

原著

量子世界不是客觀存在的

陳俊霖

國立彰化師範大學物理系，彰化，台灣

摘要

古典物理的哲學觀為「實在論」，它只重視物而忽略心。相反的，量子力學的哲學觀為沒有客觀存在的實體，它包含了「能觀測的心」與「被觀測之物」，也闡明了兩者之間的關係。已經有大量的科學證據顯示，如果要完美的解釋這些量子實驗結果，就無法將「觀測者」排除在外，因此「科學實在論」只是一個虛幻的假設且經不起量子實驗的驗證。經過深入的探討之後，我們可以確知量子力學的「哥本哈根詮釋」與佛法中「能知」與「被知」的說法完全一致。

關鍵字：客觀存在、實在論、量子力學、哥本哈根詮釋

壹、前言

一般人大概都知道，古典物理發展到十九世紀末期已相當完備，其中包含牛頓力學或與其等價的 Hamilton、Lagrange、Jacobi 理論，以及流體力學、彈性力學、熱力學、古典統計力學與電磁學。這些理論可以分為兩大類：第一類是描述粒子運動的理論，第二類則是描述波動的理論。

在古典物理中所採用的哲學觀點是決定性論(determinism)，牛頓就曾對決定性論做了一個詮釋，他認為宇宙就像一個鐘錶，當上帝將它上緊發條後就退居幕後，整個宇宙就會依照原先制定好的規則永不停息的運行下去。從這些觀點可以看出古典物理有兩個重要特性，那就是它們必須滿足決定性論且符合因果律(causality)。因此我們可以說整個古典物理的哲學基礎就是——宇宙是客觀存在的，或稱為實在論(realism)。

不過到了二十世紀初，由於實驗技術的精進，物理學家發現一些經過精密測量的實驗結果無法用古典物理的理論解釋，整個物理學產生了重大的變革，於是相對論與量子力學就應運而生。相對論的哲學基礎基本上與古典物理並無不同，所以可以將它歸併在古典物理。不過量子力學可就不同了，整個量子力學的學理

聯絡人：陳俊霖，國立彰化師範大學物理系，彰化，台灣
E-mail: jlchen@cc.ncue.edu.tw

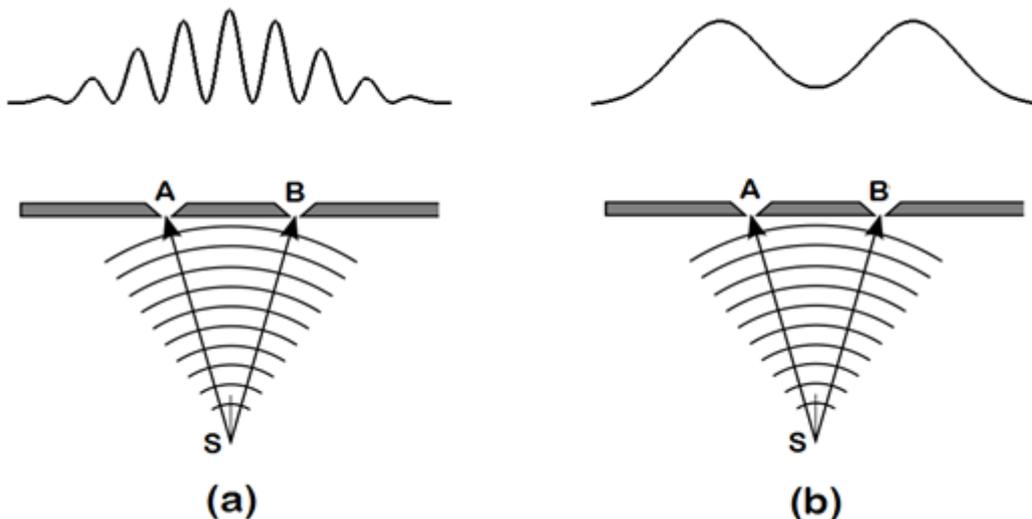
大致上可分為三部分：玻爾互補原理、波恩的機率論與海森堡的測不準原理，將這三者融合成一套完整的哲學觀就是所謂的量子力學的「哥本哈根詮釋」。

「哥本哈根詮釋」的哲學觀為非決定性論(indeterminism)且不需嚴格地遵守因果論，玻爾(Niels Bohr)、波恩(Max Born)與海森堡(Werner Heisenberg)等人認為「一個可被觀測的現象或物理量，不是原本就存在的，而是當我們對它做了觀察或度量以後，它才有意義的」。因此量子力學的哲學基礎就是——沒有客觀存在的實體。

在本文中作者將重點放在探討「古典物理」與「量子力學」的哲學觀，並且說明了實在論的謬誤以及「哥本哈根詮釋」的獨到之處。最後，經由更深入的探討，作者發現「量子力學」的內涵就是「能知」與「被知」的結構關係，與佛法的十二因緣的結構完全一致。

貳、波粒二象性與雙狹縫干涉實驗

在古典物理中「粒子性」與「波動性」是兩個完全截然不同的概念，兩者如水火不相容，一個物體是不可能同時具有粒子與波動這兩種性質。但是在近代物理的發展過程中，一個物體具備了波粒二象性的實驗卻屢見不鮮，如黑體輻射、光電效應、康普吞效應、電子的繞射等等，甚至連 C60 這麼大的分子都具有波粒二象性¹(wave-particle duality)。為了方便單說明波粒二象性的現象，作者採用了費曼(Richard Feynman)教授提出的雙狹縫思想實驗²，其主要內容如下：



圖一雙狹縫實驗的示意圖 (a)形成干涉的圖樣。(b)干涉被破壞後的圖樣。

如圖一(a)所示，有一電子槍 S 朝向雙狹縫射出電子，結果在後面的屏幕中發現了干涉現象，這正說明了在這個實驗中電子具有「波」的性質，不過這是一件非常奇怪的事。我們可以這麼想，當電子經過雙狹縫後打在屏幕上形成一個個

的亮點，這代表電子是粒子而不是波，可是如果電子是粒子的話，就不可能產生干涉條紋。那麼是不是當一個電子通過 A 和 B 兩個狹縫時會自動一分為二，然後這兩部分會互相干涉，而等到通過雙狹縫之後又復合為一，然後在螢光幕上形成一個亮點呢？這是非常不可思議的事！於是我們可以在兩狹縫中分別裝上偵測器，這是用來檢查電子是否真的一分為二而同時穿過 A 和 B 兩狹縫。結果顯示裝上偵測器後電子只能從兩狹縫之一穿過，它不可能同時穿過 A 和 B 兩狹縫，但是此時怪事發生了，原本在屏幕上的干涉條紋消失了而變為如圖一(b)所示的兩團亮點！費曼教授曾說過這個現象顯示出量子力學最為詭異而深不可測的特質。不過原本這是費曼教授於 1963 年提出的思想實驗，卻在 1998~2002 年由真正的實驗所證實^{3,4}。

參、運動軌跡的探討

如前所述電子這麼怪異的行為能夠得到解釋嗎？我們可以這麼想，如果將一顆球向上拋出，則球會在空中形成一條拋物線的軌跡。或者也可以用儀器測量這顆球的運動，並且將所有測量的數據整理好之後，便可以在時空座標圖上畫出一條完整的運動軌跡。但是經過仔細思考後，以上的結論似乎有問題？首先我們要問如何測量球的運動軌跡？答案是必須測量出球於每個瞬間在空間中的位置，可是我們實際上無法對於每個瞬間都進行測量，我們頂多只能去取樣有限的數據而已，因此在時空座標上真正代表球的運動是一些不連續的點而不是一條連續的軌跡，而且這裡所說的不連續的點也不是幾何學上的點，它們是有一定的寬度的，其寬度由儀器的精密度決定之。

古希臘哲學家芝諾(Zhénon)曾經提出「飛矢不動」的主張：一支箭在整個飛行過程中，我們可以將此事件發生的時間分割成無限多個的瞬間，而在每一個瞬間這支箭都具有確定的位置以及它所佔據的空間，所以在每一個瞬間裡這支箭是不動的，而箭飛行的整個過程是由每一個瞬間所組成的集合，因此一支箭在整個飛行過程中是不動的。

由以上的說明可以讓我們理解到：原來物體的運動不是一條連續的軌跡而是一些不連續的點所形成的集合，而且這些點的寬度還可以隨著測量的精密度而有所不同，我們所能觀察的只是物體由某一個點跳至其鄰近的點，那這兩點之間到底發生了甚麼事就不得而知，而連接兩點之間的曲線有無限多個，所以由某一個點跳至其鄰近的點的方式有無限多種。當然我們也可以測量相鄰兩點之中點的狀態，但如此一來相鄰兩點之中點已經被確認而不再是原先是未確定的狀態，因此之前相鄰兩點之間無限多種的可能性將有一大部分被排除，此舉勢必會改變原先觀察的結果。

肆、觀察者的介入與「哥本哈根詮釋」

根據之前的論述使我們明瞭不同的測量方法將會改變其測量的結果，那麼我們不禁要問：是誰在安排這些測量方法？那又是誰在判讀這些測量結果呢？深入地探討這些問題之後，我們將會發現勢必無法將觀察者排除在整個觀測之外，原因是整個觀測的核心部分：事先對於觀測的設計與安排以及事後對於觀測結果的判讀，甚至於與觀測相關的一些定義，這些都需要觀察者的參與。有了這些概念之後，我們就可以對於前面電子的雙狹縫實驗做一個完整的解釋。

在圖一(a)的實驗中觀察者已經事先設計成 A 和 B 雙狹縫，由於電子由 S 出發經雙狹縫到達屏幕的這段期間內，其行為僅受到雙狹縫的限制，此外並無其他限制，於是想當然爾結果就必然形成干涉現象，也就是說電子已經預先被設定成觀察的行為波了，因此就得出了典型明暗相間波的干涉條紋。當我們在 A 和 B 裝上偵測器時，整個實驗又被設計成想要觀察電子到底是由 A 還是 B 穿過，原本在圖一(a)的實驗中電子穿過雙狹縫並無「非 A 則 B」或是「非 B 則 A」的限制，但是加裝偵測器之後，電子的行為就被限制成「非 A 則 B」或是「非 B 則 A」，因此在就在屏幕上看到典型的粒子行為——兩團亮點。

或許有人會問在屏幕上看到的一顆顆的亮點難道不是電子嗎？所以電子應該是粒子才對，怎麼會有波的行為呢？事實上屏幕上的一顆顆的亮點並不是電子本身，而是電子撞擊屏幕上的分子後所產生的螢光罷了！那麼有沒有辦法不經任何交互作用而直接觀測到電子，根據「哥本哈根詮釋」答案是不可能！

「哥本哈根詮釋」的觀點是：「一個可被觀測的現象或物理量，不是原本就存在的，而是當我們對它做了觀察或度量以後，它才有意義的。」舉例言之，一個電子，如我們用實驗方法量它的能量或動量，則能得到能量或動量，於是我們以為它是一個粒子。但如對電子作另一種實驗(如電子繞射)，則可以得到它的波長，於是以為它是波。一個電子，究竟是粒子抑是波，是看我們所作的觀察度量而定的。故說電子是粒子，或是波，或是說是粒子亦是波，皆是沒有意義的⁵。在波爾看來，當研究原子現象時，測量設備和被測量物之間的相互作用意味著“普通物理意義上獨立客觀實在性既不能獨立於被觀察的對象也不能獨立於觀察者”。在沒有觀察的情況下，波爾認為，客觀實在性並不存在⁶。因此作者認為「哥本哈根詮釋」最核心的哲學觀點是：「沒有客觀存在的實體」，也就是說「哥本哈根詮釋」排除了實在論。

波爾等人所提出的「哥本哈根詮釋」描述了一個經由觀察者的認知所創造的世界觀，他們否定了自牛頓以來幾乎統治了整個物理學界的「機械宇宙觀」，堪稱是物理學史上最為重大的變革。

伍、玻爾與愛因斯坦之論戰—EPR 悖論與量子糾纏態

在 1920~1930 年代許多赫赫有名的物理學家對於「哥本哈根詮釋」的哲學觀點持反對意見，其中最知名當然是愛因斯坦。第五屆索爾維(Solvay)會議於 1927 年在比利時首都布魯塞爾舉行，會中玻爾闡述了波粒二象性、互補原理以及測不準原理。愛因斯坦對量子力學的機率解釋一直感到不滿意，他曾在寫給波恩的信中提到：「量子力學雖然令人讚嘆，但在我的心中有個聲音告訴我，它不是真實……無論如何我也不會相信上帝在擲骰子！」

在會議中愛因斯坦充分運用了許多思想實驗對測不準原理提出了挑戰，但玻爾從容應付並一一破解，往往在早餐時愛因斯坦提出了新的挑戰，但都在晚餐之前都逐一被玻爾找出破綻。這戰火一直延伸到三年後的第六屆索爾維會議，愛因斯坦始終無法攻破測不準原理，最後他只好選擇接受，不過在愛因斯坦的內心深處還是始終認為「量子力學是不完美的」。

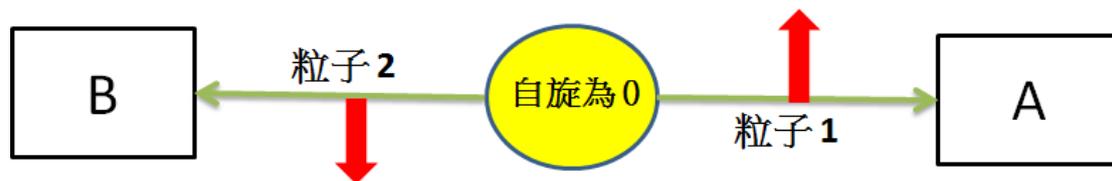
1935 年愛因斯坦與波多斯基 (Boris Podolsky)、羅森 (Nathan Rosen) 三人在〈物理評論〉期刊上共同發表一篇標題為〈物理實在的量子力學描述能被視為完備的嗎？〉論文⁷，這篇論文後來被稱為 EPR 論文，此篇論文對於量子力學的完備性提出了嚴厲的質疑。玻爾一看到這篇論文之後立即放下手邊所有的工作應戰，幾個月後，他在同一個期刊上發表了一篇標題完全相同的論文⁸。

在 EPR 中愛因斯坦認為一個完備的理論至少必須符合兩個條件：一是實在性(reality)，被測量之物是獨立於觀測者而客觀地存在的。二是定域性原理(locality principle)，兩粒子間傳遞訊息的速度不能超過光速，不存在超距作用。

但是玻爾卻認為：首先一個物理量只有在當它被測量之後才是實在的，因此 EPR 的判別準則有問題。其次他認為應將兩個粒子視為一個整體，所以兩個粒子在分開之後，依然存在著某種關聯性，因此在對其中一個粒子做測量時，應視為對整個系統的擾動，所以不必遵守定域性原理。

原始的 EPR 論文是不太容易抓住其重點，為此作者選擇以玻姆(David Bohm)的量子自旋糾纏態⁹作為方便說明的例子。考慮如圖二的實驗裝置，原先有一靜止且自旋為 0 的粒子，後來這個粒子衰變成兩個全同粒子，根據動量守恆，這兩個全同粒子會以相反的方向運動而相互遠離，當這兩個全同粒子彼此距離夠遠時將會到達 A 與 B 兩個偵測器，此時如果 A 偵測器測出粒子 1 是自旋向上時，那麼立刻可以知道粒子 2 必然是自旋向下。未對粒子 1 進行測量時，它是處在自旋向上與自旋向下的疊加態，正如前面雙狹縫實驗的 A 與 B 之疊加態，可是當經過測量後粒子 1 不是自旋向上就是自旋向下，二者只能擇一無法並存。在此同時根據量子力學立即可以知道粒子 2 必須與粒子 1 的自旋方向相反，所以若測出粒子 1 是自旋向上則粒子 2 必須瞬間由原先的疊加態變成自旋向下，反之亦然。此時不禁要問：兩個粒子之間的距離可以是任意的遙遠，難道兩個粒子之間有超光

速的訊息傳遞嗎？或者量子力學是不完備的理論，其中隱藏著不為人知的變量呢？而且方向的選擇是隨機的，我們也可以將上下改成左右或前後都可以得到同樣的結果。



圖二 量子自旋糾纏態的實驗示意圖

因此玻姆認為「哥本哈根詮釋」對物理實在性的解釋是不完備的，需要附加某些額外的參量來描述，遂於 1953 年提出了隱變量理論。1964 年貝爾(John Bell)提出了貝爾不等式¹⁰，這個理論為隱變量理論提供了實驗驗證方法。貝爾不等式最先於 1972 年被 Freedman 以及 Clauser 以實驗檢驗之¹¹，其結果為傾向於量子力學而否定了局域性隱變量理論。隨後 Alain Aspect 等人於 1982 年以更為精密的實驗技術檢驗 EPR¹²，其實驗結果完美的符合量子力學的預測且明顯的違反貝爾不等式，從二十世紀七十年代至今，對貝爾不等式的檢驗給出的大多數結果是否定的。因此目前對於 EPR 的爭論，絕大部分的實驗結果傾向於玻爾的非局域性和“如幽靈般的瞬間超距作用”的「哥本哈根詮釋」。

陸、「能知」與「被知」對應於「古典力學」與「量子力學」

自牛頓以來直到愛因斯坦等多位科學家，他們都秉持“有一個獨立於觀察者而客觀存在的本體”（或稱為實在論）的哲學觀。科學實在論(scientific realism)者將觀察者排除在外，導致於許多科學家是傾向於唯物論。但隨著量子力學的發展以及近年來大量的實驗驗證，實在論確實面臨了非常嚴峻的挑戰。

量子力學「哥本哈根詮釋」最核心的哲學觀點是「沒有客觀存在的實體」。由這個觀點引申出：「一個可被觀測的現象或物理量，不是原本就存在的，而是當我們對它做了觀察或度量以後，它才有意義」，由於所有的測量過程中必須包含觀察者與被測量之物，不可能將觀察者排除在外，觀察者會擾動被觀測之物的狀態，於是在整個測量之中產生了「測不準原理」。

測不準原理說明了即使盡可能地將所有的初始條件都經過充分而完整的設定，但是到後來也無法精準的預測這個世界的演變，頂多只能夠以機率的方式來呈現其未來許多種可能發展的結果。量子力學的測不準原理描述了一個非客觀存在的世界，這代表了一個由觀察者的認知所創造的世界觀，而這種觀點摒棄了實在論。

在這裡作者想要提出一個問題：既然實在論者認為有一個獨立於人類感官、

信仰、概念與想法之外的客觀存在的本體，那他們所秉持的這種觀點，究竟是誰在認知呢？實在論其實是被認知的對象，必須要有一個「知覺者」來認知它，因此整個問題的根源在於認清「能知」與「被知」的關係。

佛法的十二因緣就是在描述不同層次的「能知」與「被知」的結構，修行者的主要目標是要逆著十二因緣破無明進入本明(或稱為覺性)，而覺性是無法被知的，測不準原理正好體現了覺性的這種特質。因此量子力學之所以具有不確定的性質，其原因乃在於它將觀察者的心智包含進來，而觀察者的心智就存在著不可被知的覺性。

覺性是一切的源頭，只要從覺性中起了分別(即一念無明)就順著十二因緣產生了整個世界，所以說「一切唯心造」。而在量子世界中，未測量前一切皆無意義，只有經過測量萬事萬物才有意義。若將識心的分別等同於觀察者的認知，則量子力學無異於佛法。因此我們可以這麼說，「古典力學」的哲學基礎是實在論，它所探討的全落在「被知」的範疇；而「量子力學」將觀察者的心智包含進來，也就是完整的包含了「能知」與「被知」。

有了以上理解後，我們可以發現「波粒二象性」正是顯示了《楞嚴經》所言：「隨眾生心，應所知量，循業發現」¹³。在雙狹縫的實驗中，未裝偵測器之前原本電子處在 A 和 B 的疊加態，裝上偵測器之後就立即塌縮成「非 A 則 B」或是「非 B 則 A」的狀態，至於為何會發生波函數的塌縮？其原因很簡單，那就是有了觀測，或者說是起了分別，這個動作讓原本為疊加態的系統突然間加上限制條件，使得整個系統只能選擇某一個狀態，所以發生波函數的塌縮。因此同樣是電子，只要觀測的方式不同，就可將其改變成粒子性或波動性。

同樣的情形也發生在量子糾纏態，原本兩個粒子處在自旋疊加態，只要測量其中一個，便可使疊加態立即塌縮，縱然兩個粒子之間相距甚遠也無法阻止塌縮的發生，於是就呈現出非局域性和“如幽靈般的瞬間超距作用”。此外，我們可以想像如果整個宇宙形成一個量子糾纏態，也就是宇宙是一個不可分的整體，那麼只要動了一個小局部，就可以瞬間撼動整個宇宙，這正與華嚴經所言「一即一切，一切即一」不謀而合。

柒、結論

當我們在觀察一件事物時，一般人往往將重點放在「被觀察之物」上，而遺失了「能觀察的心」，不過「觀察」本身就必須包含「能觀察的心」與「被觀察之物」，兩者缺一不可，簡單的說這就是「能知」與「被知」的關係。佛法的十二因緣已經非常詳盡地描述了各種層次的「能知」與「被知」的結構，這是一個非常珍貴的智慧寶藏。

相較於科學，人類之前花了數百年時間建立了一套完整的「古典物理」，但遺憾的是整套「古典物理」是建立在「科學實在論」的基礎上，從佛法的觀點來看就是只看到「被知」而忽略了「能知」，換句話說就是只看到「物」而忘失了「心」，因此很多科學家在無形當中就成為了「唯物論者」。

不過當「量子力學」出現時，原先的「科學實在論」就面臨了極嚴厲的挑戰，「量子力學」乃是建立在「沒有客觀存在的實體」之基礎上，這個哲學基礎包含了「心」與「物」，「物」不能脫離「心」而獨立存在，這充分說明了「觀察者」與「被觀察之物」的關係，也就是量子力學的「哥本哈根詮釋」能夠正確的解釋「能知」與「被知」的關係，這與佛法完全一致。這個哲學觀歷經了約 90 年間來自各個頂尖物理學家的挑戰與試煉，迄今仍屹立不搖，這不得不讓許多物理學家縱使對它心生不滿，但是無論在理論或實驗上至今都無法找到其破綻，更遑論證明它是錯的。

最後，作者認為「量子力學」的出現是人類歷史上非常偉大的事件，它讓人們能夠藉由深入的瞭解「沒有客觀存在的實體」其背後所代表的哲學觀，進而體會「能知」與「被知」的結構，而這竟然與釋迦牟尼佛所提出的十二因緣的結構完全相符，世尊的智慧穿越了三千年的時空與量子力學的「哥本哈根詮釋」相互輝映，此景象真是令人動容。有了量子力學的啟發，可以讓深受科學洗禮之下的現代人有機會從「能知」與「被知」的結構層層地深入，最終體悟人類最珍貴的智慧寶藏——覺性。

致謝

本文的完成必須感謝梁乃崇教授，尤其是多年來他在「能知」與「被知」的結構上對我的教導與啟發。

參考文獻

1. Markus Arndt, Olaf Nairz, Julian Vos-Andreae, Claudia Keller, Gerbrand van der Zouw & Anton Zeilinger “Wave-particle duality of C_{60} molecules” Nature 401, 680 (1999)。
2. Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, and Matthew Sands “The Feynman Lectures on Physics” vol.3, Addison-Wesley, 1965。
3. S. Durr, T. Nonn & G. Rempe “Origin of quantum-mechanical complementarity probed by a ‘which-way’ experiment in an atom interferometer” Nature 395 ,p33 (1998)。
4. Mark B. Schneider and Indhira A. LaPuma “A simple experiment for discussion of quantum interference and which-way measurement” Am. J. Phys. 70, p266 (2002)。

5. 吳大猷。量子力學(甲部)。聯經出版社，1979年，頁83-84。
6. Manjit Kumarm 著。包新周、伍義生、余瑾 譯。量子理論：愛因斯坦與玻爾關於世界本質的偉大論戰。重慶：重慶出版社，2012年，頁210。
7. A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" *Physical Review* 47 , p777–780 (1935).
8. N. Bohr "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" *Physical Review* 48 , p696-702 (1935).
9. David Bohm, *Quantum Theory*. Courier Dover Publications. 1951.
10. John Bell "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox", *Physics* 1, p.195-200 (1964).
11. S.J. Freedman; J.F. Clauser. "Experimental test of local hidden-variable theories". *Phys. Rev. Lett.* 28 (938): 938–941(1972).
12. Alain Aspect, Philippe Grangier, and Gérard Roger. "Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem". *Phys. Rev. Lett.* 47, p.460–463(1981). Alain Aspect, Jean Dalibard, Gérard Roger. "Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers". *Phys. Rev. Lett.* 49, p.1804–1807(1982).
13. 梁乃崇、陳俊霖。宇宙是否為客觀存在？佛學與科學，2017年，頁1-4。

圖 覺 文 教 基 聖 音 出 版
臺大佛學數位圖書館暨博物館 數位化

The Quantum World is not an Objective Reality

Jin-Lin Chen

Department of Physics, National Changhua University of Education,
Changhua, Taiwan

The philosophy of classical physics is "realism". It only attaches importance to the— "matter" but ignores the "mind". On the other hand, the philosophy of quantum mechanics is that there is no objective entity. The philosophy of quantum mechanics clarifies the relationship between the "able-observing mind" and the "observed object". Plenty of scientific evidences show that someone want to perfectly interpret the results of these quantum experiments, the "observers" cannot be excluded. Therefore, "scientific realism" is merely an illusory hypothesis that cannot be verified by quantum experiments. After further discussion, we can be sure that the "Copenhagen interpretation" of quantum mechanics is perfectly consistent with what is the version of "knowing" and "being known" in Buddhism.

Keywords: realism, objective reality, quantum mechanics, Copenhagen interpretation