同。為了更適

切的表示方法，我提議在特定的情形下將「現象」的字眼專門用在包括整個實驗儀器的說明上。在這些句子中我相信Bohr很不直率地指出Copenhagen解說所接受的名詞的改變。

Omeljanowski在讀過了Bohr的另一篇文字之後說Bohr正對量子力學作「客觀的解說」。Bohr強調微視（原子的）現象的敘述具有一種完全客觀的性質，在實驗中的觀察「並不和個別的觀察者有關」。而且Bohr也注意到在量子物理學新境界中名詞的選擇。特別是Bohr表示「度量」應該更側重於定量的意義，同時他停止使用由於觀察程序所引起地「無法控制的相互作用」的說法。毫無疑問的，Bohr已經由原有的Copenhagen解說轉變到量子力學狀態的關係特性的觀念了。

這個新觀念到底是什麼呢？那就是「我們不可能想像正在觀察中獨立微視系統的量子力學狀態」而只能想像包括在度量或觀察中使用實驗儀器的整個系統的狀態。解種觀念確實和原先Copenhagen解說不同，但是看來有些Copenhagen學說的追隨者並不能追隨這種觀念。所以我們在Messiah所著很好的量子力學書中仍能找到「無法控制的擾動」的字眼，而Messiah卻自以為是追隨Copenhagen解說呢！但這是舊的Copenhagen解說而非新的Copenhagen解說。然而由於觀察程序所發生「無法控制的擾動」的觀念根深蒂固地植在許多量子力學的文獻中，而且可能需要好幾年才能由新的書籍中消失，

我應該再說許多其他關於Copenhagen解說的論點，但是我在這兒只再提醒一點：我同意Born的論點，我們不應該將物性和波性（或物體和 ψ 函數）視為有互補性。但是如果我們捨棄這個觀念，那麼互補性原理就失去它的用途，而它是否值得存在就有了問題。Dirac並沒有說明這一點。

五、量子力學和適應整個周圍情況的原理

量子力學的關係特性是一個重要的觀念。我已提過Bohr指出微視系統的狀態必需加上用來實驗的整套儀器。和以前一樣，Copenhagen專家們必須附上作一個觀察或度量的觀念。但是我卻不相信這是必要的。Blokhintsev說：「如果因為沒有觀察者而說一切量子實體的說法都變成沒有意義，這種想法是十分荒謬的。在物理世界的現象中是否有觀察者參與實在是非常不重要的。」

許多物理學家和哲學家很熱心地同意這種說法。所以我相信Bohr對於量子力學狀態的定義或敘述需要重行建立。微視物理系統的量子力學狀態的定義應該不僅包含微視物理系統而必須包括「整個的物理周圍情況」。現在這可能是一個令人昏倒的觀念，但是卻和量子力學的數學物理學上的形式主義很相符合。這和古典物理學事件的狀態截然不同。在古典物理學中，物體只是在特定時間對某一位置的場有反應；另外位置的場則對這個物體沒有影響。但是當我們解氫原子的問題時，我們要解一個 ψ 的偏微分方程，其中

電子和質子的位能遍佈整個空間，邊界條件用到 $r = \infty$ 。所以就理論上來說，空間上每一位置的事物狀態都有助於能量位的決定。當然在許多量子力學的應用上我們很少注意這種情形的存在，因為當我們解一獨立系統的問題時，遠距離的位能 V 並沒有什麼影響。但是當我們解一維長方形位能井內質點的運動時，能量位就和井的長度有很密切的關係 ($\sim L^{-2}$)。

我們很難將這種觀念估計得過高，而且很奇怪地很少有量子力學的文字中提及這種觀念。如果我們要想像比較觀念化的術語，只能說：在量子化狀態氫原子的電子知曉它在任何時間原子核周圍的空間都有位能存在。但是電子怎麼會知道呢？在 Bohr 的舊日理論中，我們就發現由於相位積分，電子必需要完成整圈的運動才能決定它是否在被容許的軌道上。但是在量子力學來說，電子知曉它在這「被容許軌道上」每一位置的位能是不夠的；它必須知曉整個空間每一位置的位能。我們可以下這樣的結論：「量子力學中一個物體的行性必須適應整個周圍的物理情況。在這裏我們發現它很類似一個生物學系的行性。」

我在這兒將這個觀念更加以推廣：事實上正是因為當你對某一有機組織做任何動作時一定會影響到整個的有機組織，所以生物學的實驗是十分困難的。現在我們在這兒看到物理學中也有同樣的情形發生。注意我們提到的還不是相對論情形的系統，能量位的數值只和整個空間的位能函數有關，並不和整個時間有關，或是和整個過去的時間或整個將來的時間有關。我們知道 ψ 被動的相速度為 c^2/v (v 為物體的速度)。對一個靜止的物體來說，相速度是無限大。因此看來我們被一步步地引入一種觀念；在量子力學中的物體是一種在任何時間內能對整個宇宙保持精密覺察的實體，這樣它才能得到適切的 ψ 函數。粗看之下這好像是違背所有我們的物理直覺的觀念，但是我們要注意只有質量和能量傳播的速度不能超過光速 c 。事實上 ψ 函數的相速度總是大大於 c 的。而這種 ψ 函數的相速超過 c 的事實更幫助支持我在這兒的觀點： ψ 是「客觀的」但是不是「實在的」(Landé最先提出的說法)。這種觀念的主要困難就是我說的物體要如何去「知曉」某種事情呢？雖然到目前為止我仍使用含有隱諱性的動詞「知曉」，可能這正是我們必須學著去接受的觀念。

我們討論了單獨物體的 ψ 函數。但是將這個觀念推廣到整個系統的 ψ 函數是沒有什麼困難的。

六、有沒有一個真正外在的世界？

我們沒有足夠的篇幅來對這個問題作更深一層的哲學探討。但是我相信一個科學家應當持有最單純，最自然而最實際的態度是：有一個真正外在的世界，即使沒有被觀察，它也是繼續地存在著。這個論點誠然有困難，但是其他別的論點更是有困難和不利之處。當然我們承認實體的世界可能不是（或不像）現象的世界。就算是 Democritus 也很怕這個問題。古典物理學的發現支持這種說法（尤其是紅外線，紫外線和其他部份的電磁光譜的發現）。更由於網膜的研究

，神經系，青蛙的腦，青蛙對外在世界感受的景象與人類不同的現象而使它更確實。不管怎麼說，在有理性的宇宙裏，實體世界和我們人類日常經驗的世界之一定有些連鎖或因果的關聯。為了這個理由，我們至少相信由於物理科學，心理學和頭腦，神經系生理學的發展可使我們對實體世界的了解更加接近(Kant說已超過了科學的範圍)。

所以我提議用水準的學說來克服這些困難。日常經驗（平均、正常人類的經驗）的世界確立了真實世界的觀念，因為它符合經過適當定義的客觀的條件。我將這個世界稱作「知覺水準」的世界。甚至是科學家也常常使用知覺水準的觀念。但是這些觀念對於物理世界的精確了解卻是不夠的。所以在知覺水準之下，我們有「古典物理水準」。

古典物理中的實體和場可考慮成真實的，不會與這些觀念應用極限的困難發生衝突。「古典物理學」這個名詞不是一個絕對清楚的名詞，只是通常為物理學家和哲學家使用的名詞。古典物理學同時也只是對於相對論和量子力學的近似情形。

對於微視物體如原子、分子和電子等等，古典物理學就必須用「量子物理學」替代。那麼我們就可以說是「量子物理水準」雖然量子力學和萬有引力至今還沒有令人滿意的統一，而且像液體理論等的課題尚待發展，但是一般的假設都認為量子物理學包含絕大部份的古典物理學。因此我們就說「量子水準」在「古典水準」之下，即表示前者包含後者而且可以解釋若干只在古典物理中觀察到的事件。換句話說因為量子力學巨大的說明能力。量子物理學的實體和觀念看起來更基本而更真實。但是這種能力是有代價換得，在下一節中，我們就可看到這代價是什麼。

然而在古典物理學之下還有另一個水準，它不在量子水準下但是很接近，這就是「相對論水準」是由於發現空間和時間的古典觀念只是近似的真實而必須代以時空的觀念引起的。當然理論物理學家希望能將量子力學和相對論能揉合成「相對論的量子力學」的一個理論，但是到目前為止在這方面只有有限度的進展。

現在的問題是：到底在量子水準之下還有沒有其他的水準？最可能的答案是有——但是我相信 Bohr 和 Viger 的想法沒有。

最近三十六年來，好像有一種更低於量子水準的新水準，可以叫做「基本粒子水準」，它具有「粒子的產生與消滅」，新的量子數，新的對稱，和新的守恒定律等的特性。

我們沒有足夠的篇幅很正式地討論水準的觀念。我們要注意的只是物理學家自然希望而且相信在這一系列的水準中存在一個最底層的水準，而且在物理世界的一切事情能夠利用這個最底層水準的理論和觀念來整個地加以解釋。

雖然這是可能的，但是對我來說這並非最可能的。

每當我們由一個水準走到另一個較低的水準時，

能够用理論解釋的現象的範圍大大地增加——當然有時利用較高水準的觀念必須摒棄而代以低水準的觀念。

雖然量子物理學大大地增進了我們對於許多事情的知識和了解，但是我不相信現在它能讓我們了解生命體的基本和特殊性質，雖然量子物理學在分子生物學方面有很強的動力。我們有理由相信一些更低水準的理論能讓我們解釋或包含這些物性。現在的物理學較四十年前更像生物學。物理學現在是統計的和測不準的；基本粒子會產生和消滅，許多原子核和基本粒子只有有限的生命。更進一步說，由於測不準原理，所有被限制在有限範圍裏的粒子都在作真實或潛伏的運動。在生命體中很容易觀察到相似的情形。在下一節中我要進一步討論這種相似性。

我認為在這兒用的「水準」這個名詞不應該解釋得太精確。因此量子物理學，並不只是微視物體的物理學。有些量子現象是巨視的。而且當我們的知識增加時，水準的分別也可能有所改變。

七、量子力學的 WITMER 解說

Schrödinger 指出目前量子力學的一個缺點是：它解釋和說明的是在觀察上並不重要的「固定狀態」，但是對於十分重要的「量子轉移」卻無法說明。爲了這個理由，我把「事件」的觀念加在量子物理學裏。就和相對論一樣，這是一個最重要的觀念。但是在量子物理學中，每一個單純的事件就是一量子轉移。一個複雜些的事件則是一系列的量子轉移。由這個論點看來，固定狀態的主要作用只是決定多種不同量子轉移發生的或然率。我們注意這種事件的觀念和相對論非常符合。

在上節中我們提到：在一水準裏的實體和物理量可能會由於應用較低水準的觀念被捨棄而代以其他的實體。所以當我們說到一個實體的真實性時，並不是代表一種絕對的意義，而是限於一個水準甚或在這水準內某種目的真實性。在這種觀念下我說較穩定的質點如質子、電子， α 粒子和穩定的分子是真實的，只要這些衝撞的粒子、光子，和其他基本粒子的能量不高到必須考慮高能物理學的範圍。但是有「兩種真實性」：潛伏的和實在的。這是 Heisenberg 在他一些含混不清的說明中的觀念。因此我相信在量子轉移之間這些粒子的真實性是「潛伏的」而不是「實在的」。

ψ 函數可認作「客觀的」但是絕不像粒子一樣地爲真實的。這種解說爲 ψ 函數中相速度超過光速的事實而得到支持。但是在量子轉移之間一已知量子力學系統的所有可觀察的都是「潛伏的」而非「實在的」。只有在一粒子或系統「下定決心」它已得到「由潛伏轉成實在」的或然率時，它才會從事量子轉移（引用 Heisenberg 的意思）。我這樣說的意思並不表示一個電子、或分子，或任何其他的微視物體具有思想；我只表示它具有動作的自由，雖然受 Planck 常數和量子力學的嚴格限制，但無論如何總和真實性符合。

舉個例來說：考慮一束電子衝擊到一有限位能牆，那麼入射電子的一部份被傳遞而其他的就被反射回來。假設電子束的強度很弱使我們必需一次想及一個電子，那麼就不可能在電子與位能牆作用之後指出它是在反射波中或是在傳遞波中。它在作一量子轉移（也就是說直等到它爲其他物體所散射或吸收，或放出光子等）之前可能在兩者之中。只有在這種動作裏電子「決心」在那兒和做什麼事。

現在當我們論及微視物體時好似都很新奇。當我們說到人類或其他高等動物的類似說法就不會感到新奇。那麼當我們觀賞兩個拳師比賽時，我們一直了解下一步是怎麼樣，不但和每個拳師身體每一部份的位置和速度有關，而且和每個拳師的意識和下意識中以下五或十秒他動作的計劃的整個狀態有關。當我們將這種想法應用在微視物體上就只會感到新奇，因爲我們的習慣和文化環境使我們認爲微視物體是無生命的。不容置疑地，我們說微視物體具有意志確是過甚其詞，但是依照這類量子力量解說，它們有意志和活動性的含混開始的屬性。那麼就不像病毒的研究證明有生命和無生命之間並沒有明顯的分界一樣，所以量子力學的發展可證明「自由」並不因爲一些生物現象的觀念而限於人類或高等動物，我們可推廣到對分子，原子，電子和所有基本粒子的度量上。

這種解說（或是類似的解說）好像早在 1927 年就被 Bohr 和 Dirac 考慮過，但是他們摒棄了這種論點。因此 Bohr 說：「現在的問題是；對於單獨效應的發生，我們應當接受 Dirac 接議選擇「自然」的部份，抑或接受 Heisenberg 建議我們必須選擇建造度量儀器和讀其紀錄的「觀察者」部份。這兩者的選擇有時也會令人猶豫不決的；因爲一方面來說，幾乎不能很合理地賦自然以普通意義下的意志；而另一方面的確也不能說觀察者能影響在自己設計情況下出現的事件。」

然而我相信 Bohr 反對 Dirac 建議的決定是錯的。Dirac 的建議至少可作爲另一個解說的基礎；對我來說它較那過份加重觀察者角色份量（認識論）的解說要好。

雖然我已敘說我們應該將微視物理學的粒子視爲真實的，這真實性有「潛伏的」和「實在的」兩種——這種允許新奇的事物在量子範圍中發生的事實。無論我們處理兩個或多個相同粒子的系統，我們有「任何兩個粒子的相互交換並不影響任何觀察數值的原則」。這個原則的結論是：只有兩種可能的性質適合 ψ 函數。其一的二相同粒子座標的交換使 ψ 函數的符號改變。遵循這種要求的粒子叫做 Fermi-Dirac 粒子，電子即爲一例。另外一種可能是二相同粒子的座標交換而 ψ 函數值不變。這種粒子叫做 Bose-Einstein 粒子。這種新奇的結果顯示 ψ 函數並不是一個像「場」一樣的量，而且另外的一種東西。更進一步， ψ 函數的性質看來很確認地要求我們放棄根本粒子（甚或像 α 粒子的複合粒子）的個別性。唯一有影響的是在已知位置那種粒子的位能表現，即這種粒子的位能表

現是整個系統中的唯一屬性，這種屬性替代了某一特別粒子存在的事實。的確這是我們對這樣系統的考慮方向。

這個原則是非常重要的，因為它是 Pauli 的電子獨佔原理的基礎，沒有這原則我們根本不可能了解原子和分子的構造。

照形而上學的說法，一量子系統的 Ψ 函數是一個「經理處」或「喉舌」，它的作用和一個有組織的社會中的政府的作用差不多：它使每一個別的粒子知曉它鄰近的情況，而且限制它的活動性，以免違背定律。當然這只是一種性質上的敘述而並非完全恰當的，因為 Ψ 函數是受到數學定律的支配。

量子力學中的這些或是其他對稱的原則的理由到現在還不能十分明瞭。但是有一件事看來很平常：那就是，這些新奇的性質顯示在物理理論的發展中我們最後到達連續應用由 Democritus 開始而非常適合19世紀物理學的一種觀念——即宇宙中所有的改變都是由於在空間時間消極的參考系中物體的永遠和基本不變粒子的位置和速度的改變而引起。最有力的例子是在固態內的 Fermi 電子海。電子作用起來好像「意識」到它周遭的壓力和活動性，和受電場磁場的影響十分不同。

進一步說，兩個原子「合成」一個分子並不只是原子的合成，而是互相結合原子的原子核和電子所構成一個「新」的動力學系統的形成。這個新系統的能量位與性質和其組成原子的能量位和性質不同。因此，我們可以說這是「整個較其各部份之和為大」這種敘述的一個說明。可能更重要的是：這是「Aristotle 提到的第二種變化」的說明，這種變化並非由於位置的改變，而是由於「本質」的改變（引用舊式的名詞）。這與先前提到由 Democritus 規定的變化相反的一種變化，基本粒子反應中所發生的變化正是 Aristotle 第二種變化一個最有力的說明。在這兒我們也要注意，如同 Heisenberg 所指出的：由「潛伏的」變到「實在的」的觀念也是一種回溯到 Aristotle 的觀念。我在這裏特別強調：一切由基本粒子所得到的新量子數（無法用古典的話來描述）可以視為十分適合由於「本質的改變」的思想形式。我說這些話並不希望使「將新量子數編入空間、時間，和其他類似的古典物理量的結構中的努力」洩氣，而只是指出近代物理理論的趨勢。當然就算 Aristotle 發明的一些特殊觀念對於量子物理學某些特性的敘述有用，我們也不會「整個地」回到 Aristotle 的思想去。但是我們確實是逐漸遠離支配 Gassendi 自 Newton 時代就建立的古典物理學的簡單 Democritus 思想。

對我來說我們把基本粒子叫做「基本實體」較正

確些，因為它們「潛伏的存在」佔有應考慮的空間（如同先前提到能實驗一樣）。事實上量子物理學中粒子的「變幻莫測的特性」是量子性質中許多原因不明的特性的一種。但是我相信這種特性可以由粒子的「潛伏存在」和「實在存在」觀念的幫助而得到了解。

物理理論的發展將要引導我們走向怎樣的一個極終目的呢？當然沒有人能肯定地說出來。一些不在預料中的事物常常在科學發展的過程中連續地發生。譬如1890年X光線和放射性的發現就是一個令人震驚的例子，現在仍然可做些合理的憶測。我認為過度強調近代物理學的無理性的和神秘的特性是錯誤的。宇宙只有一個，這就是「宇宙」這字眼代表的意義，雖然可能還有其他的宇宙而我們一點都不知道。我認為生命和精神現象一定和物質和輻射的構造一樣自然地適合宇宙的基本理論。所以如同我在前節中解釋的一樣，我認為物理理論的未來發展將會產生一個使生命體的特性找到其自然位置的物理理論，但是毫無疑問地這是一條很漫長的路。我們注意直到今日高能物理學家還常檢討時間反轉性，是否有毛病。而且正當基本的物理學變成較「古典唯物主義」的唯物色彩為淡時，心理學卻看來愈唯物主義外了。因此我們經常聽到許多像 LSD 的化學藥品，能很奧妙地影響心智；另外在耶魯大學的 Delgado，能在動物的頭腦裏適當地裝上電池，利用通過電流的幫助來控制它們的情緒。頭腦外科醫生（如 Penfield）發現在病人頭腦內適當位置加以電的刺激能激發他回憶起已經忘懷了的事情。

我對於物理學的範圍會擴展至包含生物學（可能最後包含心理學）的觀念和哈佛大學 G. G. Simpson 的觀點完全相符合，他在一篇有關科學的文字中表示有一天會物理學變成只是理解性生物理論的一個「特殊情形」。在這兒「特殊情形的意義」和「古典力學是相對論的一個「特殊情形」的意義完全相同。Simpson 的觀念並不容於「還原主義」，因為他將生物現象認作比物理現象較高的形態。所以我們不能希望用較低形態的科學定律來解釋較高形態的現象，較高形態現象的理論才能解釋較低形態的現象，而將其視為一種特殊情形。

雖然我很明顯地借用了許多人的論點，但是我在這兒提出來經過特殊組合的觀念卻是新的。可能 Fock 的想法和我的想法很接近，但是他並沒有論及生物和心理現象，或是水準的理論。然而 Jordan 寫了許多有關量子力學在生物學和心理學上意義的文字，我的想法受他這些文字的影響是很大的。