

第一章 科學化及其原則

1.1 科學為何？

科學為何？如何區分科學和偽科學呢？Carnap主義者認為科學法則是由經驗歸納證實而來，進一步抽象化或普遍化的法則。Popper主義者認為，科學本身是一連串理論的猜測和否證之過程，以理論的否證性作為科學與偽科學的劃界判準¹。Kuhn的大作”*The Structure of Scientific Revolution*”挑戰實證論的觀點，說明科學發展的非線性，以及說明沒有任何區分科學和偽科學的判準存在。相對論者，例如Feyerabend則認為科學是多元發展的，因而否認任何形式的「科學霸權」或是「一元科學」的觀點。何為科學？何為科學與偽科學的劃界？在長久以來的爭論中，終究沒有任何肯定的解決，即使如此，亦不能說毫無成果。事實上，假若放棄某些信念和偏見的話，我們發現其中差異處並未若想像中的大，大致來說，無論實證論、相對論或是建構論者，對於科學活動或是知識本身並沒有太極端的理解差異。

筆者不欲深入討論各個學派或思想家討論科學為何的問題，僅抽取其中一致同意的部分加以陳述。筆者基本主張，科學活動是一種追求知識和形成知識的活動，其中所產生的產物，即是科學知識和科學理論。與其他知識活動最大的差異在於，科學知識和理論必須具備著經驗基礎，即是說，原則上所有的科學知識都必須能夠可經驗落實地加以測試與檢證。因此，科學活動不能單純地停留在概念建構之中，而必須踏入物質世界（physical world）當中，加以落實測試和檢證。隨著理論本身的要求或是方法（論）上的精進（無論就概念上或是經驗上），對於實驗和分析方法的要求亦會改變。此外，科學活動是一種制度化的社會活動，這說明的不僅是科學活動具有社會建構的面向（教育、經濟政策影響、學會制度等等），更重要的是，科學活動和知識是一種公開化的活動和知識，並不侷限於特定的社會文化脈絡或是個人經驗，而是在原則上可為認知行動者（agents）所理解和檢證。

在此，筆者必須先廓清「科學」（science）、「科學研究」（scientific research）、「科學化」和「科學活動」（scientific activities）這四個名詞的意義。當筆者使用「科學活動」時，乃是一個泛稱，即是任何關於科學發展和研究的任何活動，包括理論建構、數學推演、實驗、研討會、發表論文、甚至是教育等等。當筆者使用「科學」時，即是說一個理論、模型是接受過實驗檢證，並被科學社群接受的可靠理論。當筆者使用「科學研究」時，則是指明科學實驗、科學觀察等的資料分析和現象製造的過程，譬如說，解開 DNA 密碼、天文觀察、收集植物標本等等。當筆者使用「科學化」時，乃是意味著嘗試將一個未接受現代科學方法檢證

¹ 這一觀點由Ian Hacking提出，”Carnap’s verification is from the bottom up: make observations and see how they add up to confirm or verify a more general statement. Popper’s falsification is from the top down. First form a theoretical conjecture, and then deduce consequences and test to see if they are true.“。Klee, Robert (1999), p.218。

的理論，提升為科學理論的過程。因此，在這意義下，檢證中醫藥草的療效和「科學化」中醫藥學是兩回事。前者乃是科學研究，無關乎理論是否為科學，僅關心草藥的有效性；而後者乃是科學化過程，則專注於如何證實中醫藥學的有效性，兩者不可相混淆。

爲了批判傳統中醫理論和檢視現代中醫實驗，筆者必須進一步釐清「科學化」的蘊含。然而，筆者不希望踏入科學與偽科學的劃界問題之中，同時，筆者建議一種更爲貼近現代科學家的觀點來說明「科學化」。因此，筆者主要從方法論的面向來說明科學化的蘊含。以下，筆者將提出三個科學化原則，說明一個理論滿足科學上可測試的最低標準。

1.2 可落實原則

科學理論和知識乃是關於物質世界的經驗和知識。我們想知道到自由落體的運動情況，瞭解如何有效地治療疾病，以及某些植物、動物的生態等等。我們透過經驗歸納來發現某些現象事物的規律，發現如何將事物穩定地產生，或是透過分疇過程（categorization）將某些事物分類，嘗試找出其中的共同性等等。我們也嘗試建構一套理論來解釋和預測現象的發生，甚至製造現象的發生。因此，本質上，科學理論或是活動總是與物質世界相關。一個理論若是科學的，必須能夠有效地預測和說明物質世界的現象；一個科學實驗的成功與否，不僅在於產生理論所描述的現象，同時也在於其能夠重覆該現象的產生（即使缺乏任何理論來說明）。因此，一個理論若要科學地可被測試，必須在過去、現時或是未來，具備著可落實於物質世界中測試的可能性和可實行性。

如此，假設理論本質上拒斥落實於物質世界之中，或是否認理論實體本身與物質世界有任何因果關係存在，我們大可將該理論或是理論實體視爲非科學。舉例來說，上帝存在並不是一個科學信念，因爲根據現今對於上帝的定義，我們無法將上帝視爲物質世界中的存在；甚至也無法視爲一種概念建構，「上帝是最善最美，不可想像的存在」！這使得上帝存在的信念無法透過人體感官所獲知或是經驗實證，我們僅能將上帝存在視爲一種宗教信念。同時，上帝存在作爲一個問題並沒有現象的根源，因此無法加以研究。

但是，造物論（creationism）則是具有經驗蘊含的理論，是可以科學地測試。然而，造物論的經驗蘊含與許多已確立的知識並不吻合，譬如說上帝造物的時間，大洪水等等，並沒有任何其他有力的證據支持造物論的說法。因此，造物論並不是個可靠的理論。另外一方面，物理學的一些理論實體，譬如電子和中子，雖然無法用肉眼觀察，但是可以透過氣泡室和粒子加速器加以操作，能夠落實於物質世界中。因此，一個理論或是理論實體本質上拒斥落實於經驗世界當中，或是否認與物質世界具有因果關係，筆者均視爲非科學。該原則，借用陳瑞麟的說法²，筆者稱爲「可落實原則」（the principle of realization）。

必須注意的是，在上述使用下，可落實性是個判決性的標準，也就是說，任

² 陳瑞麟（2003-b），p.144。

何科學理論必須滿足這一條件，無論在過去、現時或是未來。因此，即使有理論未能立即滿足這一原則，亦不代表永遠不能滿足。不過，這一理論仍必須有其他經驗證據或是其他已檢證的理論作為其支持。否則，這一理論的可落實機率就會大大地降低。

A. 模型理論與可落實原則

原則上，理論落實到物質世界的過程並不是直接的，而是間接的。陳瑞麟即指出，科學法則並非直接解釋現象，而是「透過模型：科學法則為現象呈現模型。」³Giere亦指出，為理解科學推理必須瞭解模型在科學中的使用⁴。因此，我們有必要先瞭解「模型」在科學上的使用，以進一步澄清可落實原則的內涵。

根據Giere的說法，至少可以區分三種模型，分別是：尺度模型（scale models）、類比模型（analog models）與理論模型（theoretical models）⁵。尺度模型，如其所名，與實際物體的差異在於尺度上的大小。譬如說飛機模型與飛機，兩者的主要差異在於尺度上的大小（讓我們忽略飛機模型是不是可以飛行，或是所用材質是否和真實飛機一致這些差異）。Giere本身提到的科學例子為DNA模型，「在DNA模型的例子中……模型的一英吋大約表示在實際DNA分子的十億分之一英吋。」⁶

類比模型，乃是基於相似性，推定A範疇的特徵、結構或現象，可在B範疇中發現類似的特徵、結構或規律。通常我們可以將類比過程分成兩種，表面特徵的類比以及結構性的類比⁷。前者乃是基於某些特徵的相似性而加以類比。譬如說，中國陰陽五行觀念多屬此類，「蛇之性上竄而引藥，蟬之性外脫而退翳，虵飲血而用於治血，鼠善穿而用以治漏，所謂因其性而為用者如此……所以如此不可勝舉。故天地賦形，不離陰陽；形色自然，皆有法象……空青法木，色青而主肝；丹砂法火，色赤而主心；雲母法金，色白而主肺；磁石法水，色黑而主腎；黃石脂法土，色黃而主脾。故觸類而長之，莫不有自然之理也。」⁸這一類類比無關乎科學假設的形成，故可以暫時略去。

後者，乃是依據兩者之間的結構相似性加以類比。譬如DNA模型類比於雙螺旋一般，或是昆蟲與鳥類的翅膀（兩者具有相同的功能，但卻是相異的生理結構和材料）。兩者的相似性，並非其表面特徵之相似，而是兩者具有類似的結構，假設A、B為兩個空間上獨立的系統，當說A、B具有結構相似性時，乃是說明A的元素組織方式與B的元素組織方式相似。在這意義下，兩者相似的不是個別的表面特徵，而是這些表面特徵的組織方式。當代科學最有名的例子，莫過於太陽

³ 陳瑞麟（2003-a），p.82。

⁴ “Scientists often describe what they do as constructing models. Understanding scientific reasoning requires understanding something about models and how they are used in science.” Giere（1997），p.21。

⁵ Giere（1997），p.21~25。

⁶ Giere（1997），p.21。

⁷ Carruthers et al.（2002），p.159。

⁸ 轉引劉完素之言。唐雲（2005），p.229~230。

系系統類比於原子系統⁹。必須注意的是，類比模型僅是科學家發現或思考新的科學假設，或是嘗試瞭解某些新現象的方法，如同我們日常中使用類比推理來解決未知事物一般。因此，類比模型主要的工作乃是用來啓發和瞭解新的現象，而非用來證實科學理論。這是必須加以注意的地方。

最後一種，乃是當代科學文本最常提起的，即是理論模型。理論模型乃是一個理想化的系統，展現（represent）物質世界的某一物體系統的運作情形¹⁰。依照Giere的說法，「理論模型是想像世界的一部份。它並不存在於任何地方，除在科學家的心智，或是作為語言描述的抽象主體……。」¹¹譬如說，自由落體、簡單鐘擺（simple pendulum）、線性震盪組件（linear oscillator）等等。

爲了更進一步釐清理論模型的意義，依照Bunge的說法，我們必須進一步區分「模型物」（model object）與「理論模型」的區分。模型物是客體的概念框架呈現（representation），通常是理想化的呈現。譬如我們將車子視爲牛頓第二定律的模型物，我們必須忽略車子的形狀、體積、輪子、顏色等等，僅將車子視爲一個點質點。任何與車子具有相同質量和加速度的物體，都視爲相同。在流體力學中，理想流體¹²和Newton液體（Newtonian fluid）¹³亦是理想化的液體，是模型物。理論模型則是關於模型物的假設演繹系統，說明或是描述模型物在真實或是可能的情況下的概念化呈現¹⁴，譬如說Newton第二定律，Bernoulli方程式，Hook定律等等。換句話說，理論模型乃是描述物體系統的理想化系統，而模型物乃是理想化的物體或是理論實體。如此，模型物不能脫離理論模型存在，基本上模型物是由理論模型所加以定義形成。科學實驗所測試的乃是理論模型，而非模型物。因此，在此僅需論及理論模型即可¹⁵，之後筆者會使用「模型」一語來取代「理論模型」（當有提到其他模型時，筆者會使用全名）¹⁶。

⁹ Giere (1997), p.22。

¹⁰ 物體系統（object system）乃是科學模型落實到物質世界中的整體結構之系統。參見陳瑞麟（2003-b），p.150。

¹¹ Giere (1997), p.24。

¹² 理想流體乃是Bernoulli方程式所描述的流體。理想流體忽略流體的摩擦，即是忽略了流體的黏滯性。Bernoulli方程式描述理想流體可以在水平管中等速運動。假設一條硬式直線的圓管，當水流通過時，由於忽略黏滯性的影響，每個分子都以相同速度前進，同一截切面的流體以等速等時通過任一圓管截切面。然而，考慮到黏滯性時，由於流體和管壁的相互摩擦，接近管壁的流體速度慢於圓管中心的流體。因此，圓管中心的流體會以較快的速度通過任一圓管截切面，形成圓錐狀。其他，可參閱Giambattista (2004), p.364-401s。

¹³ Newton液體乃是該流體的剪應力（shear stress）與垂直於剪切介面（the plane of shear）的加速度參數呈線性關係。其比例常數乃是黏滯性（viscosity）。描述方程式爲： $\tau = \mu \frac{dv}{dx}$ （ τ 是施予流

體上的剪應力； μ 乃是黏滯度； $\frac{dv}{dx}$ 乃是垂直於剪力方向的加速度）。對於Newton液體而言，黏滯

度是由流體的壓力和溫度所決定，而不受施予流體的力所影響。反之，不遵守上述關係的液體，一律稱爲非Newton液體（non-Newtonian fluid）。可詳見http://en.wikipedia.org/wiki/Newtonian_fluid

¹⁴ Bunge (1973), p.91-92。

¹⁵ 科學理論無須說明模型物的存在與否，僅必須證實理論模型與物質世界的吻合度（agreement），即使模型物並非真實存在。

¹⁶ 陳瑞麟更細分成七個模型，分別是：實體模型（substantive model）、肖像模型（iconic model）、

科學模型如何落實於物質世界當中，如何證實科學模型與物質世界的吻合呢？Giere認為唯有透過「理論假設」(theoretical hypotheses)來檢證模型與物質世界的吻合度。換句話說，理論假設描述模型的內容和參數，並進一步宣稱模型與物質世界的吻合度，甚至其真假，「當科學家宣稱他們的模型，實際上，在特定方面(the desired respects)相似於世界時，我們可以說科學家們已經形成理論假設，並且宣稱該理論假設為真。」¹⁷理論假設，就Giere的觀點而言，乃是「……一個語言學實體(linguistic entity)，即是，斷言模型與被指定的真實系統(real system)之間某種關係之陳述。」¹⁸「科學理論」，根據Giere的看法，即是由模型家族(family of models)和理論假設所組成¹⁹。

至於理論假設所斷言的模型與真實系統的關係為何呢？Van Fraassen建議isomorphism²⁰作為真實系統與模型之間的關係²¹，然而這個標準對於數學還行得通，但對於科學就過於勉強。因此，Giere建議以「相似性」來加以取代。但考慮相似性的模糊性，Giere認為理論假設必須說明在哪些方面和程度的相似性，「一般理論假設的形式為如此：在某方面可認定的真實系統，在指定的面向和程度上與被指定的模型相似。」²²Giere本身舉的例子為，地球和月球的加速度和位置，在其系統中，非常接近於Newton萬有引力模型的雙質點系統²³。加速度和位置乃是相似性的面向，「非常接近」則是程度²⁴。

如此，根據 Giere 的說法，科學理論的證實可被表達為下圖：

概念模型 (conceptual model)、數學模型 (mathematical model)、邏輯模型 (logical model) 以及電腦模型 (computer model)。不過本文中，並不會加以處理。請詳見陳瑞麟 (2003-a), p.79。

¹⁷ Giere (1997), p.25。

¹⁸ Giere (1988), p.80。

¹⁹ “For our purposes, a *scientific theory* has two components: a *family of models*, which may include both scale models and theoretical models, and a set of *theoretical hypotheses* that pick up things in the real world that may fit one or another of the models in the family.” Giere (1997), p.27。

²⁰ “Isomorphism is a very general concept that appears in several areas of mathematics. The word derives from the Greek iso, meaning "equal," and morphosis, meaning "to form" or "to shape." Formally, an isomorphism is bijective morphism. Informally, an isomorphism is a map that preserves sets and relations among elements. " is isomorphic to " is written . Unfortunately, this symbol is also used to denote geometric congruence. An isomorphism from a set of elements onto itself is called an automorphism”

<http://mathworld.wolfram.com/Isomorphism.html>

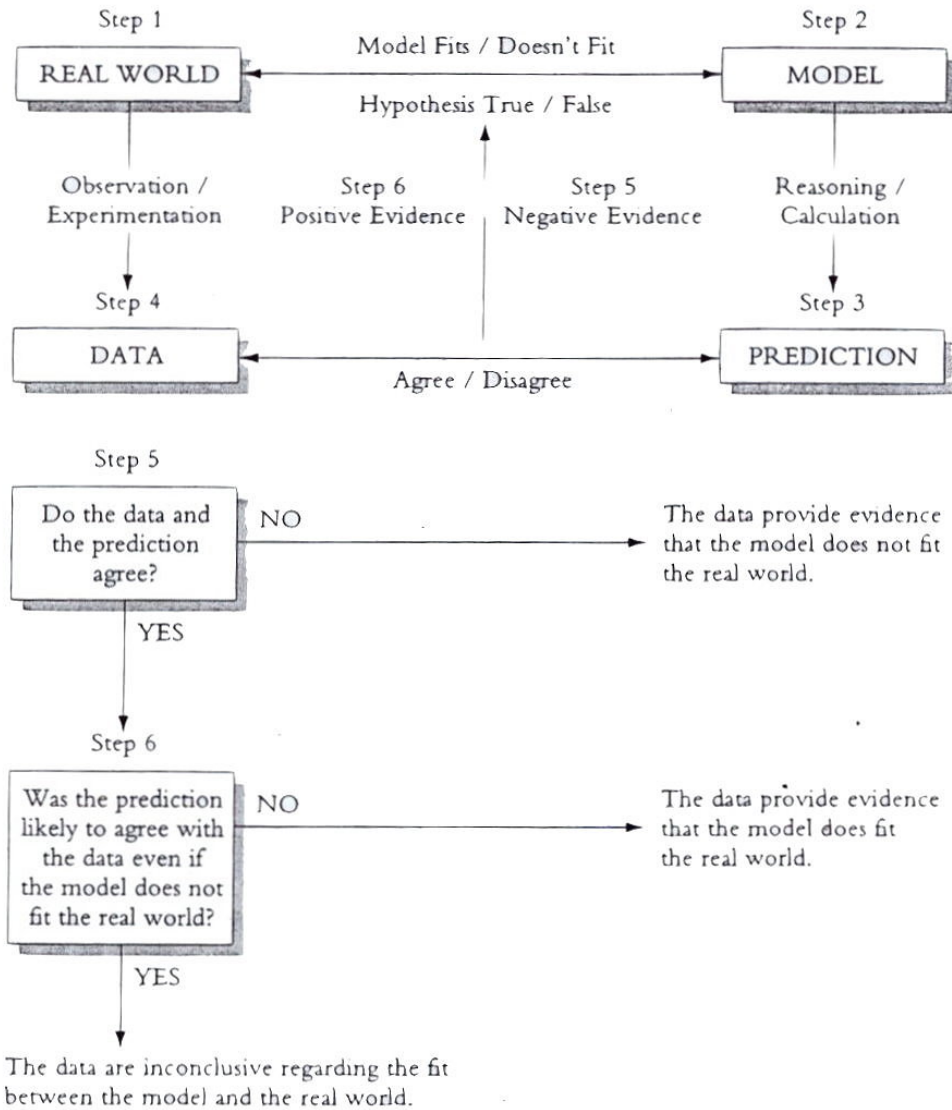
²¹ Giere (1988), p.80。

²² 原文如下：“The general form of a theoretical hypotheses is thus: Such-and-such identifiable real system is similar to a designated model in indicated respect and degree.” Giere (1988), p.81。

²³ Giere (1988), p.81。

²⁴ 陳瑞麟在討論模型與真實系統的關係時，則使用“near-isomorphism”一詞。陳瑞麟以內燃機的真实熱循環與理論模型的關係作對比，說明near-isomorphism乃是意味著，「……即有一個十分接近的共同結構。」陳瑞麟 (2003-b), p.106。

A summary in diagrammatic form of the program for analyzing reports involving theoretical hypotheses.



圖表 1-1 理論測試流程。資料來源：Giere (1997), p.。

我們經由實驗和觀察形成資料，並具由資料進一步驗證模型的預測。當與實驗和觀察證據相違背時，即是說明模型不適用於物質世界，即是未能描述和預測真實的物體系統，因此理論假設為假。反之，當實驗和觀察證據相合時，即是模型可以適用於真實世界當中，描述和預測物體系統的運作，因此理論為真。

當然要判斷理論假設的真偽並不是如此簡單的過程。除了我們必須判斷實驗和觀察取得資料的有效性和適當性 (right kind) 之外，也必須對於小心處理理論模型。根據陳瑞麟所指出，「科學理論總是可以被理解為一個分類的模型體系的理論，其中包括高層模型與可落實的模型²⁵；而且科學家總是透過可落實模型

²⁵ 可落實模型 (realizable model)，根據陳瑞麟的說法，乃是” A model kind having actually realized instances can be called a *realizable model*”陳瑞麟 (2003-a), p.87。可落實例證乃是可落實模型所說明或是預測的現象。陳瑞麟 (2003-b), p.148。

來檢驗理論。但是，透過可落實模型把檢驗的結果傳送到高層的模式或原理，乃是一見十分複雜的機制。」²⁶因此，我們必須考慮到理論層級或是模型層級的問題，「描述高層模型家族的高層原理 (high-level theorems) 經由描述低層模型類型 (lower-level model kinds)²⁷的低層原理『接觸』真實世界。」²⁸換言之，愈高層的模式和原理愈難檢證和否證，唯有透過轉化或是「重新分類」(re-classified) 為低層模型種類方能測試²⁹。

根據上述的思維，筆者必須進一步刻畫可落實原則的要求：原則上，理論做為模型家族和一組理論假設而言，必須至少有一個低層模型(由低層原理所描述)具有一個以上的可落實例證。當然，我們也必須考慮到純粹概念模型的可能性³⁰，這些概念模型並不會在現時立即落實，但不代表無法在未來中具有可落實的例證。這時候，這些概念模型並不會違背可落實原則，事實上，這些概念模型是經由整個理論或是其他理論所保障。因此，這些概念模型雖然缺乏經驗基礎或是可落實例證，但由於理論本身其他可落實模型之故，使得這些概念模型比諸其他純粹概念建構，有更大的機率獲取可落實例證。因此，概念模型一方面由已部分證實的可靠理論保障其效力；另一方面，概念模型乃是對於未知現象的預測，因此仍是符合可落實原則。

譬如說，黑洞模型即是其中的一個案例。在 1783 年，John Michell即根據 Newton理論以及逃逸速度 (escape velocity)³¹的概念計算出，當一個物體具有

²⁶ 陳瑞麟 (2003-a), p.67。

²⁷ 模型類型 (model kind), 乃是模型分層結構中的每一項目。由每個模型類型分支出去的, 可稱為該模型類型的「次模型類型」(sub-kinds of models)。陳瑞麟 (2003-a), p.83。

²⁸ 陳瑞麟 (2003-b), p.91~92。

²⁹ “.....a higher-level model family provides a more abstract model of the realized instances of its sub-kinds, but it in itself does not have any realized instances.”陳瑞麟 (2003-a), p.92。另外, ”A higher-level model will be confirmed only if all of its’ sub-kinds have been confirmed. In other words, because of the hierarchical structure of scientific theories, it is impossible for a higher-level model to be realized sufficiently.”陳瑞麟 (2003-a), p.99。

³⁰ “(6) If no sub-kinds have candidates for realized instances, then either the model family is a purely conceptual model(e.g. as in some thought experiments) or all the sub-kinds need to be reclassified.”陳瑞麟 (2003-a), p.100。

³¹ 逃逸速度，簡言之，乃是當物體一旦達到這個速度，不再作任何加速也能逃離引力中心的吸引。進一步訊息如下：“The velocity v required for a projectile to escape from a massive body to a point at infinity (which it will reach after an infinite amount of time with speed zero). Let the projectile have mass m , and the central body have mass M . Then equating the initial kinetic energy of the projectile with the potential energy relative to mass M at a distance r from the center of M gives

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{r},$$

where G is the gravitational constant. Solving for v gives

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

500 倍太陽半徑和密度時，在其表面上，逃逸速度接近光速，即是說，光也無法逃脫該物體的引力³²。但當時由於沒有出現引力如何影響光之協調的理論，故似乎未獲重視。直到Einstein提出廣義相對論的時候，說明引力如何影響光的運動速度。接著，經由Karl Schwarzschild解決Einstein場方程式(Einstein field equation)後，展示黑洞，根據廣義相對論，可能在理論上存在。Subrahmanyan Chandrasekhar 在 1920 年代，根據狹義相對論推論出，一個大約比太陽冷一倍半的恆星，不能支持自身以抵抗自己的引力（這質量稱為Chandrasekhar極限）³³。Chandrasekhar 指出，Pauli不相容定理不能夠阻止質量大於Chandrasekhar極限的恆星發生坍縮。1939 年，Robert Oppenheimer和H. Snyder預測巨大質量的恆星可能會經歷一場重力坍縮。如此，原本光錐在恆星表面時，即會向內偏折，當恆星坍縮時，光線向內偏折得更多，使得光線更難逃離恆星。從遠處觀察者來看，光譜會快速紅移。

This is the escape velocity,

$$v_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{2}v_{\text{circular orbit}}$$

which can be seen is also a factor of $\sqrt{2}$ larger than the orbital speed of a body in a circular orbit at orbital radius a .

Let $R \equiv v_0/v_{\text{escape}}$. If $R < 1$, the body does not reach ∞ , and if $R = 1$, then the body reaches ∞ with speed 0.”

<http://scienceworld.wolfram.com/physics/EscapeVelocity.html>

³² John Michell的部分原文：“If the semi-diameter of a sphere of the same density as the Sun were to exceed that of the Sun in the proportion of 500 to 1, a body falling from an infinite height towards it would have acquired at its surface greater velocity than that of light, and consequently supposing light to be attracted by the same force in proportion to its vis inertiae (inertial mass), with other bodies, all light emitted from such a body would be made to return towards it by its own proper gravity.” http://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole

³³ “Around 1930, S. Chandrasekhar studied astrophysical models of white dwarf stars and came to the conclusion that no white dwarf can be more massive than about 1.2 solar masses ($M \approx 1.2M_{\odot}$). This became known as the Chandrasekhar limit. Chandrasekhar was awarded the Nobel Prize for these studies, and went on to study stellar structure, resulting in the concept of black holes. A simple treatment of the problem for a relativistic white dwarf gives

$$M = \frac{4.87}{\mu^2} M_{\odot}$$

where μ is the mean number of nucleons per electron. For iron, which has the highest binding fraction, $\mu = 56/26$ and $M \approx 1.26M_{\odot}$.

A more careful treatment gives $M \approx 1.2M_{\odot}$. A more modern value is $1.44M_{\odot}$ Shu (1982, p. 128) gives $1.4M_{\odot}$,” <http://scienceworld.wolfram.com/physics/ChandrasekharLimit.html>

Robert Oppenheimer and H. Snyder的工作大致上說明黑洞可以在自然中形成。1967 年到 1970 年間，Roger Penrose與Stephen Hawking的研究指出，根據廣義相對論，在黑洞中必然存在無限大密度和時空曲率的奇點³⁴。

根據Hawking所言，當時黑洞模型在沒有任何直接觀察證據證實理論之下，其數學模型發展到極為詳盡的地步³⁵。雖然當時有些許天文觀察的資料，但並未能直接證實黑洞的存在。在這意義下，雖然黑洞並沒有直接的觀察證據³⁶，即是可落實例證。但是，除了些許觀察證據間接地與黑洞相關之外，科學家們對於黑洞模型的發展亦是基於對於廣義相對論的支持。因此，即使黑洞模型缺乏立即的可落實例證，但仍是可視為一個科學模型。不僅因為黑洞模型是由廣義相對論推導而來，亦是黑洞模型的確預測在物質世界的現象。

陳瑞麟明白表示，高層模型僅能透過「重新分類」為低層模型來檢證。因此，高層原理和模型並不是科學實驗直接的檢驗對象。也因此，整個理論的證實和否證也愈加困難。根據陳瑞麟的說法，「唯有高層模型的所有次模型類型證實後，高層模型才能算是被證實的。換句話說，因為科學理論的分層結構，高層模型幾乎不可能有效地被落實。」³⁷如此，將引導出一個問題，即是，高層模型如何「重新分類」，進而轉化為低層模型來加以落實？又低層可落實模型如何將自身的經驗證實傳遞到高層模型呢？

後一個問題，陳瑞麟已在〈透過可落實模型來檢驗科學理論〉一文中有所處

³⁴ Hawking (2002), p.91~94。

³⁵ Hawking (2002), p.98。

³⁶ 在 1963 年時，Maarten Schmidt測量了 3C273 射電源方向的一個類恆星物體的紅移。這觀察結果暗示了恆星引力坍縮的可能性（請見Hawking (2002), p.98）。近年來，天文觀察累積許多有利於黑洞存在的證據。這些天文觀察現象雖然並不能直接證實黑洞的存在，但很難用黑洞模型以外的模型來說明之：**“In 2002, the Hubble Telescope identified evidence indicating that intermediate size black holes exist in globular clusters named M15 and G1. The evidence for the black holes stemmed from the orbital velocity of the stars in the globular clusters; however, a group of neutron stars could cause similar observations.**

“In 2004, astronomers found 31 candidate supermassive black holes from searching obscured quasars. The lead scientist said that there are from two to five times as many supermassive black holes as previously predicted.

“In June 2004 astronomers found a super-massive black hole, Q0906+6930, at the centre of a distant galaxy about 12.7 billion light years away. This observation indicated rapid creation of super-massive black holes in the early universe.

“In November 2004 a team of astronomers reported the discovery of the first intermediate-mass black hole in our Galaxy, orbiting three light-years from Sagittarius A*. This medium black hole of 1,300 solar masses is within a cluster of seven stars, possibly the remnant of a massive star cluster that has been stripped down by the Galactic Centre. This observation may add support to the idea that supermassive black holes grow by absorbing nearby smaller black holes and stars.

“In February 2005, a blue giant star SDSS J090745.0+24507 was found to be leaving the Milky Way at twice the escape velocity (0.0022 of the speed of light). The path of the star can be traced back to the galactic core. The high velocity of this star supports the hypothesis of a super-massive black hole in the centre of the galaxy.

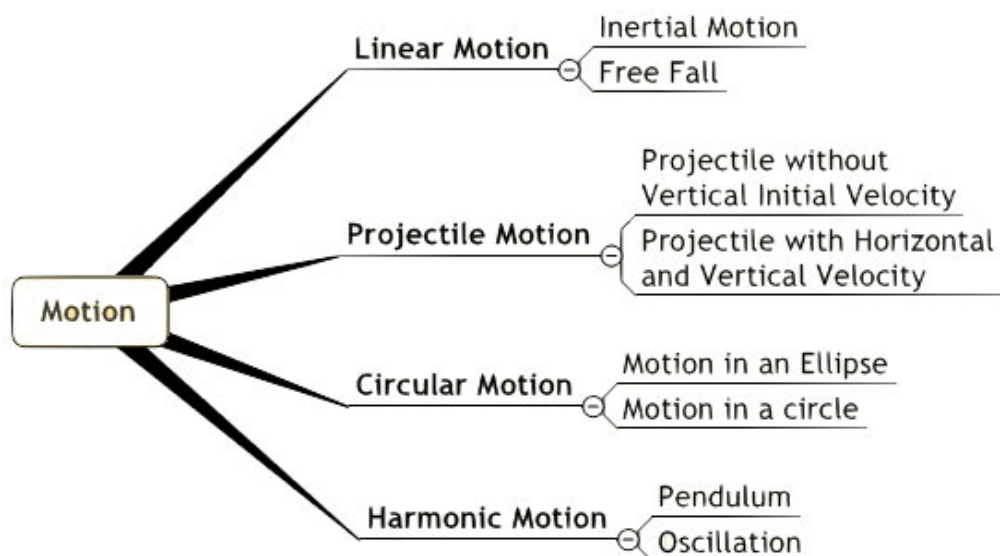
“The formation of micro black holes on Earth in particle accelerators has been tentatively reported,[9] but not yet confirmed. So far there are no observed candidates for primordial black holes.”

http://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole

³⁷ 陳瑞麟 (2003-a), p.99。

理，在此筆者並不想再次處理，同時也無關乎本論文的主旨。前一個問題，關於高層模型的「重新分類」，乃是與可落實原則息息相關。因為，這一「重新分類」的過程，涉及到理論推導的嚴格性和有效性。這一點，筆者認為，正是傳統中醫的致命缺點之一。

爲了充分瞭解其重新分類的過程，讓我們看一下現代物理教科書如將Newton第二定律轉變爲其他次模型種類。根據Newton第二定律，物體加速度和其所受到的淨力成正比，且方向與淨力方向相同，淨力愈大，就有愈大的加速度。公式爲： $\sum F_{net} = m\bar{a}$ 。原則上，Newton第二定律並沒有規定物體運動的方向和路線，也沒有描述物體的形狀、內容和大小。事實上，僅只是表明淨力與物體加速的正比關係。因此，在原則上， $\sum F_{net} = m\bar{a}$ 可適用於所有物體運動之上。不過，也因此我們無法直接測試 $\sum F_{net} = m\bar{a}$ ，否則我們很容易得到反例。譬如說，爲了測試 $\sum F_{net} = m\bar{a}$ ，我們分別使用正方形的物體和圓球在斜坡上做測量，顯而易見，我們並無法依此證實 $\sum F_{net} = m\bar{a}$ 。因此，我們必須進一步將 $\sum F_{net} = m\bar{a}$ 「重新分類」爲次範疇，並給予一些理想化的條件，方能測試模型。根據陳瑞麟的分類³⁸，Newton第二定律至少具有四個次範疇，分別是直線運動、拋體運動、圓周運動以及擺盪運動。現在讓我們先從直線運動開始。



圖表 1-2 Newton 第二定律之模型樹枝圖。資料來源：陳瑞麟（2003-a），p. 80。

事實上，直線運動並不是個夠精確術語，在一維、二維和三維空間中，都存在著直線運動，然而計算方式卻大大不同。現在，我們僅先考慮一維直線運動，

³⁸ 陳瑞麟（2003-a），p.83。

事實上，也是最簡單的形式。一維直線運動大致上，可分為水平和垂直移動。水平運動，關係到自由落體，而水平運動則關心到一個物體的水平位移、速度、加速度以及各種不同的力。我們先從自由落體運動來看。原則上，自由落體是個理想化的運動，因為總是具有空氣阻力存在，但讓我們暫時先忽略空氣阻力。假設在忽略空氣阻力和其他因素的干擾之下，自由落體的路線會是個理想直線。根據定義，物體在地球表面上所承受的重力為： $\vec{W} = m\vec{g}$ 。 \vec{g} 為地球表面萬有引力場強度，即是說地球表面上物體，受到地球中心點質點³⁹吸引的強度。如此，當物體呈現自由落體時，唯有受到向下吸引的重力，同時物體質量不變，故我們可以將 $F_{net} = m\vec{a}$ 與 $\vec{W} = m\vec{g}$ 等同起來，於是 $\vec{a} = \vec{g} \approx 9.8m/s^2$ 。在水平運動中，讓我們先忽略速度和位移等問題，直接從力的關係來看。水平運動，暫時可以忽略正向力和重力（兩者乃相互抵銷），僅需考慮施予物體上的力，以及摩擦力。由於， $\sum F_{net} = m\vec{a}$ 計算的乃是淨力，也就是各種力的總合。因此，假設一物體在一無摩擦力的水平跑道上受到一水平力 \vec{F}_a 的力從左推到右，則： $F_a = m\vec{a}_1$ 。若是該物體在一具有動摩擦力 f_k 的跑道上，受到一水平力 \vec{F}_a 的力從左推到右，則，施予物體的力必須扣除動摩擦力，才能得到淨力，因此為： $(F_a - f_k) = m\vec{a}_2$ 。如上，乃是Newton第二定律「重新分類」一維直線運動的過程。

在上述過程中，主要的關鍵在於， $\sum F_{net} = m\vec{a}$ 所陳述的關係，如何落實在一維直線運動之中。在這過程中， $\sum F_{net} = m\vec{a}$ 總共被重新分類了三次，首先被重新分類為直線運動，再被重新分類為一維直線運動，最後再重新分類為一維水平或是直線運動。在這過程中，物體運動的方向不斷被加以分析和定義。同時，模型設置的條件，也隨著不斷增加，用來刻畫低層模型的情況。譬如說，在 $\sum F_{net} = m\vec{a}$ 中，其高層模型的理想化條件，僅是將物體視為點質點，忽略物體形狀、運動方向和路線的影響。到低層模型時，為了增加低層模型與物質世界的關係，許多條件（理想化或是現實條件）不斷被加入。譬如說，規定物體的運動方向和路徑、規定施力的方向（水平力）、以及物體所受到其他力（正向力、摩擦力、重力）的影響等等。使得低層模型逐漸接近物體系統的結構，增加其間的吻合度。

因此，高層模型和原理並不是直接運用在物質世界之中，而是透過層層「重

³⁹ 無疑的，所謂中心點質點乃是個理想化條件，用來方便計算而已。

新分類」以及條件的限制。在這一點上，理論作為分層系統本身，必須在重新分類的過程中，重新定義其模型條件、模型參數以及其所欲描述的面向。如同上述，藉由窄化或是操作性地定義所欲描述的現象和運動方式，來進一步落實到低層模型之中。譬如說，在二維空間的直線運動中，就必須考慮到力的分量。假設行李箱（假設沒有輪子）被置放於平地上，我們用繩子綁著箱子在地上拖拉。繩子與水平夾角為 45 度。這種情況下，除了考慮摩擦力、重力和正向力之外，我們必須同時考慮力的分量⁴⁰，即是說， \vec{F}_a 必須必分解為兩個向量⁴¹， \vec{F}_x （X分量的力）

與 \vec{F}_y （Y分量的力），分別用 $\sum F_{net} = m\vec{a}$ 加以計算，最後再合計之。在這情況下，就必須解釋為何在二維空間中，必須利用分量的觀念來分析力的方向。因此，在不同的模型類型或是次模型類型中，每個模型條件並非一成不變，而會隨著模型描述對象和面向的不同，改變模型的條件。

如此，我們可以進一步說明高層模型「重新分類」的過程，以充實可落實性原則，即是：當高層模型重新分類為次級模型類型時，必須進一步操作性定義模型的條件、參數以及所欲描述的面向，必要時必須引用其他模型或理論來解釋模型條件和參數的設定。如同在二維空間直線運動，必須使用分量和三角函數的計算，方能將一維直線運動的模型投射⁴²入二維空間之中。

B. 程序確定性

為了加強可落實原則的效力，筆者進一步提出一個條件，即是獲得經驗資料的過程必須有個嚴格的實驗方法來區分真正的因果關係和實驗假象（artifact）。該方法會隨著不同學科的要求以及方法的精緻化而加以改變。在這個意義上，先不管理論負載問題，至少在原則上，必須能夠排除潛在變數、各種偏差、實驗假象、以及主觀因素等等，產生穩定的現象或是資料，筆者稱之為「程序確定性」。必須注意的是，如此所產生的經驗資料雖然會有理論負載問題，但這不影響操作相同程序產生相似的實驗結果。問題僅在於，我們是否的確排除潛在變數或是獲得我們所真正要測量的資訊。因此，這一條件的加入，不會直接決定一個理論的真偽，也不是一個決定性（critical）的判準，而仍然是有程度的區別。不過這一條件可以排除主觀經驗以及偶然、非穩定的經驗資料，進一步排除非科學理論或是日常理論。

程序確定性至少包括兩方面的意義，其一，假設在執行實驗程序S的情況下，現象R必須能夠統計顯著性地被產生。譬如，在醫學臨床實驗中，必須避免安慰劑效應（placebo effect）的影響。在 1950 年代，心絞痛十分普遍。當時經常執

⁴⁰ 基本上，只要二維空間的力都可以分解為分量，不管是重力、正向力、或是摩擦力均可。

⁴¹ 在一維直線運動中，僅只考慮水平或是垂直的向量，因此不用作分解。

⁴² 「投射」在這裡，筆者意思乃是假設有甲、乙兩個物體系統，A模型成功落實到甲物體系統中。這時，甲、乙兩個物體系統，基於結構相似性，將A模型引用到乙物質系統中，建構出B模型。A、B模型不一定為isomorphic，但具有部分結構相似性。

行乳房動脈結紮(mammary artery ligation)來減緩疼痛。然而在 1958 和 1959 時，開始有人懷疑這個手術的有效性，並執行隨機化比較雙盲實驗。結果發現，乳房動脈結紮的病人和「安慰劑手術」病人雖然都會減輕疼痛，但實際上兩者的效果沒有太大的差異⁴³。在醫學上，一項手術，一粒新藥若無法有高於安慰劑的效果，手術和新藥幾乎是沒有療效的。同樣的，若是無法統計顯著性地產生現象R，我們無法承認該實驗的有效性，直接影響實驗資料的證實性。

其二，程序確定性意味著執行相同或是類似實驗程序S，可以有效地重複獲得現象R，即是說，現象R可以有方法地加以重複產生（但並非 100%）。若是無法滿足這一條件，即是說，現象R無法高機率地經由實驗程序S產生，則該實驗程序和實驗資料即為無效。譬如，我們舉最近日本東京大學工學部教授多比良和誠的案例來說，其論文遭到質疑即是因為其實驗結果無法被複製出來⁴⁴。實驗的可重複性始終是檢驗科學知識的幾種方法之一。

程序確定性僅確保實驗程序 S 與現象 R 之間的關係，即是說，即使缺乏理論的引導下，執行實驗程序 S 能夠重覆產生現象 R。即使當實驗程序 S 是理論負載時，亦不會影響程序確定性本身。如此，程序確定性並不直接關係到理論的真假，而是關於實驗程序和實驗現象 R 之間的因果關係，而非現象 R 與理論之間的關係。雖然，在上述意義下，程序確定性是個薄弱的概念，但正是程序確定性，保障了現象產生的穩定性。唯有獲得一穩定性現象之後，科學探究方能進行，否則我們面對乃是純然隨機發生之現象的話，我們無法計算或是理解現象發生背後的法則。

因此，程序確定性至少必須在兩個方面起作用：首先，實驗程序本身或是條件 S 本身亦必須允諾可以重複操作。為此之故，實驗程序和條件 S 本身必須是個客觀程序和標準，即是說，必須盡可能地賦予操作性式定義和敘述，並且將質性描述盡可能地量化，如此方能準確地操控實驗程序，並記錄實驗現象。當實驗程序中強烈地依賴主觀元素時，譬如說依賴肉眼觀察、心理學的自我評價、中醫

⁴³ Moore (1998), p.93。

⁴⁴ 「日本東京大學工學部教授多比良和誠(Kazunari Taira)，著名的核糖核酸(RNA)研究專家，專攻RNA干擾(RNA interference，簡稱RNAi)技術，去年曾受邀來台演講。不過自去年四月起，日本RNA學會即要求東京大學檢視多比良和誠團隊從 1998 到 2004 年所發表的 12 篇論文，因為國際研究人員反映上述論文的實驗結果無法複製。

然而 Taira 交不出調查委員會要求繳交的論文原始實驗數據，研究助理與論文主要合作人 Hiroaki Kawasaki 承認 Taira 未保存實驗數據，原儲存於電腦的數據亦遭刪除。委員會進而要求研究團隊重現 12 篇論文中的四篇論文實驗，1 月 13 日 Kawasaki 宣佈他能重現 2003 年發表於 Nucleic Acids Research 的論文，不過另一家獨立公司聲稱無法重現上述實驗。由於 Kawasaki 的複製實驗並未使用原始論文所述的相同材料，調查委員會拒絕接受 Kawasaki 的新實驗結果。

1 月 27 日東京大學調查委員會主席宣佈，至少有一篇論文的實驗結果無法重現，而且可疑之處甚多。Kawasaki 聲稱並未做錯認何事情，他只是不知道保存實驗筆記本的重要性。Taira 的研究團隊目前正在重做第二篇論文，調查委員會要求重做的第三、四篇則尚未處理。Taira 認為沒有完整證據顯示他做錯事，最大的問題來自實驗筆記本掉了。

依據日本每日新聞(MAINICHI Daily News) 1 月 31 日的報導，東京大學教職員紀律委員會將考慮懲戒 Taira，Taira 則聲稱無法同意學校的決定，認為其論文實驗複製工作進展順利，然目前尚無法獲得結論。」http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=1968

脈診的指下功夫等等時，其實驗程序的重複性和可接近性愈低，反之愈高。這不排除我們的確需要操作儀器的技巧以及背景理論，另外亦不排除主體技能可由一定程序產生一定結果（例如，推拿師可準確地用觸診知道骨骼的移位，或是針灸師可以針刺某些穴道，產生一定的麻癢感覺）。但是這些理論知識與儀器操作至少都能有一明確的操作程序存在。

其次，在上述已然提及，爲了排除不要的因素影響，一個「嚴格」的實驗程序必須能夠排除潛在變數、實驗假象和各種實驗謬誤。然而，在這一點上必須依賴實驗設計本身的精確性和創造性。因此，沒有一個標準或是方法告知我們是否真的測量到我們所想測量資訊和理論實體。正是由於如此，實驗程序性在較弱的意義上，能夠保持現象的重覆產生；而在較強的意義上，能夠排除潛在變數，獲得理論所需要的經驗資料。

如此，當可落實例證未能滿足程序確定性時，既是說操縱實驗程序 S 時，無法獲得穩定的實驗現象時，可落實模型的證實性即會大大地降低。筆者認爲，Freud 心理分析就是一個例子。Freud 心理分析雖然看似有一定的治療過程，但是實際上，整個治療過程，以及對於其精神回復的狀況，並沒有一個客觀的治療方式和評量，也因此會造成日後許多心理分析流派的產生。譬如說 Adler 以自卑心理來治療，C. Jung 以集體潛意識來治療方式。但是由於其治療和評價方式的模糊性，我們無法藉由治癒的成功來評量理論。因爲彼此都有其詮釋空間，以及事後諸葛的醒悟。另外，針對相同病症的病人，彼此可能找到不同的病因或是創傷記憶，但是如何確認心理分析師真的找到「病因」？看治癒的效果？或是看其治療的方式？或是混用不同心理分析師來加以判斷？正因爲付諸實驗或是治療時，存在著太多不確定因素以及主觀意見，同時每個實驗或是治療本身都是不可重複，故我們無法確知實驗或是治療本身的確實療效，更別提對於理論的證實。在此，我們無法累積客觀的經驗資料，所面臨的僅僅是一大堆不同的病例，也無法將治癒病人當作其理論的後果。如此，雖然理論本身蘊含經驗化的承諾，但是卻無法獲得經驗有效性。

1.3 主體際性原則

科學活動，在筆者先前已然說明，乃是制度化的社會活動。同時，根據可落實原則，科學理論並不是科學家們的主觀觀念、心象，而必須落實到物質世界之中。然而，爲了充分檢證和說明落實的過程，科學家必須將其大腦的理論表徵（theoretical representations）⁴⁵表達於與他人互動的公共領域之中，接受有能力他者的檢視和批判⁴⁶。因此，在這意義下，科學活動並非是個人的事業或是概念建構，而是一個集體、社會的制度化活動，任何具有能力的他者都可以自由地近

⁴⁵ 「理論表徵」(theoretical representations) 乃是「……科學家心智中對應著科學理論的一組相關的認知表徵……。」陳瑞麟 (2003-b), p.128。

⁴⁶ 陳瑞麟曾描述心智模型如何投射到公共領域的過程，「物質世界提供零散經驗給心智，心智將零散經驗組合建構成心智模型，投射到公共領域成為科學模型，科學模型再被落實到物質世界中，成為具整體結構的物體系統。」見陳瑞麟 (2003-b), p.150。

用科學知識，並進一步參與科學活動之中。作為一種社會活動而言，科學家論述和實驗都必須在一定程度上符合社會的慣例或是規範，以讓其他有能力他者加以理解並進一步操作。因此，科學家將大腦中的心智模型（mental models）⁴⁷表達於公開的公共領域之中，亦必須使用社群所能理解並接受的方式，即是說，科學家透過社會共有的語言、文字、圖案或是圖表，將大腦中的心智模型表達於公共領域之中，以形成科學理論⁴⁸。這一過程，筆者稱之為「可表達性」

（expressible-ness）。如此，當一個觀念或是心智模型，若是未能被表達公共領域之中，即使為真，也沒有任何意義，其他人也無法檢證之。

不過，觀念和心智模型僅僅是被表達出來是不夠，科學理論和模型更必須獲得有能力他者的認同與檢視，並且能夠由自我或是他者自由地實驗和檢證之。該原則，筆者稱之為「主體際性原則」（the principle of inter-subjectivity）⁴⁹。這個

⁴⁷ “The mental model theory has been extensively tested and the experiments have corroborated several tell-tale signs of the use of mental models:

“A mental model represents one possibility, capturing what is common to all the different ways in which the possibility may occur. Mental models represent explicitly what is true, but not what is false. These characteristics lead naive reasoners into systematic errors.

“The greater the number of models that a task elicits, and the greater the complexity of individual models, the poorer performance is. Reasoners focus on a subset of the possible models of multiple-model problems - often just a single model - and are led to erroneous conclusions and irrational decisions.

“Procedures for reasoning with mental models rely on counterexamples to refute invalid inferences; they establish validity by ensuring that a conclusion holds over all the models of the premises. These procedures can be implemented in a formal system; however current psychological theories based on formal rules (and most artificial intelligence programs) do not use them.

“Mental models provide a unified account of deductive, probabilistic, and modal reasoning. People deduce that a conclusion is necessary – it must be true -- if it holds in all of their models of the premises; they infer that it is probable -- it is likely to be true -- if it holds in most of their models of the premises, and they infer that it is possible -- it may be true -- if it holds in at least one of their models of the premises. Mental model researchers have investigated the role of models in many domains of reasoning including the following:

1. Reasoning with sentential connectives such as "or" and "and".
2. Reasoning based on conditional assertions.
3. Reasoning with quantifiers such as "all", "some", and "none", including syllogistic reasoning and reasoning with multiple quantifiers.
4. Counterfactual reasoning and reasoning about hypothetical or imaginary cases.
5. Informal everyday inferences and arguments.
6. Relational reasoning, including spatial reasoning and temporal reasoning.
7. Modal reasoning about what is possible and what is necessary.
8. Probabilistic reasoning.
9. Wason's selection task.
10. Wason's THOG task.
11. Reasoning by depressed or psychotic individuals.

“Current challenges to model theorists are to explain causal reasoning, deontic reasoning about what is permissible and impermissible, defeasible reasoning in which the facts demand a change in one's beliefs, and the strategic thinking that occurs in making decisions and in reasoning about another individual's”

http://www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/theory.html

⁴⁸ 心智模型乃是對應著科學家的大腦，而科學理論則是心智模型投射到公共領域所形成的。兩者之間應當區分兩者。

⁴⁹ 這部分，有許多人均提出來，如Popper、Hempel等等。在David Gooding在其著作”*Experiment and the Making of Meaning: Human Agency in Scientific Observation and Experiment*”第三章亦有提

原則，不僅適用於科學理論和模型，亦是用於科學實驗本身。在先前提到程序確定性時，筆者即強調程序確定性的可重複性面向。這意味著，不同有能力的他者均可執行相同或是類似的實驗程序S，有效地產生現象R。因此，實驗程序S亦必須被表達公共領域之中，並能由有能力他者加以操控。

A. 公開性

前面已然述及，科學理論乃是科學家大腦中的心智模型被表達於公共領域之中。因此，原則上，科學理論、模型和實驗本身，就具備著公開性。公開性，並不是僅僅是被表達於公共領域之中，而是具有更深一層涵意。根據主體際性原則，科學理論、模型和實驗必須能夠經由有能力他者自由地檢證、溝通、和批判。因此，公開性至少有兩個意涵，其一為溝通公開性，即是開放為有能力他者認知和溝通。為了能夠有效地溝通，必須具備某些社會或是科學社群共有的標準和論辯程序作為溝通的公共空間。因此，溝通的公開性至少要進一步包括，共享的論辯標準、有能力他者的相互檢證、開放批評以及回應批評等等。科學理論和知識作為科學社群的論辯產物，一方面根據在物質世界中的落實獲得經驗證實；一方面，則是根據科學社群的論辯協商而加以接受。在這一點上，科學知識和理論的形成無須科學社群全員的同意和接受，只需要部分科學社群成員接受即可。必須注意的是，雖然科學社群是個裁決和檢證科學理論的公共領域，但是最終裁決科學理論的，乃是在於物質世界中的落實。

其二，乃是資訊公開性，即是，有能力的他者均可自由地使用和近用 (access) 科學理論或是資料。資訊公開性至少包括以下兩個意義，其一，任何有能力他者可以自由地獲取科學知識，而沒有外在的社會和政治壓力。其二，實驗資料和科學理論本身，乃是客觀地記錄下來，任何有能力的他者均可重製實驗或是理解實驗資料和科學理論的敘述。

前者的例子是 1930 年代新Lamarck主義，在遺傳學誕生後，瀕臨缺乏實驗檢證的危機。但是蘇聯政府卻在此時大力推動新Lamarck主義，並邀請了Trofim Denisovich Lysenko來主持蘇聯的農業技術，隨後Lysenko更進一步主導蘇聯的生物學界。任何與Lysenko反對的人，譬如說，著名的農業生物學家N. I. Vavilov，就被Lysenko削去一切植職務。由於Lysenko支持新Lamarck主義的立場，並進一步逼迫蘇聯的遺傳學研究全部停擺，實驗室關閉，而頂尖的遺傳學家也被送到勞改營⁵⁰。這導致蘇聯的生物學研究元氣大傷，難以在短時間恢復。

後者的例子，筆者稍後再敘。

B. 客觀性

及相同的問題。”**Yet they had to make something of it in order to share it. I called this process of feeling one’s way towards a communicable representation of one’s experience construing…… Shared experience is made by producing phenomena in the context of behaviour that also communicates hoe they are to be perceived.**” Gooding (1990), p.71。

⁵⁰ <http://www.oursci.org/lib/Fads&Fallacies/12.htm>

由主體際性原則而來，我們可以加以定義科學論述或是實驗的客觀性 (objectivity)。首先從客觀性開始。Helen E. Longino區分兩種客觀性，第一種是知識論上的客觀性，「在第一種意義下，客觀性是和科學理論的真實性 (truth) 和指涉特徵 (referential character) 是分不開的，即是，關係到科學實在論的議題。在這意義下，說科學是客觀的，乃是宣稱科學所提供的觀點乃是自然世界事實的正確描述；科學乃是世界中物體和其間關係的正確觀點。」⁵¹第二種乃是方法論的客觀性，「第二種意義的客觀性與探問的模式有關。在這意義下，說科學是客觀的，乃是宣稱科學觀點乃是依賴於非任意、非主觀的判準來發展、接受和拒斥形成科學觀點的假設和理論。對於這些判準的依賴和使用，以及這些判準自身，乃是我們所稱的科學方法。」⁵²明顯地，主體際性原則並不會直接保障知識論的客觀性，而是關於方法論上的客觀性。第一種客觀性並不是筆者所想在本文中所要討論的目標。因此，當筆者使用「客觀性」一詞時，乃是意味著方法論的客觀性。

科學方法的客觀性不僅來自於方法本身的嚴格和有效性，同時亦由主體際性原則所保障。根據上述Longino的言論，至少科學方法必須具有非任意和非主觀的判準，即是說，主觀上的情志和意願，並不會直接影響實驗的設計和結果產生。並且，根據程序確定性，科學方法和實驗程序S都可以由有能力的他者加以操控，來重複產生現象R。因此，原則上，實驗程序必須透過社會共有的語言、文字等方式，或是依據現今的科學方法加以描述，並定義所欲操縱的模型參數、條件等等，即是說，我們必須「客觀地」定義實驗程序和科學模型。即使當某些實驗程序必須依靠主觀判斷時，也必須盡可能避免因一人喜好，而決定整個實驗結果⁵³。

譬如說，在一份對於青蛙氣味功能性調查的研究中，爲了分辨不同的氣味，必須針對壓力蛙（受到壓力而釋放氣味）所釋放氣味做一質性描述。爲了實驗的有效性，在收集青蛙的過程中，先經由職業或業餘的爬蟲學家收集具有氣味的青蛙，並且給予狀態描述（短捕獲時期、長捕獲時期、實驗動物）。實驗需要最少8名的自願受試者（在先前都沒有聞過青蛙的氣味），先經過身體調查之後，再進行實驗。實驗進行時，青蛙大約放置在受試者鼻子下方15cm，並要求受試者正常地呼吸。若在5秒內，聞不到任何氣味，受試者要求深吸一口氣，重複程序三次，或是直到聞到氣味。當聞到氣味時，受試者必須在5個字內描述氣味，並評價是否喜歡該氣味，以及是否造成主體的其他感覺（如頭痛、鼻子刺痛等等）。假若允許的話，會要求受試者在一個月後重覆實驗⁵⁴。

在上述過程中，爲了增加實驗的有效性，實驗設計者千方百計地削弱個人主觀判斷對於整個實驗結果影響。首先，經由職業和業餘的爬蟲學家收集樣本，即是第一個過濾步驟。其次，在挑選受試者時，也必須檢查其健康狀態，並盡可能

⁵¹ Longino (1990), p.62。

⁵² Longino (1990), p.62~63。

⁵³ **“Objectivity in the sense under discussion requires a way to block the influence of subjective preference at the level of background beliefs”** Longino (1990), p.73。

⁵⁴ Benjamin P.C. Smith et al. (2004), p.3~4。

地找到足夠的受試者人數。三者，透過要求受試者在一個月重覆實驗，確認其受試者的報告。

不僅實驗程序必須能夠客觀地定義，爲了產生「適當的」(right kind) 經驗資料，亦必須設法將實驗結果(即現象 R)以客觀的方式加以定義或描述。因此，上述例子雖然容許現象可由有能力他者加以保證其存在，但卻不能做到一量化或是客觀的描述記錄，最多能做到簡單的質性描述，因此有時間上的限制。然而，爲了經驗資料的有效性，實驗現象本身必須能夠以量化或是客觀的方式加以描述，否則該實驗即使能夠在實驗程序 S 下重覆產生，但是卻無法具有較大的公開性，即資訊公開性之不足。因而，該實驗在這一點上，會被視爲「有限制的」(limited) 或是不穩定的，直接影響實驗本身的有效性。

類似的例子，我們可在動物心靈實驗上發現。譬如說，我們如何知道猩猩真的由鏡子中認出自己，而猴子無法從鏡中認識自己呢？我們無法透過質詢猩猩或是猴子得知，僅能依賴對於其行爲的觀察來判斷。但是，爲了排除主觀的臆測(猩猩是否真的在利用鏡子觀看自己?)，於是標記測試(mark test)就被設計出來，用來比較有標記的猩猩看鏡子時觸碰標記的次數，以及沒有標記的猩猩觸碰標記的次數。如此一來，針對猩猩是否會看鏡子的一事，我們可利用計量的方式加以描述出來(猩猩碰觸標記的次數)，並且客觀地記錄實驗的結果⁵⁵。

1.4 系統化原則

爲了充分解釋現象，我們不僅在於找出一條經驗有效的法則或是因果法則，我們更希望知道爲何事物是如此，並且爲何具有該因果關係。換句話說，我們不是要找出一條條凌亂紛雜的經驗常規，而是嘗試建構出一個理論幫助我們記憶、理解並且加以推展預測現象。由認知科學的觀點來看，我們無法直接地發現潛在的因果法則，反倒是我們經常面對許多相關性。藉由形成假設與建構理論來消除不必要的相關性，而發現其中的因果法則。這是由於我們首先面對的並非是個井然有序的世界，而毋寧是個繁亂紛雜的現象整體⁵⁶。

因此，我們首先需要一個理論幫助我們先行理解與解釋這個世界，並且幫助我們加以檢證或是否證之。在這意義上，筆者必須反駁任何僅滿足於經驗常規的立場。筆者必須說明，僅僅依賴經驗常規，並不能獲致今日的科學成就。雖然這些經驗常規具有相當有效的結果，但是並無法深入現象背後找尋真正的因果關係。正由於滿足實用上和經驗上的目的，使得真正的因果法則隱藏在現象和經驗常規的背後。這部分由於缺乏一個嚴格周延的實驗方法和機率統計之外，同時也受制於實用目的。

Nisbett研究西方(希臘)與東方(中國)的認知思維差異時，指出由於認知模式的差異，導致兩者發展出不同的文化傳統和民族思維。其中尤以科學成就最

⁵⁵ Blackmore (2004), p.170。

⁵⁶ Cartwright的一本書即取名爲”The Dappled World”。

為顯明⁵⁷。其中對於東方思維的主要批判在於，由於中國人偏重於實用目的與關係性連結，使得中國人並未能發展出「自然法則」(law of nature) 的概念，雖然中國人具有良好的技術發明、直覺和嘗試錯誤的方法。這使得中國人並未將自然區分於人類之外，使得自然成為人類心智和實踐的一部份。這些認知差異使得中國人在解釋自然現象時，會使用錯誤的因果推理模式，或是容易流於以詮釋取代實證。換句話說，東方思維的推理模式比較接近Hilton所說的日常推理，而西方推理模式，則由於受到自然法則與抽象分析的影響，則比較接近Hilton所指的科學推理模式。前者因為流於詮釋，容易隱藏真正因果連結，而後者則比較容易迴避詮釋問題⁵⁸。在此，筆者無意直接利用認知模式的差異說明東西方文化的差異，但上述有助說明過於偏向於實用目的或滿足經驗上的效果，會嚴重影響科學事業的發展⁵⁹。

循此而來，筆者認為，為了迴避上述的問題，科學化的第三個原則即是系統化原則。系統化原則說明，我們並非測試單一假設，而是一整套的理論假設；同時我們也並非檢視單一假設的經驗有效性，而是測試一個理論分層結構的經驗有效性。我們為了正確地與有系統地發現現象背後的因果關係，必須具備著一個在理想上具有邏輯一致性和完備的理論。並且，理論中每個命題之間必須具有邏輯推論關係，藉以避免詮釋問題。必須先說明的是，在理論形成之初，理論假設間的邏輯關係並不是如此清晰，而理論也必須隨著實驗結果加以改變。但是，至少原則上必須排除理論邏輯矛盾、個別的經驗常規與詮釋可能性。

依此原則，許多經驗常規不能視為科學法則。除了有可能掩蓋真正的因果法則以及歸納法問題之外，另一個原因即是：我們並未能解釋這些經驗常規的成功和形成，假若這些個別的經驗常規，脫離於任何理論之外，獨自成立。因此，任何類似「所有 X 是 Y」的命題，如果脫離理論的理解，則我們無法解釋該命題，

⁵⁷ Carruthers, Peter、Stich, Stephen & Siegal, Michael (2002), p.354~360。

⁵⁸ Denis Hilton發現科學推理和日常推理具有以下不同的特色：

1. 科學推理嘗試建立一個事物類型推論關係 (inferring relations between types of event) 的因果通則 (causal generalization)；日常或是實用推理則僅考慮特殊事件的起因。
2. 科學推理使用的是全理性 (full rationality) 的理想化模型，來推理事件類型間的因果連結；日常推理則是使用有限理性 (bounded rationality) 而已。

參見 Carruthers et al. (2002), p.211~231。

⁵⁹ 洪裕宏基於相同理由，批判台灣科學教育的問題，”...why few Chinese were able to become a top scientist? I speculate that it is due to the way we teach science in school. And our way of teaching science is greatly influenced by the practicality of Chinese culture.....Strictly there is no science learning but only piecemeal science data acquisition in Taiwan, both at the university level and high school level. This might explain the fact that at the top 5%, our high school students perform quite well in science, while below the lowest performance level, we have more than 15% of student population falling under this category, compared with 7~8% in United States, and 5% in Japan. There is something wrong with our science education. My diagnosis is that we need to correct the mentality of practicality in the mind of our people. There is no shortcut. What we have to do is to improve curriculum, both at the university level and high school level. Humanity has to be emphasized. Power structure in university has to be adjusted. We have to go through the similar process of the Enlightenment in a few decades. We have to change our mind set, and it is a tremendous job to do. I am not sure how optimistic it could be. But if we don't change our practical mentality, we will stay in the similar situation for good.”
http://mli.ym.edu.tw/houng/ch/list04_20051111.htm

因為我們無法理解該命題的蘊含。

舉例來說，假設「所有烏鴉都是黑的」是個獨自成立的經驗常規。在原則上，我們必須先知道何種鳥類可以稱為烏鴉，以及黑色的指認與意義。也就是說，我們必須具備一些基本的知識和理論幫助我們認出「烏鴉」和「黑色」。然而，若是脫離了理論，我們無法正確地指認出「烏鴉」或是「黑色」，甚至我們可能依據某些相似原則（principle of similarity），將某些黑色的鳥類一律視為「烏鴉」，而將某些「非黑色的烏鴉」，視為「非烏鴉」。如此一來，我們無法談上任何經驗上的例證或是否證，我們所依賴的僅是經驗的相似性，而這是相當不可靠，並且容易出錯的。對於這個經驗原則的預測之成功，我們僅能視之為偶然或是某些區域性之故。

假設 A 地有一半的鳥類是黑色烏鴉，另一半則是其他鳥類，其中雖然有黑色的鳥類，但是其體型較小，羽毛形狀也與黑烏鴉完全不同。然而在 B 地，則有黑色烏鴉、白色烏鴉，還有一種體型較小，叫聲也與黑烏鴉不同的小型烏鴉存在，另外還有一種黑色鳥類體型類似烏鴉，但是不同種類的鳥類（黑鳥）。A 地的人利用「所有烏鴉是黑的」的經驗法則來區別烏鴉與非烏鴉，其測準確度十分地高；然而當 A 地的人到 B 地時，顯然地其預測將大幅地失敗，甚至未能認出白色烏鴉，或是錯認黑鳥為烏鴉。由此，筆者認為經驗法則不足以作為科學法則，許多法則必須被整合入一個理論系統之內，才有真正地認識和理解，並且獲得進一步的推展。

由上述例子，我們可以進一步推論，即使有些經驗常規的確十分逼近現象背後的因果法則，但是這類的經驗常規的應用和指涉層級⁶⁰會十分的狹小，甚至是個特例。換言之，當命題 P 獨立於理論或是缺乏理論，並且 P 的指涉層級 R 愈加清晰並趨向個例（token）時，P 的預測能力以及經驗有效性愈高；但是若 P 的解釋或是預測能力無法超過個別的 R 時，則 P 不為一普遍的科學法則，僅是一個經驗有效的常規。

筆者在此另舉一例，一位澳洲 Sydney 大學的研究員，同時也是電視和廣播科學記者的 Karl Kruszelnicki 獲頒 2002 年 Ig Noble 獎，原因在於他大規模調查人類肚臍垢。有個聽眾跟他請教，為什麼肚臍垢大多是藍色的，他翻遍科學文獻找不到相關資料，乾脆展開調查，訪問 4799 人，最後結論說，若是中年男性、超重、多毛髮、肚臍朝內縮程度大的人，容易有肚臍垢。至於肚臍垢為何大多是藍色的，他解釋原因在大多數服飾是藍色的，不然就是含有藍色染料。在此處，肚臍垢是否為藍色的原因，依據 Karl Kruszelnicki 的解釋，並非來自於一種普遍的生理因素，而是侷限於特別身材以及衣著的人。因此，作為經驗常規而言，「肚臍垢為藍色」似乎可以預測的相當不錯，但本身未能作為一普遍的科學法則。這

⁶⁰ 指涉層級（reference class），科學理論和模型所欲描述的現象或是概念範疇，譬如說，質量、運動、速度等等。當指涉層級愈高時，其描述的現象或是概念範疇愈加抽象，譬如說時間、空間。反之，當指涉層級愈小時，其描述的現象、概念範疇愈具體，譬如說，鐘擺、原子、細胞等等。而當指涉層級趨於個例（token）時，乃是指涉具體的人事物，譬如說 921 地震、總統府、小明等。

並不是由於 Karl Kruszelnicki 研究主題不夠嚴謹，而是因為其指涉層級是相當狹小，無法進一步推廣，同時支持該經驗常規成立的並非普遍性的理論或是物質世界，而是一個相對偶然的文化背景。

承上述，筆者利用系統性原則幫先前的可落實原則作一番補述。雖然高層模型「重新分類」到低層模型可說是由普遍到特殊的過程，然而在理想上，理論必須是普遍的，並且應用到較抽象的指涉層級。譬如說，Newton 定律不僅用於地球上的物體運動，亦應用到其他天體之上。換句話說，適用於一切物體運動之上。依照如此，P 命題有可能作為一個科學法則，假若 P 命題能夠超越個僅描述例的 R 並建構理論。否則，P 命題永遠都會有特殊性的問題。因此，必須注意的是，筆者並不是在針對方法論來加以批評，筆者乃是說明系統性原則如何排除經驗常規。從上述來說，歸納法及其實驗仍是有能力從個別的常規，而推理出普遍的通則，這一點筆者並不想否認。同時，筆者也無意比較假設演繹法和歸納法的優劣（至少在目前來說）。只不過，筆者認為由個別的常規出發而要獲致一普遍的科學法則，一是需要運氣，其二是需要理論建構。無論假設演繹法和歸納法均有概念建構的部分，只不過其概念建構程度有著相當大的差別。

另外，這類的經驗常規，在缺乏理論的指引下，並無法產生在邏輯上或是概念上有效的 ad hoc 假設，這就是歸納法所面臨的問題之一。目前而言，沒有一個科學理論沒有 ad hoc 假設的存在。事實上，正是因為 ad hoc 假設而使得科學理論能夠存在，否則依照否證法或是檢證論的立場，沒有一個科學理論能夠存活至今。這是因為科學理論其源始乃是人智的心智模型，必須接受過經驗實證的過程方能證實其有效性。同時，理論建構之初，許多觀念和邏輯推論也不是十分清楚，需要進一步實驗和概念建構方能成形。

然而，ad hoc 假設的產生並不是任意決定，而是必須由理論引導出來。有時候 ad hoc 假設⁶¹ 乃是理論隱藏的推論結果，有時候是對於理論基本觀念的再修正，有時候僅是種基於理論的信念⁶²。然而絕非是個理論之外或是任意附會所產

⁶¹ 根據 Lakatos 的說法，退步的研究計畫有三種 ad hoc 假設：

1. ad hoc 假設的加入，並沒有增加新的經驗內容，也沒有預測新的經驗事實，Lakatos 稱為 ad hoc1；
2. ad hoc 假設的加入，確實預測新的經驗事實，但完全落空，Lakatos 稱為 ad hoc2；
3. 第三種的定義比較模糊，大致上是說，非上述兩種 ad hoc 假設，第三種 ad hoc 假設的確預測到新的事實，但是假設的增加，並非根據任何理論或是研究計畫，而是神來一筆，Lakatos 稱為 ad hoc3。Lakatos 本身舉的例子是 Planck 對於 Lummer-Pringstheim 式的初次修正。

不過，有鑑於其他科學哲學家也常將後來增加的輔助假設稱為 ad hoc 假設，故增加第四種，用 Lakatos 的話，乃是“positive heuristic”：

4. 實際上，應該還有第四種，即是依照理論推演而添加的 ad hoc 假設，並預測新的事實，如海王星的預測。

以上，可參見 Hacking ed. (1981), p.117; Lakatos (1978), p.80、88。

⁶² 「天文學家在觀察『天王星』的軌道時，發現實際軌道與計算的軌道有所偏差，相信這是由於另一顆（第八個）行星所導致。兩位數學家分別工作，計算出該行星的位置及質量，最後由一位年輕的天文學家在 1846 年尋找到這顆星並名為『海王星』。找到了『海王星』之後，天文學家發現，『海王星』並不足以解釋，『天王星』軌道所受擾動的程度。而『海王星』的軌道，也像受另一個未知天體的影響。所以，很自然地引發了尋找太陽系第九個行星的工作。1930 年，美國

生的假設。在這意義上，缺乏理論支持的經驗常規在面對異例（anomalies）時，並沒有ad hoc的解決方式，通常要不是放棄先前的信念，要不是重新出發找尋新的經驗常規。如同發現工具已不再好用或是損毀之後，只好在換一組新的工具一般。在上述的例子中，A地的人到B地之後，發現過去的經驗常規不再發生作用，要不是堅持既有的經驗常規，要不是重新找出B地的經驗常規。除了無法形成科學法則之外，同時亦可能失之交臂或是耗費無謂的時間精力。

針對理論而言，理論除了本身是一組命題系統之外，命題與命題之間應當具有邏輯推導關係，或是必須至少原則上為理論所約束，並非是一組僅有邏輯上不矛盾的命題集合。換言之，為了迴避詮釋問題，理論命題之間必須具有邏輯推論關係，而非各自獨立的命題。前面已然討論到，關於獨立命題或是經驗常規可能招致的問題，在此我們將進一步定義並嘗試解決「詮釋問題」。詮釋問題在先前已然有所討論，筆者曾經提及，一個好的理論必須能夠將詮釋空間縮減到最小，增加理論的檢證與否證性。但是筆者並未仔細定義何謂詮釋問題，以及如何減低詮釋空間。不過，依照系統化原則，我們可以定義詮釋問題為：當理論 T 本身，其理論命題聯繫沒有嚴格的邏輯或是概念推導關係，或是其概念本身的模糊性，使得任何命題可以插入其中而不影響理論預測，或是其概念可以任意詮釋之際，我們會說該理論具有詮釋問題。反之當命題的邏輯推導關係愈清晰，以及其概念愈明確時，該理論的檢證性和否證性愈高，即是該理論的可測試性愈高。當理論 T 詮釋空間愈大時，該理論的嚴格性愈低，同時也愈加不可靠。

為何命題間缺乏邏輯推導關係或是理論概念連結愈鬆散時，其理論愈加不可靠呢？假設理論 T 包含了 a、b、c、d~n 等命題，若各命題間各自獨立，則 T 與其稱之為理論，倒不如說是鬆散的概念集合。

假設：

- (1) 命題 a：動者恆動，靜者恆靜
- (2) 命題 b：當施加一外力於靜止物體時，物體移動距離與其外力成正比
- (3) 命題 c：當未忽略空氣阻力和摩擦力時，未持續加力時，其物體移動會漸趨緩慢，終而停止

當 a、b、c 命題各自獨立時，命題 a 僅能在宇宙或是真空中得到證明。而命題 b 缺乏考慮到摩擦力與空氣阻力時，僅能適用於作用力大於物體質量與靜摩擦力之總和的情況下。命題 c 雖然乍看之下十分符合現實狀況的描述，但由於缺乏理想化的預設，因此無法形成一條可計算、可預測或是數學化的科學法則，因為非線性因素會使得計算上變得十分繁雜，甚至不可能。

當命題間缺乏邏輯聯繫時，事實上就等於說我們並沒有將之統合的理論。這些命題與其說是科學命題，倒不如說是個別的經驗常規而已；與其說是理論，倒不如說是一個鬆散的集合而已。在這意義下，任意命題可以隨時加入該集合之中

天文學家 湯芭(Clyde W. Tombaugh, 1906-1997)，發現了第九顆行星，後來命名為『冥王星』(Pluto)。發現了『冥王星』後不久，天文學家發現了『冥王星』質量太少了，不足以解釋『天王星』及『海王星』軌道所受擾動的度，因此，天文學家開始尋找『X行星』，但卻沒有發現。」
http://bwc.hkcampus.net/~bwc-phys/Web%20News/new_page_33.htm

而不會改變集合本身，只要不違背邏輯矛盾律即可。因此，像 k 命題陳述，「今日氣溫攝氏 32 度」，加入上述三個命題中亦不會產生概念上的問題。正是因為缺乏概念和邏輯的關係性，其詮釋的自由度十分地大，大到足以做出荒謬的結論。

因此，縮減詮釋空間的目的在於，將一個理論，以精確嚴格的方式，有系統地加以表述出來，藉此避免做出荒謬的推論和結論，以及提高理論的可測試性。否則在原則上，任何命題都可加諸於其上，形成無效的 ad hoc 假設，將理論瑣碎化 (trivialized)。即使當命題之間具有邏輯或是概念推導關係時，假若其推論是模擬兩可的，或是不夠清晰之時，推論的過程可藉由 ad hoc 假設加以解釋，或是辯稱實驗未能完全代表或是檢證該命題推論。在這意義上，為了所縮減詮釋空間，必須將命題之間的邏輯關係和概念連結解釋清楚，同時亦必須將所有命題做一有機整合，排除不必要的假設和命題推論。

1.5 小結

筆者在此，大略地總結依下科學化三原則的內容。

- (1) 可落實原則：科學理論必須在過去、現時或是未來，直接或是間接地落實於物質世界中。
 - a. 一個理論分層系統，至少必須具有一個可落實模型。
 - b. 高層模型「重新分類」到低層模型檢證的過程中，其模型設置條件、參數必須盡可能地加以量化定義和陳述。
 - c. 程序確定性：在實驗程序 S 下，必須能夠統計顯著性地產生現象 R，並且能夠有效地加以複製實驗。
- (2) 主體際性原則：科學家的心智模型必須被投射到公共領域之中，由有能力的他者自由檢證、溝通和批判。
 - a. 可表達性：透過社會共享的語言、文字、圖案、圖表等，將心智模型投射到公共領域之中表達出來。
 - b. 公開性：
 - (a) 溝通公開性：科學理論、模型和實驗開放為有能力他者認知，並透過科學社群共享的標準，加以檢證、批判、論辯、實驗和接受；
 - (b) 資訊公開性：理論和實驗資料能夠由有能力的他者自由地使用和近用：
 - 任何有能力他者可以自由地獲取科學知識，而沒有外在的社會和政治壓力。
 - 實驗資料和科學理論本身，乃是客觀地記錄下來，任何有能力的他者均可重製實驗或是理解實驗資料和科學理論的敘述
 - c. 方法論的客觀性：原則上，實驗程序與實驗必須透過社會共有的語言、文字等方式，或是依據現今的科學方法加以描述，並定義所欲操縱的模型參數、條件等等，即是說，我們必須「客觀地」定義實驗程序和科學模型。
- (3) 系統化原則：理論建構乃是有機組合的過程。因此，鬆散的經驗常規類集

不能視為理論。一組理論假設 T 必須具備著核心命題，其他命題均可由核心命題邏輯地或是概念地推導出來。

- a. 當一組理論假設 T 的核心命題明顯自我矛盾時，該組理論假設即是具有嚴重的概念性問題。
- b. 邏輯一致性：一組理論假設 T 在最大程度上，應該要求命題間的邏輯一致性。
- c. 詮釋問題：當一組理論假設 T 本身，其理論命題聯繫沒有嚴格的邏輯或是概念推導關係，或是其理論概念本身的模糊性，使得任何命題可以插入其中而不影響理論預測，或是其概念或是實驗結果可以任意詮釋之際，我們會說該理論具有詮釋問題。而當理論的詮釋空間愈大時，實驗的檢證性和否證性愈低，反之愈高。
- d. ad hoc 假設的設置必須能夠由理論中推導出來，或是藉由修正理論的某些概念所引導出來，而非任意附會。並且，儘可能地避免 post hoc 的說明。
- e. 一個理論假設 T1 或是命題 P1 所涉及的指涉類集 R1 愈狹隘時，其經驗實驗的檢證性和否證性愈高，反之愈低。但是，T1 和 P1 必須能夠應用到超乎個例（token）或是超乎區域性，否則 T1 和 P1 不是科學理論和命題，僅有效的日常理論和經驗常規。