



說科學精神與科學教育

劉源俊 / 東吳大學名譽教授

臺北市立大學・北市大講座

2024年3月22日



科學月刊

科學月刊

SCIENCE MONTHLY

科學月刊

SCIENCE MONTHLY



緣起

- 大家都說要提倡科學精神，其精義為何？
- 科學教育是各級教育裡的重要一環，我們有必要將其要旨說清楚，講明白。
- 有許多誤解需要澄清。
- 在現今圖像氾濫的時代裡，更需要重視驗證與思考的教育。

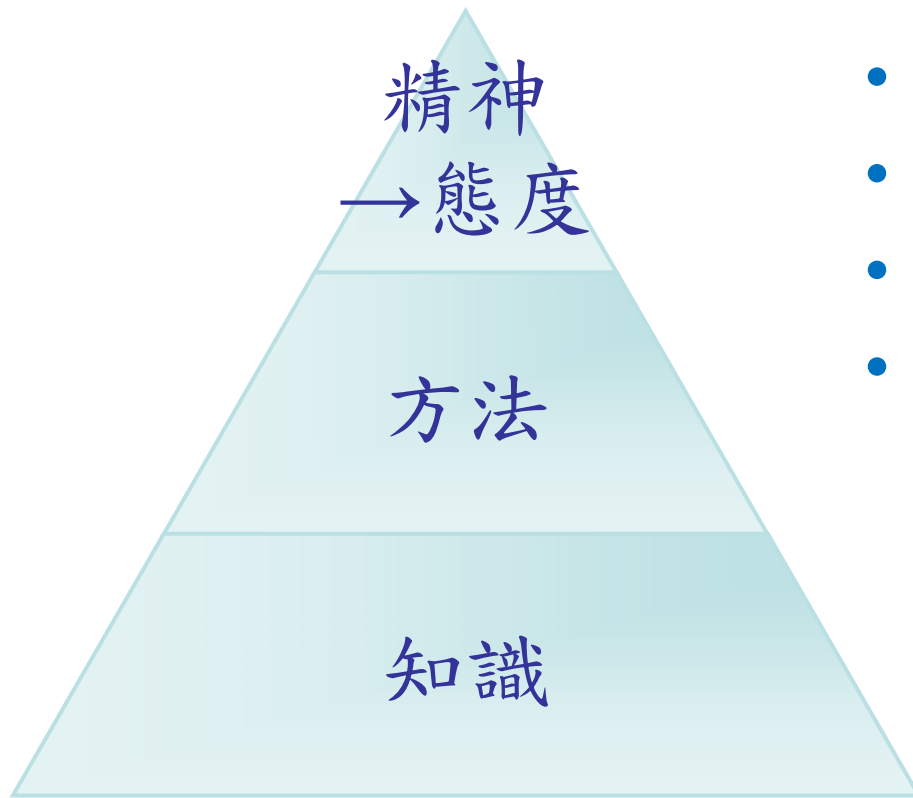
大綱

- 從學問說起
- 科學的本質
- 科學精神、態度與方法
 - 科學知識與科學史
- 檢討我們的科學教育

從學問說起

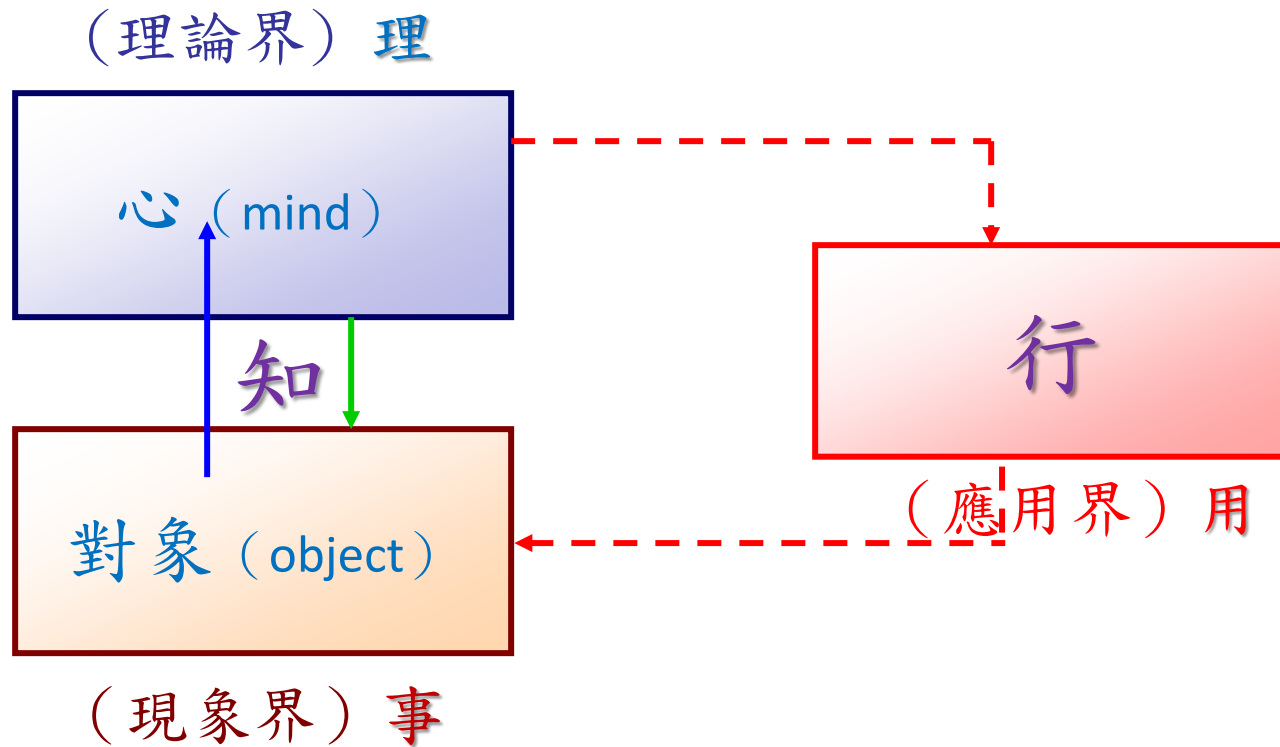
- 《中庸》：博學之，審問之，慎思之，明辨之，篤行之。
- 《中庸》：尊德性而道問學。
- 司馬光：學非問辨，無由發明。
- 學、問原本是動詞。「學問」一詞後來成了名詞。
- 《朱子語類·朱子十》：廖子晦得書來云：「有本原，有學問。」
- 《儒林外史·楔子》這王冕天性聰明，年紀不滿二十歲，就把那天文、地理，經史上的大學問，無一不貫通。
- 英文 learning, knowledge，德文 Wissenschaften，日人翻譯的「知識」，都不及「學問」好。

學問的三個層面



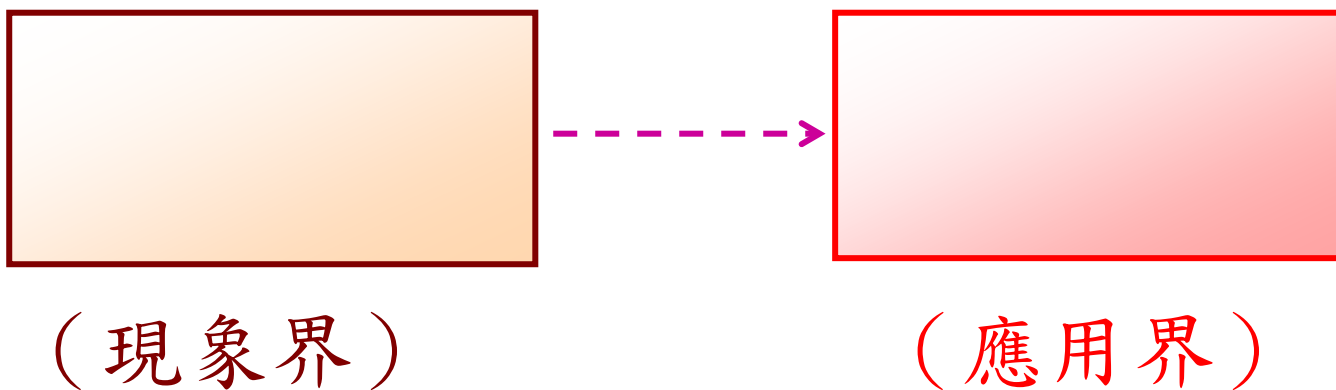
- 知識經由方法而獲取。
- 方法繫於精神與態度。
- 精神在乎心態。
- 態度用於落實。

學問三界

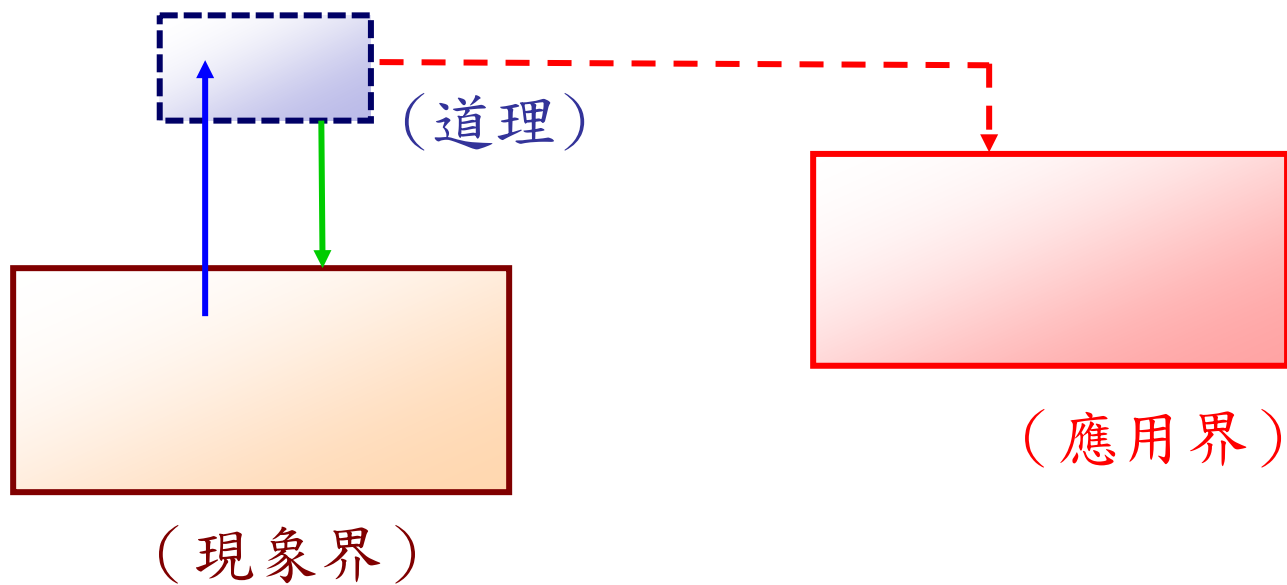


《論語·憲問》：「下學而上達。」
周而復始，學問於是發展！
知而後行，行而後知。

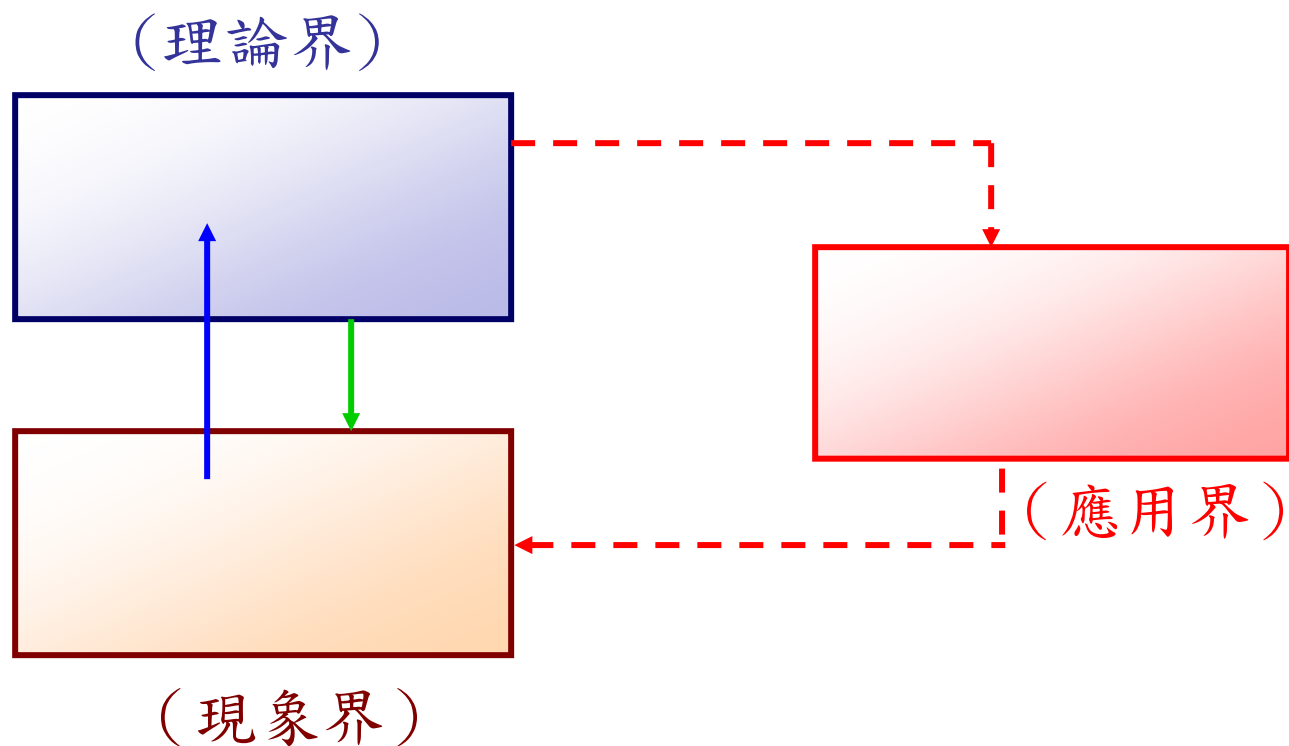
蒙昧人的世界



普通人的世界

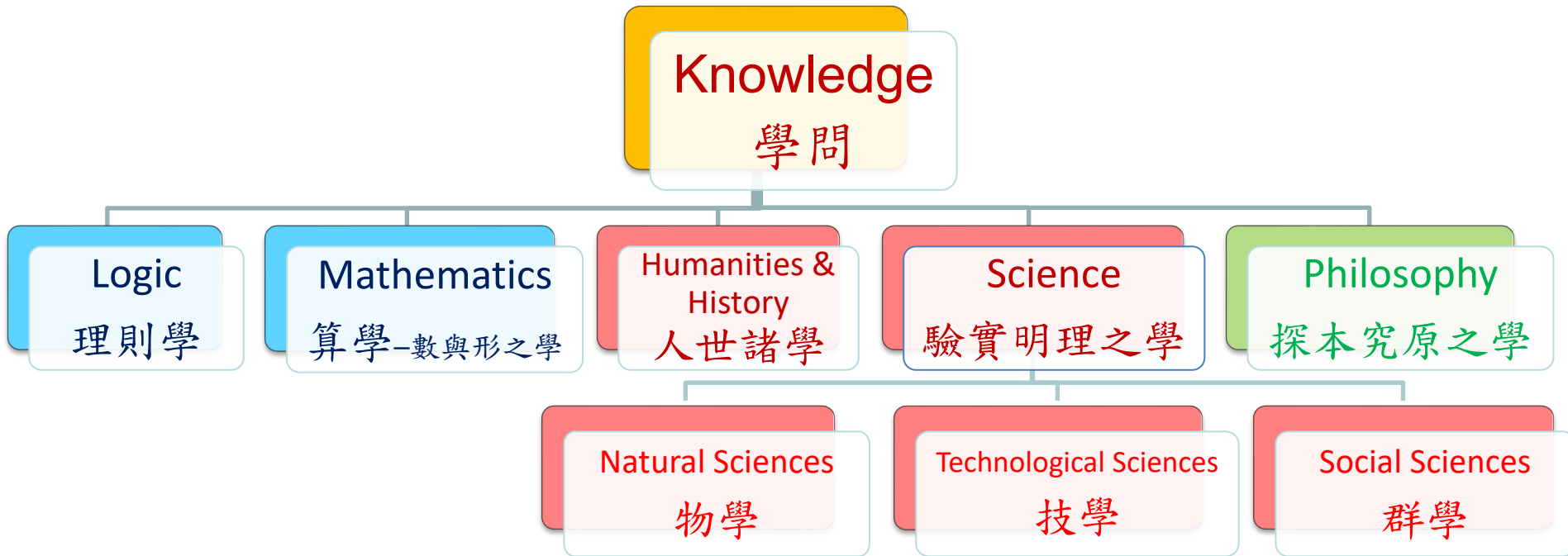


科學人的世界



學問的大別

—據1974《新大英百科全書·前百科》
The New Encyclopædia Britannica --Propædia



科學

- 「科學」一詞源於日人對“science”的翻譯（寓意分科之學），其拉丁文“scientia”本義相當於中文的「學問」。
- 十七世紀以來，西方發展出的「近代科學」（modern science），特別注重實驗與算學推理，可稱之為「驗實明理之學」。
- 清末官方稱為格致學，民國初年有人名之為「賽先生」；
- 但因留日人士襲用「科學」之名，人數眾多而影響大，以致全國通用。

- 複數的名詞“sciences”指分科的知識，不妨稱為科學或諸學；
- 但若談到精神層面，說提倡「科學精神」、「科學態度」、「科學的人生觀」，讀者望文生義，就難明其義，易衍生種種誤解，是為憾事。
- 一般所認識的科學教育主要屬知識層面，例如牛頓的運動三律及萬有重力律、達爾文的演化論、DNA的雙螺旋結構等等。
- 但科學教育的要旨至少要兼顧四個方面：
科學的本質、科學精神態度與方法、科學知識與科學史。

科學的本質

- 一切學問都是人心的產物，都屬人文。
◦ 驗實明理之學是學問的一支，當然屬人文。
- 任何一門科學都不外是：力求用一套說得通的理論來解釋、預測現象，解決問題。
- 但一般人長期受誤導，以為「科學」屬「客觀的知識」，而與「人文學」相對立，其負面的影響極為深遠。

- 科學所講究的，是誠實、嚴謹、冷靜、開明、謙虛，是不固執成見，是與人溝通；而並非「客觀」（objectivity）。
- 不可因一些科學多用算學的工具，就認為它們比較「客觀」。
- 該精確處精確，不能精確處模糊，是正道。
- 學問追求的並非個別人的主觀，而係「人心之所同然」的「共同主觀」（inter-subjectivity）。
- 《孟子·告子上》：「心之所同然者何也？謂理也，義也。」

- 其實任何理論都是人就所選擇的對象，所發明的「一套說得通的道理」，當然有其適用領域的限制。
- 這裡所謂「一套」是指它是統貫的——成系統而合乎理則。所謂「說得通」是指它是旁通的——與其他相關理論相容，又能說明現象——得到實驗的支持。
- 這樣的「理」既依托於現象而來，必依現象的擴展而演進，所以只能問它「適用與否？」及「好或不好？」，而不能問它「是真或假？」
- 在學問的世界裡，本無「真理」這一說法。

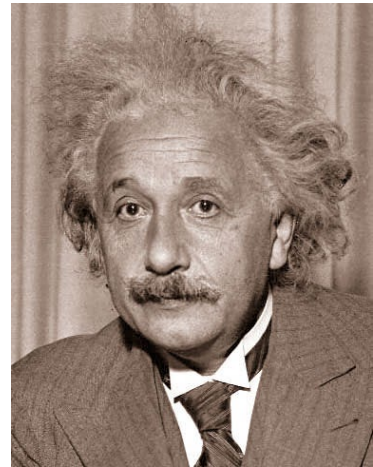
- 理從何來？實驗給人們提示，理論因人們猜想。
- 任何理論都是人的發明，都從假設出發而推論；「假設」怎能得到「真理」？
- 理論必因現象界的擴展而演化；用波柏（Karl R. Popper）的話，是「適者生存」。
- 實驗並不能證明理論的正確，只能支持/贊成（corroboration）或否證它（falsification）。
- 好的理論的一個重要判準是：提出時，同時提出否證它的實驗設計。

且看大學者如何說？



愛因斯坦說 'truth'

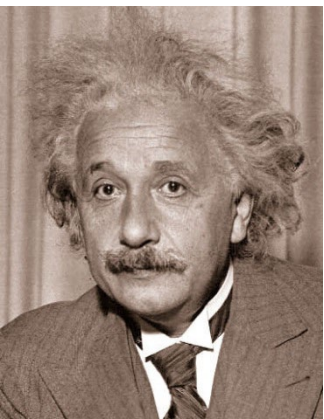
- 愛因斯坦：「甚至很難為 'scientific truth' 這一詞賦予精確的意義。'truth' 這字的意義依情況而異，或指經驗之實（a fact of experience），或指算學之題（a mathematical proposition），或指科學之理（a scientific theory）。'religious truth' 於我，一點都講不明白。」
- On Scientific Truth
—Answer to a Japanese scholar, 1929



愛因斯坦 A. Einstein, 1879-1955

「創造一新理論並不是像毀去舊穀倉後，就地建造一高樓。是像登山，見得更新更廣，而發現原先出發點與其豐饒環境間意想不到的關連。出發點仍然在，也仍然看得見，祇是變得更小，成了更廣見地中的一個小部分。……」

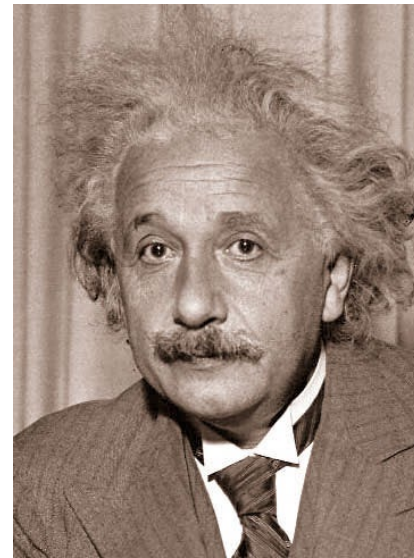
Einstein and Infeld *The Evolution of Physics* (1938)



愛因斯坦

「物理學是在締造一合乎理則的思惟體系，它是**演進的**，它的基礎不能用任何歸納法自生活經驗蒸餾得到，只能經由**放心的發明**（free invention）獲取。這一體系的正當性來自：基於感官的經驗證明其推論為有用。……」

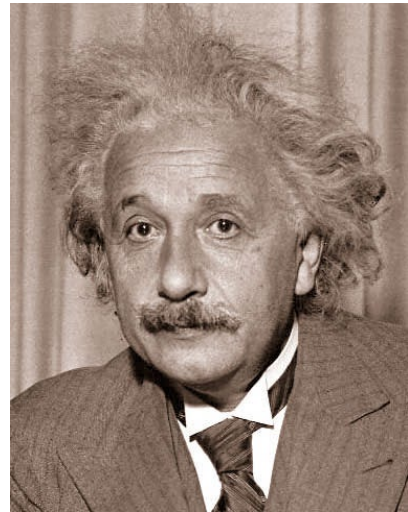
Physics and Reality, 1936



愛因斯坦

- 「物理概念是人心的創作，而非，無論如何像是，由外在世界決定。」
- “Physical concepts are free creations of the human mind, and not, however it may seem, uniquely determined by the external world.”

The Evolution of Physics, 1938



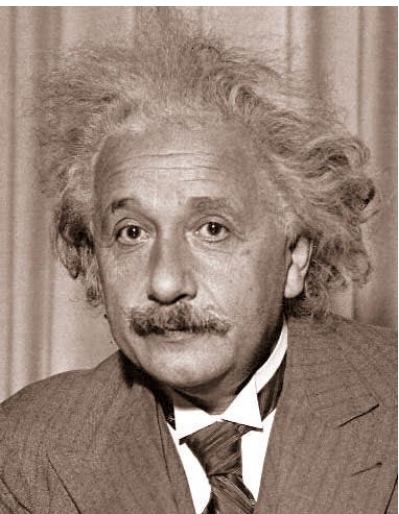
愛因斯坦

「沒有實驗能證明我對；但一個實驗就可證明我錯。」

"No amount of experimentation can ever prove me right; a single experiment can prove me wrong."

(1910's)

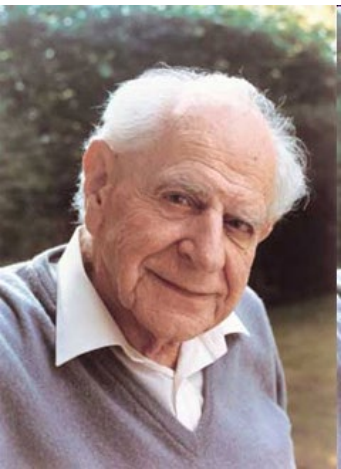
The New Quotable Einstein by Alice Calaprice (ed. 2005)



波柏 Karl R. Popper, 1902-1994

- 適者生存 “Survival of the better adapted.”
- “evolutionary theory of knowledge”

All Life is Problem Solving, Part I Questions of natural science, 1999 （德文本出版於1994）



——理論並無「真或假」之分，
只有「適用程度大或小」的差異。

費曼 R. Feynman, 1918-1988



- 「知識從何而來？待試驗的律則又從何而來？

實驗本身幫助我們產生這些律則——給我們提示。

但我們也需要「想像」（*imagination*），而從這些提示創造出通則來——猜（*guess*）出其中隱藏的引人入勝、簡單但奇妙的型樣，然後再做實驗去檢核我們是否作了對的猜測。」

- *Lectures on Physics*, 1963 1-1 Introduction

- 十七世紀針對物界所發展出來的「驗實明理之學」（modern science），有更進一步的要求，就是其現象必須可重複出現。就因為可重複出現，才能採用「歸納法」。
- 物界的律則（“laws”）都是人從現象歸納而得；既受限於所選擇的研究對象，當不能稱為「定律」。
- 物界的律則是人為物界作的律（“laws for the nature”而非“laws of nature”），就如同法律是人為人世立的法。
- 關於現代物理學對物界的認識，魏茨澤克（Carl F. von Weizsäcker）有一句發人深省的名言：「天在人之前，人在理之先。」
（“Nature is earlier than man, but man is earlier than natural science.”）

- 不同領域的方法各異，所發展出的概念與術語自不相同；我們當不能期望這一門科學可以用到另一門去——因而學問是必須「分科」研究的。
- 例如，雖然有相通處，化學裡的「原子」與物理學裡的「原子」定義就不同；「質量」也是的；
- 經濟學與物理學裡都說「彈性」，但毫不相干；物理與天文學家所說的「宇宙」，也與哲學家所說的「宇宙」大異其趣。
- 當然，現代物理學所說的“physics”，自不同於古希臘時期所說的“physics”，也與中國古書上說的「物理」不是一回事。

藉孔子「四句」說「明理」

- 毋意 consistency （順理統貫）
- 毋必 limitedness （不能放之四海而皆準）
- 毋固 falsifiability （可否證）
- 毋我 inter-subjectivity （可說、可傳）



科學探究的要義

- 實事求是
- 知所先後
- 執簡馭繁
- 異中求同
- 變裡探常
- 納奇致正
- 精益求精
- 追求心同

任何理論不可能「放之四海而皆準」。

辨正「好奇」

- 一般總說「好奇心」是科學發見的源頭。
- 中文裡「奇」與「正」是相對立的。
- 奇：abnormal, singular。
- 但科學家的作為並非「好奇」，而是「見異→好問→探索→納奇致正」——甚至可說「好正」。
- 日人將“curiosity”錯譯為「好奇心」，中文沿襲。其實“curiosity”的意思是「好問」、「好探索」（inquisitive）。

- 科學家好「奇」？他們好「理」！
- 艾德勒（Mortimer J. Adler, 1902-2001）：
「科學精神：實驗探究與實驗知識的整理。」
“Scientific spirit: Experimental inquiry and the organization of experimental knowledge.”
- *The Syntopicon—An Index to the Great Ideas* 《題彙—重大觀念索引》，1952
- 潘卡瑞（Henri Poincaré, 1854-1912）：
「科學理論都是從假設（hypotheses）開始建構的，有些假設可經由實驗證實，有些是用來界定思考，有些則本質上不過是『約定』（conventions）——約定乃屬心的自主活動，惟受實驗的約束。」
- *Science and Hypothesis* 《科學與假設》，1903

- 話說1665-66年間，牛頓因躲避瘟疫回到家鄉。他坐在蘋果樹下，想到蘋果因重力下落，卻不解何以天上的月球卻不下落這一「奇」。
- 經過一番探究終於想通，他說：月球其實也受到重力，也在下落；但因月球在繞地球作圓周運動，所以儘管持續下落，卻落不到地面。又因月球遠，下落的加速度比地面小約3,600倍，於是發展出「萬有重力」理論——重力大小與距離平方成反比。
- 換言之，牛頓當時提出了一套理論，將天上月球的運動與地上蘋果的運動一併解釋清楚了。之前的「奇」就化為不奇了。

- 再舉一例：
- 天王星是在1781年發現的。其後的精密觀測發現天王星的橢圓軌道有異常；到1845年，年輕的亞當思（John Couch Adams）認為很可能是受到天王星外另一行星的干擾，從而推算出該未知行星的軌道、質量與當時的位置。然而格林威治天文臺未予置信，該說法乃石沉大海。
- 但同時期法國數學家勒威耶（Urbain Le Verrier）也算出相近的結果，請求柏林天文臺觀測。
- 到1846年，柏林天文臺果然發現，在所預測的位置還有顆黯淡的行星；海王星就是這樣發現的。
- 這一發現可說是牛頓力學的大成功，於是天王星軌道的「奇」也就不奇了。

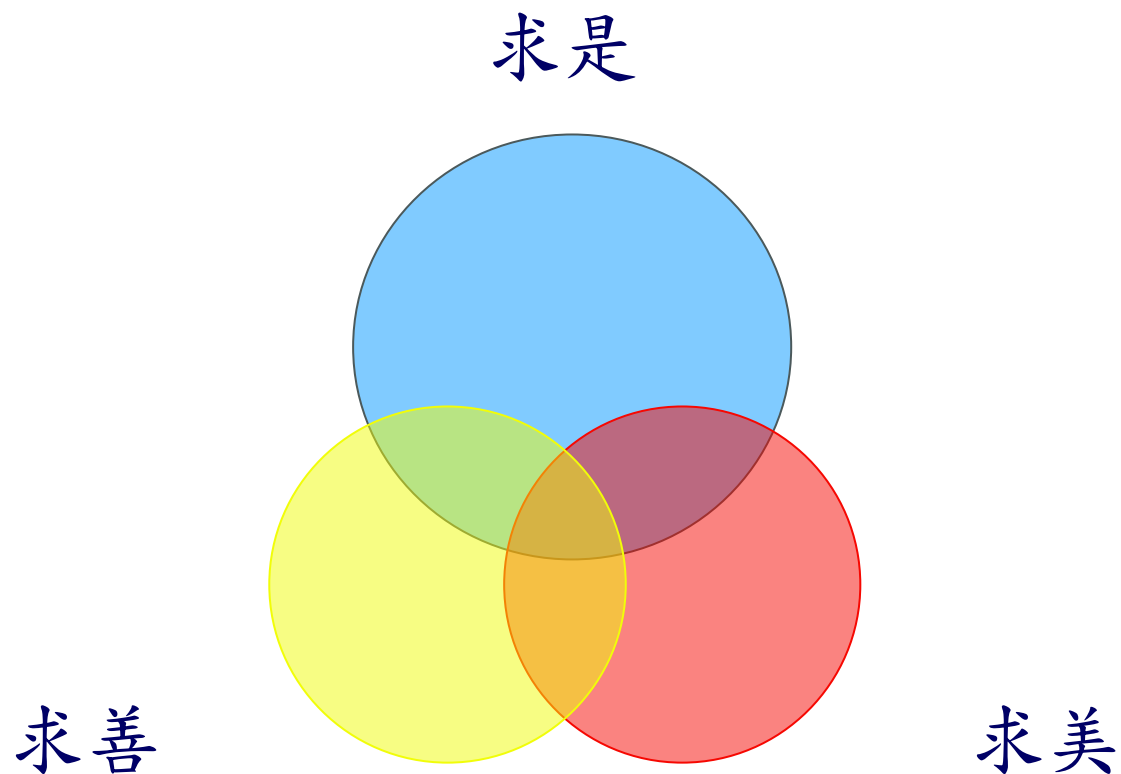
- 不久（1854年），勒威耶被任命為巴黎天文臺臺長。到1859年，勒威耶發現水星近日點的前移（歲差），比根據牛頓力學算得的值，每世紀快38弧秒（1882年新計算修正為43弧秒）。
- 他猜測可能是還有一顆比水星更靠近太陽的行星所致；但經過多年辛勤搜尋，竟一無所獲。天文學界曾為此「奇」抓狂！
- 直到1915年，愛因斯坦的廣義相對論以時空彎曲的新理論取代牛頓的重力理論，所算出的結果剛好就是比牛頓理論多出 $42.7 \approx 43$ 弧秒！
- 換言之，廣義相對論又成功地化奇為正了！在廣義相對論裡，時空的彎曲決定於能量與動量的分布，反過來又決定物質的運動。這與牛頓力學裡，物質是在平坦的時空中運行，大異其趣。

學問精神、態度與方法

- 各門科學所選的對象不同，用的方法也不同，各科知識乃見分野。
- 現代知識愈分愈細，科學家通常總專精於自己的小領域裡，越來越難以兼曉另一領域的知識。
- 但若論及學問精神及學問的基本方法，則各門科學並無二致。

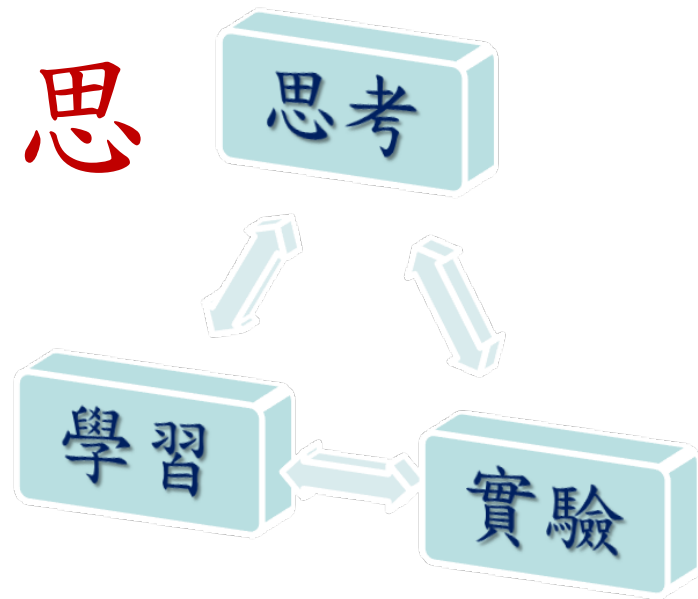
- 簡言之，學問精神在於求是、求美與求善。
- 這裡說「求是」而非「求真」，因為學問界裡並無「真理」，而「是」在古書裡的意思就是「則」（見《爾雅》）。
- 這裡的「美」或指理論的「漂亮」（簡約而廣達），或形容實驗的「漂亮」（適當而明確）。
- 「善」是指可以說明舊的更預測新的現象。

求是 求美 求善



- 學問的態度在於務實、明理與善用，在此不贅。
- 至於做學問的方法，細節多不及備述；概而言之，則不外學習、實驗/觀察、思考三個維度。
- 這三維可合稱為「學驗思」，既諧“science”之音（特別是其法語發音），又剛好可補救中國傳統儒家但注重學與思以致科學發展落後之偏失。
- 所以，說提倡「科學」不如說提倡「學驗思」。

Science : 學 驗 思



- 孔子重視學與思：
學而不思則罔，
思而不學則殆。
- 中國科學落後於西方的一個很重要的因素：缺乏驗的系統方法！
- science 譯為 學驗思，兼顧音（特別是法語發音）與意：
- 學而後驗，驗而後思，思而後學，.....。
- 學而後思，思而後驗，驗而後學，.....。

口述／劉源俊（東吳大學物理系教授）

記錄整理／黃沛云

是科學

Science

學驗思

之中，簡單的事
思維——這正是



恩師的啟發與鼓勵

我從小在基隆巷邊長大，

閱讀是

科學教育。到了大三，理，於是獎。老振寧過

在求學過到閱讀的重定知識的基初三時，

書、一張紙和一疊紙的實驗與聯想

- 怎知物體越落越快？
- 一本書的實驗
- 一張紙和一本書的比較
- 把紙揉成團
- 一張紙和一疊紙的實驗
- 重物 and 輕物，哪個落得較快？
- 為什麼？
- 如果去除或減少空氣阻礙？
- 研究問題，先減少「變因」。

17世紀的伽利略從實驗與思考開創了
近代科學（modern science）

free fall

無礙下落

1903年王季烈譯：無礙直墜

~~自由落體~~

- 學 驗 思所為何來？總之是為探索種種「奇」背後的「理」，而終至化奇為不奇。
- 又，在學、驗與思的過程中，古今大師的特質都是專注（定）、勤奮（毅）與開明（弘），而非「好奇」。
- 《大學》上所說「定靜安慮得」的道理及曾子所言「士不可不弘毅」，到現代還很受用。
- 「學驗思」的要旨，說得通俗些，是「認真」與「講理」；借用古人的辭彙，則要舉《中庸》講的「誠」與「明」。

一般對科學精神的誤解（一）

- 科學家比較科學
- 現代人比古代人科學
- 西方人比中國人科學
- 科學萬能
- 科學講求客觀
- 科學理論是發現



一般對科學精神的誤解 (二)

- 科學是「價值中立」的
- 科學求真，宗教求善，藝術求美
- 科學無關信仰
- 成一家之言就是科學
- 科學精神與人文精神相對立
- 儒家妨礙了中國科學的進步



科學知識與科學史

- 驗實明理之學可概分為三大支：析物求理諸學（natural sciences，「物學」，俗譯為自然科學）、利用厚生諸學（technological sciences，「技學」，俗譯為技術科學）與經世濟群諸學（social sciences，「群學」，俗譯為社會科學）。
- 三大支各有用場，但物學實為基礎——不只由於物學的發展先於另兩類，更由於技學與群學的方法實源自於物學，而技學的知識也奠基於物學。

- 物學知識的積累促成了文明的突飛猛進；為跟上時代，現代的每一個人都需備有基礎的科學知識。
- 然而由於近年網路科技及人工智能的快速發展，許多資料可從網路上取得，這方面的教育內容不必求多。
- 但需要強調：將來更應特別重視基本概念的徹底了解、專有名詞的定義，以及重要原理、律則的意義及應用，方有助於人日後的求知。

- 教育的要旨本在啟蒙（enlightenment），在開明心靈（freeing of the mind），科學史的教育允為是最好的開明心靈的過程。
- 且舉幾個例子：
- 從伽利略研究落體，我們可以學到如何簡化變因，如何從擺聯想到斜面？如何先分析後綜合，又如何做實驗以支持理論。
- 從牛頓研究光與重力，我們可以學到如何問問題？如何設計實驗？如何從蘋果下落聯想到月球運動？如何從實驗歸納？如何利用算學演繹？

- 從法拉第研究電磁學，我們可以學到如何從窮困中求知並力爭上游而不驕不餒？如何想電流的磁效應聯想到磁場變化可能有電效應？如何做實驗？如何向大眾演示？
- 從達爾文研究演化問題，我們可以學到專注與勤奮的精神，學到察異求同的方法，學到謹慎的態度。……
- 我們還可從科學史的總體發展，認識到科學發明的三項要件：好探索心（curiosity）、閒暇（leisure）與言論開放（freedom of expression）。
- 又從中國的科學發展落後於西方的這一事實，認識到演繹推理與系統實驗這兩大項方法的重要，而思有所加強。

檢討我們的科學教育

- 實際上我們中學的科學教育著重代公式答題目，不鼓勵提問題；評量方式採用選擇題而非問答題或解釋題；「探究與實作」侵蝕了正式課的鐘點數又不與其掛勾。
- 遇對科學有興趣的學生，則鼓勵他去參加奧林匹亞競賽前的補習營，揠苗助長，戕害其心靈。
- 教材中罕見科學史的內容；學生記得的卻是，蘋果掉到牛頓頭上或伽利略在比薩斜塔表演這類以訛傳訛的「非故事」。

其後果是：

- 「趣味心」與「功利心」掩蓋了「好探索心」，
- 「欲速心」取代了「認真心」，
- 「標準答案心」抹煞了「猜想心」與「求是心」，
- 「競爭心」勝過了「合作心」。
- 基本功沒學好，對科學的認識偏差，甚至敬而遠之。

肩負科學教育的所有推行者，應該好好檢討其內容。

前面說過哪些？

- 學問
- 科學的本質
- 學問精神：求是 求美 求善
- 學問態度：務實 明理 利用
 - 一般對科學精神的誤解
- 學問的基本方法：學 驗 思
 - 科學史的重要
 - 科學教育的檢討

答問

