

由物理概念的演進看科學思想的本質

陳文典

國立臺灣師範大學物理系

摘 要

科學思維的基本信念是「存在一客觀性的自然事象，可做為驗證的公準」，而其整個理論體系，除了要能符合事實的驗證之外，也應具有「論理邏輯的內在一致性」。

I、引 言

批判一個科學概念是否真切，是以「客觀的真實」來當驗證的公準的。很自然的，我們第一步要確定的是所謂的「客觀的真實」這一個衡量的準繩。

在探討自然現象時，把「觀察者」與「觀察對象」做一種二分，此一可行性本身即可當成研究科學的基本假定。對此一假定之確立與否的各種檢視，常見於宗教上、心理學上、哲學上的討論。一個科學工作者，除非遭遇到基本定義性的或是邏輯上的障礙，不然，是沒有人去理會的。

雖是如此，科學上也對此一主客二分的「假定」立下某些自制性的限制。那就是我們運用五官（或藉助儀器）去偵測各種現象，並藉著相互間的溝通建立了共識，例如你我同看一只杯子，我們「相信」共得相同的「相」，這種普遍性的共識我們可稱之為「真實」。根據經驗，我們相信這種共識現象並不會是因為參與的人不同或某人參與與否而有任何不同的結果。這種信念，稱之為「客觀的真實存在」。

不過我們也知道五官的偵測有其極限，也知道同一個事件可有許多不同的面相去觀察，也知道在一個現象中各種變因相互影響且同時俱呈，是整體的不可分割，但是在實際的問題解決中，卻仍採取控制變因、分解問題等方法來處理，儘管在如此權宜性的，

不週全的辦法下工作，整個研究的過程，在堅定的信念「客觀的真實存在可當成驗證的公準」下，人類仍然做出了許多堅實可信的研究成果來。

II、科學的理論典範

Thomas Kuhn 在其「科學革命的結構」一書中，談及文明史上各時代的科學理論典範的內涵與流變。若是我們對人類科學思想不由其內涵的興革去看，而以這群「愛智者」所致力追尋的學術和所遵循的準則來看，可以說他們工作的模式是始終一致的；那就是所努力以赴的，不是世俗派系利益的爭奪消長，而是純粹的對學說所據之論證之堅實可信依不同向度作反覆的思辨。我們今天要討論的是這些愛智者在其求真的過程中，到底遵循什麼法則以做為理論取捨的批判準繩。

我們不去討論宗教、政治或經濟方面的「科學」問題，因為這類問題總是夾雜許多文化色彩或功利的因素，不若自然科學來得純淨。而自然科學之中，又以物理學最為基本單純，選擇這一個單純的素材，檢視這群真誠的愛智者經營的心路，或可發現其思維的特質。

「科學思維是一個單純而自然的思考模式；就是一切的理論應以自然的事實為依據，而知識間由論理邏輯得以達成內在的一致性」。何以如此單純自然的思考模式，竟然需要經歷數千年的掙脫，才逐漸地被人們認識，且當成求知的準則呢？由物理概念發展的史路，我們可以依「客觀事實」的認定，及「協調一致」的論理邏輯兩個向度來檢視這段思維的心路，而看出一些道理來。

以最簡略的方式，我們掠顧物理概念發展史，可將整個概念發展史分成三個階段：(一)萌發時期 (二)實證時期 (三)近代時期。萌發時期以亞里斯多德為啓始，實證時期則以西元一六〇〇年伽利略為里程碑，而近代時期則以西元一九〇〇年近代物理興革運動為里程碑。

(一) 萌發時期

風雨雷電的變幻，日月星辰的推移，生活中的種種現象，本來都足以引發智者的思考的。我們可以引希臘時代亞里斯多德（Aristotles 384-322 B.C）的一些科學思想來當成這時期的典範理論。畢竟他的學說影響其往後一千多年的科學思想。

亞氏的科學思想本質上是目的論的（teleological），那就是在其觀察研究之先，

心中對整個系統既已有一種假想、一種認定，而觀察所得的論據，主要是用來證實心中的模型、理論的正確性。這一種思維模式常見之於甫從神權獨立出來，或深受宇宙生靈論影響的文化（例如我國漢初的陰陽五行說），在整個思想上仍然擺脫不了對宇宙的神奇崇拜情操。

以下略列舉數則亞氏的物理概念* 以供參考：

「· 時間不是運動，但運動需依它始能量度。

- 運動有直線與圓運動，單純物質作直線運動、複合物質可作圓運動。
- 火（fire）、土（earth）、氣（air）、水（water）為單純物質，作直線運動，其又分成重的（土和水）和輕的（氣和火）兩類，除了這類物質之外，另設一代表活力的 ether。
- 物體落下時，重的優先於輕的。重量大的落速大。以「換位」的想法來描述運動，例如：土比水重，故石沉入水中，水比氣重故水往下流。由於用換位想法，故無「真空」概念存在的餘地。彼論證，物質若在真空、速度將無限大，而此為未見之事實，故真空不可能存在。
- 持續運動需要力，故無限的直線運動為不可能。
- 順位概念：靜止先於運動，重的先於輕的，完美的先於不完美的。（圓運動為完美的，故優於直線運動，天體運動應是圓的，或圓的組合）」。

他的學說主要的依據五官的觀察，佐以臆斷和哲學的思考，加上他對宇宙一種先驗性的見解，在其做了理性的推理思考之後，將各方面的知識組織且相互支持，仍然完成了某種程度上的「整體理論協調一致性」。

實測及量化，數學表達方式是伽利略提倡的，在這之前，哲學上的思維及純理性思考，是主要的研究方法。由於希臘時代的科技並不發達，觀測憑藉五官，實際觀測對理論體系的評鑑度並不高，故理論面臨的驗證考驗也不嚴苛。所以在能適度自圓其說之下，也能普遍為人所接受，而成為一典範理論。

接著是中古歐洲的基督文化，教會把宗教性的論據與科學上的不成熟論點結合，使得這種目的論形式的科學理論被更加的加強桎梏科學發展達一千五百年之久。

（二）實證時期

繼文藝復興之後，人們的思想逐漸的回甦。義大利人伽利略（Galileo Galilei 1564～1642）開創實證的科學研究方法。其基本的研究方式則是對觀測量作明確的

定義、量化的度量、實際的觀測，以及變因之間數學關係的研判。至於如亞里斯多德那種預設式的假想思維模式則被完全放棄（法國人 Réne Descartes 1596～1650 尚保留一些模式的形式，唯弱化成一種假設，以便做為推論或實驗的導引指向，唯不當成前提式的理論），像伽利略、波義耳、牛頓等著名的實驗物理學家，則不用此預設式的研究方式，在思想上完全採取開放式的，完全實驗事實來當成研判的論證這種實驗精神。

這種完全精神自由的實證主義下，精確的測量要求，帶動科技上的努力，設計出更精良的儀器，科學理論在此嚴謹的評鑑下，堅實的全面的發展開來，形成目前的科學文明。

由幾項事實，可以看出研究方法的改進所引起的立即效果：

1584 伽利略 發現擺的等時性，並據此設計準確的時鐘。

（往後依據週期運動去刻劃精準的時間，成為一項實驗研究必備工具的改進重點之一）。

1604 伽利略 利用大小兩鐵彈在比薩斜塔做落體實驗，結果證實兩球同時落地。由此，亞里斯多德的整個速度、重量及力的力學體系完全崩碎了。接著釐清速度、力、加速度、重量等觀念整個重建力學的理論，伽利略在力學方面提出了：

- 慣性定律，並由此定律界定了力的角色在於改變速度。
- 測量重力加速度 g 。
- 由重量、重力加速度、力角色的界定，得以界定質量的概念。

1608 伽利略 分析物體拋體運動，把速度、加速度、重力解析得更清楚。

可以說，整個亞里斯多德動力學理論，經過伽利略一個實際的「落體實驗」就完全解體了，而這種工作竟然一千九百年之間無人嘗試過。

我無意在此詳細列舉自西元一六〇〇到西元一九〇〇這三百年間，對於電磁、光、聲、熱等現象、化學現象方面研究的成果。我把這些研究成果的知識當成已知，用來當成進一步談論的基礎。以下我想討論的是由這三百年蓬勃發展的物理概念體系中，來看科學知識的本質。

<本質一：科學驗證>

所有的理論的真切與否，得依客觀的事實驗證之。

儘管對於「事實」並沒有嚴格的界定，但是我們確信它是客觀地存在的。例如：許

多運動現象，在速度接近光速時，牛頓力學得加以相對論效應的修正。可是由於當初建立牛頓力學理論體系時，均依照實驗事實，所以這類理論擁有客觀性的事實依據，很可能被「推翻」（當觀測的範圍愈加精細或擴大，原有理論不能理解時，理論也有可能被「推翻」，但機會不大。）這種客觀依據事實的堅實基礎，和開放性的驗證精神是科學理論的基本特性。

其次，對於「驗證」一事，在此也得仔細的界定一下。由於目前的偵測的工具，不僅依賴五官的感受，大量依靠各式儀器的協助，而儀器本身即是另一些科學理論的產物，因此，所謂「驗證」事實也就是所發現的情境，其實包括有論理邏輯的一致性成份在內。

在物理現象的「驗證」工作上，我們不僅要求測量的準確性，並且要求到情境相同時，事件的發生應具有再現性的程度。也就是說只要一切情境符合，依照理論，其產生的結果必須如理論所預測的，而不能允許有一例外。

<本質二：內在一致性>

科學的思維模式由早期希臘時代柏拉圖（Plato）、亞里斯多德（Aristotle）幾近哲學式的推理方法，到十七世紀初年獲得極大的改善，更能真確的依照觀測的事實去推論。不過，由於科學家性格的不同，思維的方式也有所偏好，有的善於由實驗及偵測的資料去歸納規則，發現新事象，如伽利略、波義耳、牛頓、法拉第、拉塞福等人，有的善於統整概念，提出理論，並藉邏輯推理，演繹地解說或預測現象，如笛卡兒、惠更斯、拉格蘭日（Lagrange）、漢彌兒頓（Hamilton）、馬克斯威（Maxwell）、愛因斯坦（Einstein）。不管是由理論出發去理解現象，或由現象觀察中去領悟理論，科學理論不斷地在精密實驗的結果考驗下，反覆思維辯證，而獲得內在協調一致性的理論體系。

由這些理論的思辯過程中，我們約可看出幾項運作的脈絡：

驗證原則：例如波義耳氣體壓力與體積定律，查理氣體溫度與體積定律，給呂薩克氣體體積反應定律，刻卜勒天體運動定律，萬有引力定律，這些定律均是由實際的實驗數據歸納而得，證實其適用性。

簡約原則：例如托勒密（Ptolemy）以地球為中心的宇宙觀，在哥白尼（Copernicus）的太陽為中心的太陽系模型比較下，前者顯得繁瑣不自然，依簡約原則，自然地被捨棄。又例如：「以太論」用以解釋光的傳遞，但一來毫無「以太」的效應被發現，

二來有了場論模型之後，「以太」的需要性成為不必要，依簡約原則，即被捨棄。

邏輯化約：化約可分成兩種，一種是兩個等值性敘述的發現或論證之簡併。另一種則是減少基本的「假設」，我們稱此類化約為「理論建構」另敘於後。等值性敘述的化約如熱力學第Ⅱ定律，它可敘述成「在自然的過程，熱總是由高溫傳到低溫」，「當系統平衡時，其熵值極大」，「任何熱機都無法把輸入的熱能完全用於作功」，「卡諾熱機具有最大的工作效益」，這些不同的敘述可論證是相互等值的。另外，如運用牛頓三個運動定律可以解全部力學的運動現象，也可說是一種邏輯化約。

理論建構：例如光的反射與折射定律可以用費瑪（Fermat）提出的「最短時間的傳遞」之理論假設來解釋。牛頓運動定律可以用「虛功原理」來解釋，而「虛功原理」可以用 J. L. Lagrange 的最小作用量原理來解釋，而最小作用量原理的理論又可適用到電磁學、力學、光學等各領域。

又如 Daniel Bernoulli 提出氣體動力論可以解釋波義耳定律，查理定律。亞佛加厥假說（Avogadro hypothesis）亦具有相類的解說功能。我們可以說，任何一個模型或理論的提出，旨在以更少的假設，更簡單的條件來解釋許多現象和定律。

完備一致：所有的理論或是相互統屬或是具有相關，其所預測或解釋的結論要完全相同。對於全部已知的現象，要具有無一例外的解釋能力。

由伽利略提出的實證精神，在研究科學上所建構的科學知識體系是如此堅實的立於「客觀實在的事實」上，它的可信程度是無與倫比的，可以說人類終於尋求出一種可靠的求知方法了。

（三）近代時期

自西元1895年德人 W. C. Röntgen 發現 X-ray 之後，引起 H. Becquerel (1896) 及 Pierre & Marie Curie (1898) 發現原子的自然輻射現象及發現 Po、Ra 元素和其放射性，揭開對原子結構的微觀尺度的物理現象的探討熱潮。緊接着就有 Rutherford (1911) 提出原子結構模型及 Niels Bohr (1913) 提出氫原子模型，一系列的新發現可說近乎「日有所聞」的頻度。

在此，僅列舉相對論與量子力學概念發展的主要發現於下：

- 光速是否與發射的坐標運動相關的實驗

1818年 Fresnel 曾提出此問題，由 Arago 實驗，其結果顯示「似無相關」。

1887年 A. A. Michelson & E. W. Morley 實驗，證實光速與發射源運動無關。

1905 年 Albert Einstein 提出特殊相對論，真空中光速皆相等。

• 波與粒子性質的互補性的發現

光的波動性質：1802 年 Thomas Young 利用光經過平行雙狹縫相互干涉實驗，證實光的波動性。1818 年 Fresnel 運用 Huygens Principle 導證光的繞射理論。

1850 年 Fizeau 由實驗證實光的水中速度小於 c 。

光的量子性質：1802 年 Joseph Fraunhofer 發現太陽光譜，於 1850 ~ 1858 年間由 R.W. Bunsen 及 G.R. Kirchhoff 創立光譜學。這表示元素輻射光並不連續。1900 年 Max Planck 以光能量量子化解釋黑體輻射的能譜分配函數，量子性質正式被認識。

光的粒子性質：1905 年 A. Einstein 以光似粒子的性質成功的解釋光電效應，1923 年 Compton 由 γ 光散射的波長變動現象，引用光粒子與電子的一般碰撞想法解釋成功。

物質的波動性質：1923 年 Louis de Broglie 提出物質波的概念，同年 C. J.

Davison 和 C. H. Kunsman 於 Bell Lab. 以電子束照射鎳晶體得到繞射的結果。

量子力學的提出：1925 ~ 1926 年間 Heisenberg (於 Göttingen)，Dirac (於 Cambridge)，Schrödinger，(於 Zürich) 提出形式不同但等值同義的量子力學，以描述物質及光的這種波和粒子互補式性質的物理現象。1927 年 Heisenberg 提出 uncertainty principle，以及 Niels Bohr 提出 Complementarity principle 使得量子力學獲得完備的理論基礎。

純數學上的思維，物質波的構想早在 1835 年已由 Hamilton 所提出。量子力學可以說是賦予 Hamilton's matter wave 一個真實的物理意義及實驗上的可驗證。

由整個物理概念的演進中我們可以由名詞定義的方式及理論間的辯證看出科學思維的特質來：

• 名詞定義：由純概念式定義到操作型定義

<空間> 在亞里斯多德時代，空間是滿實的，所以物體運動是一種「換位」過程，也即輕物與重物的換位。也因此沒有「真空」的概念。

伽利略嘗試稱出空氣的重量，也因此引伸出「真空」的概念。定義「不呈壓力」的空間為「真空」，即所謂托里切利真空，波義耳真空。

至於不呈壓力的真空是否有「以太」或「其他什麼」，則不予討論，這就是所謂的「操作型定義」真空。

<時間>由亞氏哲學式的敘述「時間不是運動，但運動需由其量化」，到牛頓的絕對時間概念「時間不因物質環境而有所不同，而獨立地均勻地流逝」雖然在計時上，由沙漏到鐘錶而改進，但定義上仍維持這種想像式的概念。依1956年國際度量衡單位決議，「一秒等於Cs-133原子於基態兩超精細能階間躍遷時放出輻射之週期的9192631770倍之時間」。

這種「操作型」的定義即依客觀的實體為依憑。

<長度>「一公尺等於光在真空中於299792458分之1秒時間內所行經之距離」。
(1983年國際度量衡大會議決)。

• 論理邏輯內在的一致性：

<相對論的提出>

- (a) 相對性原理(RP)是物理學的基石，表示任何力的現象無法判別坐標是靜止或作等速運動。
- (b) 馬克斯威爾電磁方程式(ME)經驗證是完全的可證實，並知光即是電磁波之一，光速為c。
- (c) 兩慣性坐標間時空坐標轉換依伽利略轉換式(GT)，在相對運動時，速度相加的結論是可驗證的。
- (d) 麥克遜莫里實驗(MM)證明光速與發射坐標的速度無關。當(a)、(b)、(c)、(d)同時成立時，相互干格。結果愛因斯坦放棄(GT)，改以羅倫茲轉換式(LT)，而當坐標速度v遠小於光速c時，則(LT)的近似即是(GT)的形式。並不違背其原先可驗證的各項事例。

<量子力學的提出>

- (a) 光具有粒子和波動性，物質也如此。
- (b) 粒子及波動性兩類概念不能同時俱陳，但卻為光及物質所兼具，故呈共軛互補性質。
- (c) 時空坐標與能量動量的度量亦不能同時測定(擇一測定則可，但必影響另一)，亦呈共軛互補性質。

於是Heisenberg, Dirac 及 Schrödinger 等人擺脫這種粒子與波動概念擇一無法俱全，俱陳則相干格的困局，採取Hamilton 的 matter wave 描述模式，及

Max Born 的機率概念解決此一「語言」上的問題。

<微中子的發現>

- (a) 西元 1932 年 C. A. Anderson 發現中子會衰變成質子和電子 Pauli 和 Fermi 分析發現若 $n \rightarrow p + e^-$ ，則能量、動量及角動量不守恆。
- (b) 孤立系統能量、動量及角動量守恆是物理的基本原理，於是 Pauli 及 Fermi 認定必有一自旋 $1/2$ ，不帶電的「？」帶走這些落失的量。1953 年 Cowan 及 Reines 發現了「？」，稱為微中子。由此事件可看出由於測量的精確，既有理論間嚴謹的內在一致性，使得我們有時候寧可對「發生的情境」採取保留態度，而不肯輕易的放棄既有的理論，因為它們的信用實在太好了。

由以上幾個例證，我們發現理論內在一致性的要求是嚴謹而精確的。

III、結 語

科學是依憑事實，內在協調一致的理論體系。

當現象的肇因一旦被解悟，所有的神奇都成為必然。往往看來很複雜奇幻的現象，可能僅只是一兩個規則下，幾個交互作用所呈現的表相。也就是說當所有的密碼一旦解讀，可能僅是一兩句話的事。正如同 Tycho Brahe 觀測行星的軌道，Kepler 運用 Copernicus 太陽為中心座標去解讀，歸成三個規則來，而牛頓以萬有引力定律釋之。這種理論成功的信念，在近代科學發展的經驗中屢獲驗證。

不過，這種樂觀的信心，得歸功於伽利略實證科學的倡議，由於實驗及觀測的確實，立論的嚴謹（包括概念之間的論理邏輯一致性，理論預測能力的明確性，可再現性的驗證，和依憑事實的客觀開放性），使得科學理論自然地擁有啓創開放而不自閉僵化的特性，每一個立論都有堅實的事實基礎，而每一既有的理論都在不斷的擴張觀測領域下接受一再的考驗。人類經由如此過程所獲得的知識均稱之為科學。

由於落實於實際的量化觀測，變因控制以及將問題解析成局部問題往往被採用當成一種研究手段。另外由事實的觀測、實驗去歸納規則，或是由建構的理論藉邏輯推理去預測或解釋現象，兩種不同的趨近方式也都可採用。於是，現象觀測與科學理論之間不斷的迴遞援引，事象之間的因果相關得以逐漸明朗。

唯科學研究是一種求真的心智活動，不作價值方面的考慮，無善無不善的中性活動，也沒有權威和禁忌，一切只求依憑事實，以及理論間內在矛盾的化解。加上科學及科技

兩方面交互援引產生日新月異的新知識，不僅是物理、化學、氣象……各方面均有科學家運用自然的定律，巧妙引用來操控自然，發明創造新事物。在「凡是可能發生的，遲早都會發生的情形下」，聰明的人類有可能在某些時候做出一些自己都無法控制的結果！有時難免又對自己有朝一日能擁有如此巨大的能力而心感不安呢！

註：* The physical world of the Greeks (by S. Sambursky)

* Aristotle Selections (by W. D. Ross)

國中數學及自然學科資優生分六區甄試 八十年四月中旬舉行、共考五個科目

編輯室

台灣省教育廳為輔導國中數學及自然學科資優生升學，繼續發展專長，及適性教育，以培植科學人才，將分六區辦理甄試，並在八十年二月十三日前，由各校將推薦表及資料送各分區承辦學校初審。

初選名單之推薦資料經「聯合甄選委員會」複選通過後，實施智力、性向測驗，再參加輔導升學甄試。

這項甄試將於八十年四月中旬舉行，科目包括：國文、英文、數學、自然學科及實驗能力測驗，其辦理區域及承辦學校*如下：

一、台北區——台北市、台北縣、基隆市、宜蘭縣、花蓮縣、金門縣、連江縣。*台北
市立建國高級中學。

二、新竹區——桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣。*省立竹北高級中學。

三、台中區——台中縣、台中市、彰化縣、南投縣。*省立台中第一高級中學。

四、嘉義區——雲林縣、嘉義縣、嘉義市。*省立嘉義高級中學。

五、台南區——台南縣、台南市。*省立台南第一高級中學。

六、高雄區——高雄市、高雄縣、屏東縣、台東縣、澎湖縣。*高雄市立高雄高級中學。