

物理 Physics Search 搜查線

第19期

專案特搜 1

拓樸 × 材料 × 量子美學

—2016 年諾貝爾物理學獎系列報導

P.2



本期刊物電子檔



((dB))



COVER STORY

專案特搜 2

單位人生 P.6

專案特搜①



拓樸×材料×量子美學

— 2016 年諾貝爾物理學獎系列報導

臺中市立中港高級中學 / 教師 王尊信

部落格：<http://trust-physics.blogspot.tw>

前言：數學物理之美

每年的 10 月是諾貝爾獎揭曉的季節，每次大獎揭曉都會帶來一陣歡呼與輕嘆，真是幾家歡樂幾家愁。

先講輕嘆的部分，每年的遺珠之憾，都會讓人感到淡淡的哀傷。今年，重力波（相關議題融入特色課程，請參閱物理搜查線第 17 期）的發現固然令人興奮，但若要獲得諾貝爾獎評審委員的青睞，可能還要再等一等。

至於歡呼的部分，則為美國華盛頓大學杜列斯教授（David J. Thouless）、美國布朗大學科斯特利茲教授（J. Michael Kosterlitz）、美國普林斯頓大學哈爾丹教授（F. Duncan M. Haldane），如圖 1 所示，就好像狀元及第、光宗耀祖，相關領域的研究學者也都沾染到最高學術桂冠的喜氣，就像今年，拓樸材料科學（topological material science）讓數學物理變成

顯學。究竟什麼是拓樸相變（topological phase transitions）？什麼是物質的拓樸相（topological phases of matter）？讓我們看下去……。

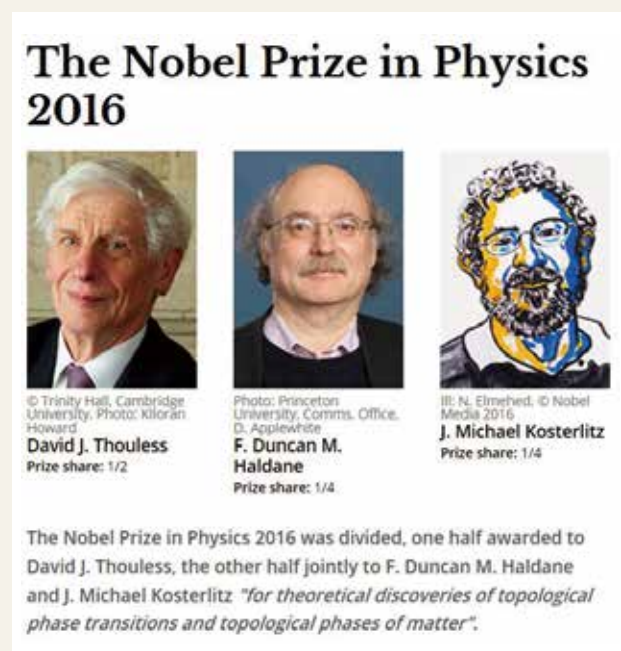


圖 1 2016 諾貝爾物理學獎頒獎給三位教授以表彰他們在拓樸相變與物質拓樸相的理論發現。



什麼是拓樸材料學？

在數學領域裡，抽象的幾何概念，連續與否存在著奇異點的產生，在可微分的函數中，必定存在連續性；因此，拓樸學（topology）就是研究連續變化下維持不變的各種性質。這樣講，還是很抽象，因為大多數學物理的人沒學過拓樸幾何學。

舉一個有名的例子叫作「柯尼斯堡七橋問題」（Königsberg bridges），這是尤拉（Leonhard Euler）在 1735 年提出的知名數學問題：在東普魯士的柯尼斯堡，河中有兩座小島，聯結了七座橋，問題是如何在每座橋都只經過一次的情形下，走遍所有的橋？這也是所謂的「一筆畫」問題，基於連續的原則，如果存在兩個以上的奇異點，那就不可能一筆畫完成，如圖 2 所示，所以七橋問題的答案是：沒有辦法用一筆畫成這題的解答。

因為這樣連續的概念，所以很多人戲稱：「在拓樸學家的眼裡，沒辦法分辨馬克杯與甜甜圈的差別」，這是因為馬克杯的連續狀態與甜甜圈的連續狀態相同，所以經由陶土胚胎的揉捏，馬克杯和甜甜圈都是同一種連續狀態的胚胎，因此也就傻傻的分不清楚了。

在材料物理這個領域裡，不同材料之間，晶格的長度未必相同。例如：藍光發光二極體的氮化鎵（InGaN）往往長在藍寶石基板（sapphire substrate）上；因此，兩種材料之間存在著不連續的錯位、晶格不匹配（lattice mismatch），這種不連續愈多，會使得缺陷也愈多，導致發光效率的下降，照理來說應該是很糟糕的長晶品質；但是，中村修二（Shuji Nakamura）在 2014 年的諾貝爾獎卻告訴世人，氮化鎵搭配藍寶石基板的藍光發光二極體才是王道，這讓許多材料物理學家感到矛盾與困惑？也許在不久的將來，拓樸材料學可以解開這個謎團。

拓樸相變在高中物理的融入

在高中物理的教學現場裡，絕大多數討論的範疇都是巨觀的古典力學、電磁學，因此拓樸相變只能當作「教師專業成長」的插花閒聊題材，也許僅能當作茶餘飯後的師生聯絡感情話題。然而，107 新課綱即將上路，校本特色課程開啓了課堂實踐的鬆綁，因此，如果能以拓樸相變當作探究與實作的題材，未必不是在考招連動的「X+Y+P」選項中的 P（現在的備審資料，筆者姑且把它稱之為學習歷程檔案 portfolio），提供很棒的物理素材。現在，就讓我們一起來探究

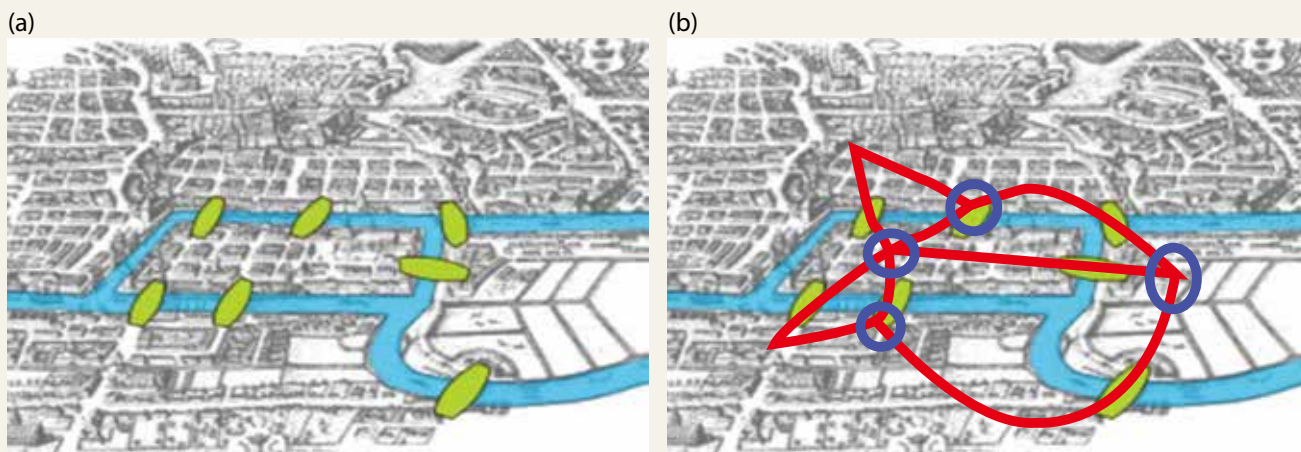


圖 2 (a) 著名的柯尼斯堡七橋問題就是拓樸學重要的應用。
(b) 分析解答。

「拓樸相變在高中物理融入」吧。

1. 發現問題（探究動機）：

近年來，在超導體（superconductor）與超流體（superfluid）的研究中，很多現象、相變（phase transition，這就是為什麼新聞報導時要討論三態變化的原因），例如鈔銀銅氧 YBCO 從正常態進入超導態，都需要用微觀低溫的維度來討論，稱之為凝態物理學。

2. 理論研究（探究內容）：

在二維的凝態相變中，在凝態物理裡，微觀的量子效應，比如三位學者詮釋的量子霍爾效應（quantum Hall effect），可以由漩渦（vortices）相關理論來解釋。因此由圖 3 右方的高溫尺度下，固態、液態、氣態與電漿態（plasma）之間的各種相變，可以視為許多單一漩渦（single vortices）所組成。但是當溫度下降到低溫形成量子凝態（quantum condensate），如圖 3 左方的低溫尺度，此時的材料性質變得相對紊亂，無法以古典力學、電磁學來解釋，這時候利用拓樸相變的漩渦緊密對（tight pair of vortices），有機會解釋像超導體、超流體等相變的現象。

3. 結論（探究成果）：

在推甄放榜後、大學入學前，這段時間往往是高中生常被詬病的學習真空期。因此可以利用這段時間，希望能對「拓樸材料學在量子力學的應用」為先驅研究（pioneer study），對此篇探究成果作更進一步的探討，學習相關研究工具（尤其是能與最近很火紅的 python 程式語言結合），也許有機會解開許多材料科學現在不能解釋的現象。

時事命題

- 根據本文，下列關於材料物理學的敘述何者正確？
(A) 不同材料之間，晶格的長度均相同 (B) 氮化鎵的晶格長度與藍寶石的晶格長度幾乎相同 (C) 一般而言，兩材料之間的缺陷愈多，發光效率愈差 (D) 古典電磁學理論可以完美解釋中村修二在藍光 LED 的發現。
- 下列哪一個不是探究的思考智能？
(A) 想像創造 (B) 建立模型 (C) 批判思辯 (D) 記錄量測。

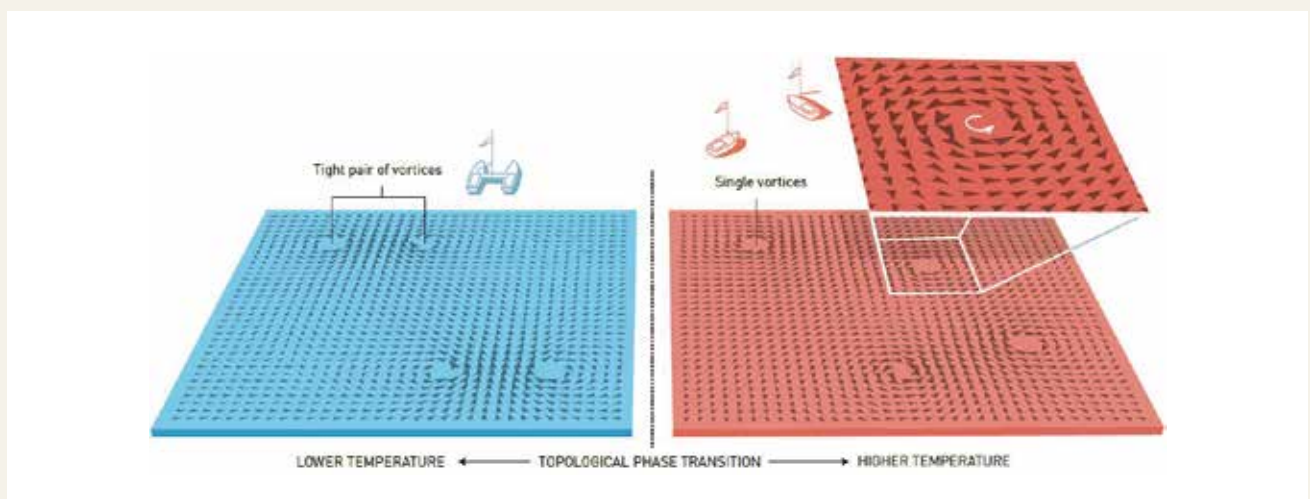
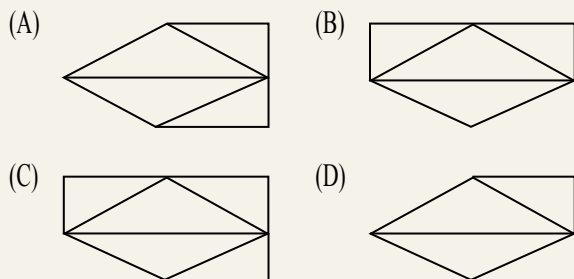


圖 3 拓樸相變理論應用在凝態物理。



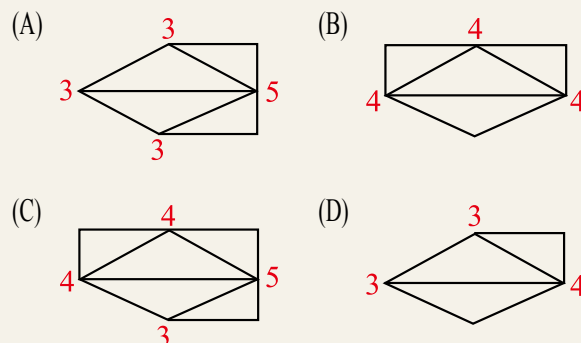
3. 下列關於相變的敘述，何者正確？
 (A) 物體吸熱必定升溫 (B) 物體升溫必定吸熱
 (C) 物體吸收潛熱，分子內能不改變 (D) 三態變化不是一種相變。

4. 根據本文，下列哪個圖形可以用一筆畫完成？
 (跨領域命題)



5. 下列哪一個現象是量子霍爾效應的特性之一？
 (A) 絕對性 (B) 連續性 (C) 機率性 (D) 巨觀性。

4. 依據一筆畫的原則，只有存在一個以下的奇數頂點，才能有解，



所以答案選 (B)。

5. 量子霍爾效應是量子效應的一種，所以有 (A) 相對性；(B) 不連續性；(D) 微觀性。

答案

1. (C) 2. (D) 3. (C) 4. (B) 5. (C)

解析

- (A) 不同材料之間，晶格的長度不一定相同。
 (B) 氮化鎵的晶格長度與藍寶石的晶格長度不相同，有明顯差異。
 (D) 古典電磁學理論無法解釋中村修二在藍光 LED 的發現。
- 探究的四大思考智能包含：想像創造、推理論證、批判思辯與建立模型。記錄量測屬於實作的部分。
- (A) 物體吸熱可能升溫或產生相變。
 (B) 物體升溫可能吸熱或外界作功。
 (C) 物體吸收潛熱，分子內能不改變，吸收之能量在增加分子間之位能。
 (D) 三態變化是一種相變。

參考資料

- 2016 諾貝爾物理獎
https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2016/
- 維基百科「拓樸學」
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8B%93%E6%89%91%E5%AD%A6>
- 余海峰，泛科學
<http://pansci.asia/archives/106857>
- 王尊信，龍騰出版社，物理搜查線第 17 期，「物理特色課程之策略與實作—以科技議題評論為例」

圖片來源

圖 1：諾貝爾獎官網

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2016/

圖 3：諾貝爾獎官網

https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2016/fig_fy_en_16_phasetransition.pdf

專案特搜②



單位人生

大甲高中 / 教師 姚聖威

前言

希臘哲人柏拉圖（427～347 B.C.）曾說：「『度量、計數、秤重』是消除感官錯覺的最好方式。」在中國歷史，有記載顯示集合通曉天文、樂律的儒家學者百餘人，利用黍米與音律相互校正的辦法，確定了長度、容積和重量三個方面度量單位。在科學技術水平較低的古代，這種做法實在相當超前。記載具體操作，是用以校準樂器聲音高低的雙開口「律管」，如圖1所示，經多次測試與歸納，找出它物理學特性，當管徑不變，發音頻率與管長四倍成反比關係。與近代用光波在真空中前進的距離來制定長度公尺的思維方式如出一轍，且超前好幾百年。但這未必完美，因為律管很容易受到吹氣鬆緊、溫度等影響，無法提供穩定結果數據，這樣可能會成為現代科學家的夢魘。

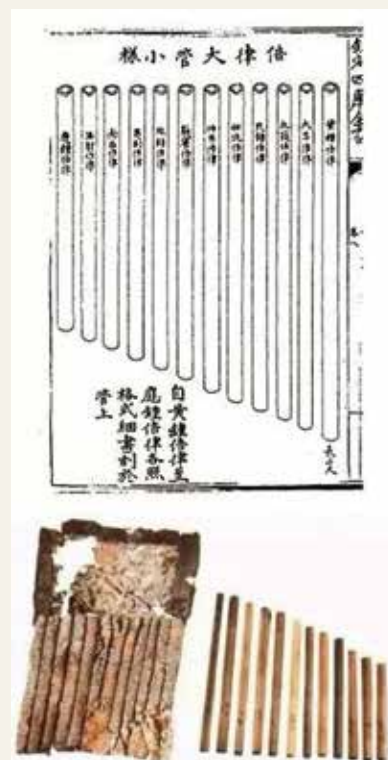


圖1 古籍記載中的律管與出土實物。



單位的重要性

世界通用標準國際單位以「公斤」作為質量的單位，如圖 2 所示，在高中物理課程中與它相關的測量單位相當多，也代表它有巨大的影響效力，例如力學單位「牛頓」($F=Ma$)。甚至影響著牛頓單位衍生出的關係單位，如壓力單位「帕斯卡」($P=\frac{F}{A}$)，還有能量單位「焦耳」($W=FS$)和熱量單位「卡」($H=msT$)也缺少不了它，焦耳又被用來定義能量效率的單位「瓦特」($P=\frac{W}{t}$)，瓦特又是亮度單位「燭光」定義的一部分，這正證明一個質量單位的改變，對於講求精密測量的學術研究，醫學界、工程界等的科技也會隨著改變，也因此單位有著蝴蝶效應的魔力。

生活中的單位

度量衡制定出的「單位」就如同陽光、空氣、水一樣，影響我們的生活，讓我們跟自然環境存在的事物能產生真實具體的關聯，方便於人類體會、描述、應用、溝通與規格化。

母親懷胎十月的過程當中，透過超音波、胎心音(BPM, bits per minute)的測量，並透過擴音設備傳遞出強而有力、咚咚作響的心跳聲波動(頻率, frequency)，令人真實地感受到生命的脈動。規律性的陣痛，是新生兒即將和這個世



圖 2 差一點，影響跟著來。

界見面的前奏，父親在產房外來回踱步，血壓(毫米汞柱, millimeter of mercury)隨著分秒的流逝而升高，如圖 3(a) 所示。終於，從產房內傳出宏亮哭聲(分貝, decibel)，如圖 3(b) 所示，孩子張開那充盈如湖水似的雙眼，世界早已準備好照亮新生命的光明(功率, power；光通量, luminous flux；燭光, candle power)。

爸媽布置溫馨的育兒空間(坪, level ground)、為孩子準備柔軟舒適的嬰兒床(呎, foot；吋, inch)、各種新奇的電動玩具(電壓, voltage；電流, electric current；電阻, electric resistance)、提供孩子探索世界的媒介；為了防止電磁波的傷害，以電磁防護衣來保護胎兒(電磁輻射 $\mu W/cm^2$ (微瓦特/平方公分))。



圖 3 (a) 血壓讀數可讓我們了解動脈循環的壓力。
(b) 為聲音強度，接收聲波的物體表面上，每單位面積在每秒內所得到的能量。

家中因為新成員的加入而歡欣，長輩準備黃金鎖片（K 金）表達對新生兒的滿滿祝福，大家把酒言歡（體積濃度百分率，the percentage of volume concentration），父親拿起新買的高階手機，拍照（像素，pixe）、錄影（HD，4K resolution）、記錄（位元，bit）令人感動的時刻，如圖 4 所示，並上傳（頻寬，spectral bandwidth）至社群網站，與大家分享喜悅。

幫孩子記錄成長曲線身高（長度，length）與體重（重量，weight），如圖 5 所示、計算每日應攝取的熱量（卡，calorie）、以牛奶（毫升，milliliter）與營養品調出黃金比例（濃度，concentration），如此細心的哺育下，孩子一日比一日成長茁壯。當孩子著涼感冒甚至高燒不退，焦急的母親拿著溫度計測量體溫（攝氏溫度，centigrade temperature），直奔醫院就診後，



圖 4 (a) 以 0 或 1 來表示電子訊號。記憶體儲存的最小單位。
(b) 畫素為組成畫面的基本單位，簡單地說，一個畫面是有多個「點」所組成。畫素決定解析 (Resolution)，一般以每英寸有多少點 DPI(Dots Per Inch) 來表示，數值愈高表示愈精細。

並仔細核對藥品劑量（毫克，milligram），遵照醫囑，讓孩子按時服藥以盡快恢復健康。定期的牙齒檢查也是不可少的，擔心 X 光（劑量當量，dose equivalent；西弗，sievert）對稚嫩身軀產生傷害，牙科器械使用音波震盪頻率（頻率，frequency）所產生的聲響讓看診的孩子心生恐懼，常使每次的檢查總如同暴動一般。

氣象報導（壓力帕斯卡，pascal，Pa）顯示假日天氣晴朗，如圖 6(a) 所示，父親計畫帶大家去露營，攜帶行動電源（毫安培 - 小時，milli-ampere-hour，mAh）至加油站加滿油（加侖，gallon）後載著全家出遊，一起探索多采多姿的世界。車輪（轉速，rotating speed，rpm）賣力地加速（加速度，acceleration， m/s^2 ）往前奔馳（速度，velocity，km/h），如圖 6(b) 所示，終於抵達目的地。夜晚躺在草原上仰望星空（天文單位，astronomical unit；光年，light year），對著劃過天際的流星許願。有時一起到球場，為支持的球隊加油，當打者擊出全壘打（英里，mile），父親興奮地舉起身邊的孩子轉圈（牛頓，Newton）。返家後的沐浴時間是令人期待的時

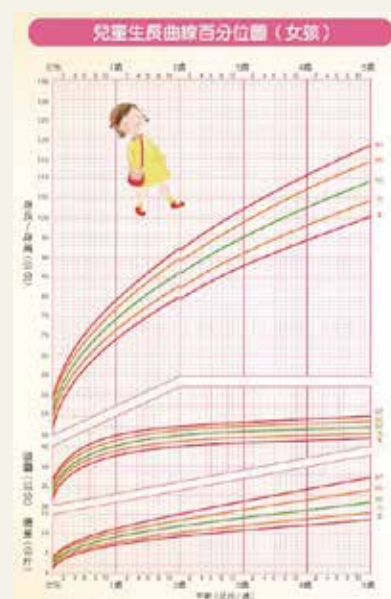


圖 5 利用不同年齡生長速度的不同，可評估生長問題。



刻，一缸溫水倒入中性清潔用品（pH 值，pH value）享受泡泡澡（一度，degree）帶來無比的放鬆與愉悅，如圖 6(c) 所示。就寢前使用空氣清淨機（PM2.5，顆粒物質，particulate matter），維持空氣的清新，不計電費（千瓦小時，kWh；焦耳，joule）多寡，讓家人一夜好眠，如圖 6(d) 所示。這些成長過程中的點點滴滴，除了以相機留下感動瞬間，有時還以紙張（A4、B4）寫下孩子的成長札記，留下親子間最感動的回憶。在父母心中孩子是上帝費盡心思用原子（莫耳，mole）排出的精緻傑作，因此用心培育，希望未來沒有戰爭，沒有核災（貝克勒，becquerel，

Bq）的威脅，孩子的成就能如同鑽石般（克拉，carat；折射率，refractive index）閃爍耀眼光芒。由此可知，生活中的大小事件、食衣住行等，在在都與「單位」息息相關！

單位統一的重要性

在便利交通及網際網路發達的現代，世界已是一個地球村，因此在度量衡方面的使用也要透過制定統一單位來促進國與國之間的交流與合作，國際單位制便應運而生。採用國際單位制，其主要優點是它很明確的澄清了量和單位之間的



圖 6 (a) Pa = pascal (帕) = $1 \text{ (N/m}^2\text{)}$ ，hPa (百帕) = $102 \text{ (N/m}^2\text{)}$ ，hPa = mb，這為現在氣象學使用的單位，而 psi = lb/in²，常用於工業。
 (b) 轉速 (rotating speed) 為物體在單位時間內繞軸旋轉的次數，單位有每分鐘轉速 (RPM) 或每秒轉速 (rev/s)。
 (c) 自來水之計算單位，一度為 1,000 公升。
 (d) 電能計算單位，1 度電 = 1kwh (1 仟瓦特·小時) 為耗電為一千瓦的電器使用一小時所需電能。

概念，使科學技術運用在生產、國際貿易和日常生活當中等包含所有方面的計量單位能加以統一，此舉不但消除多種單位制和單位並用下，所帶來很多不合理甚至矛盾的現象，再加上國際單位具有嚴密而簡明的特點，大大簡化了物理規律的表現形式和計算過程，使得在進行很多不同單位制與單位之間的換算關係時能更加簡便、更有效率，對於全球經濟體系而言更加快速與便利，不但使全球經濟更活絡，對於國與國之間的科學技術交流與合作，也提供相當大的助益。

附錄

單位的迷人之處在於它能將事物具體呈現，除了可量化的各式單位：如長度、重量等度量衡之外，也有人嘗試將感官所感知的情境，制定出情境單位。起源來自網路上一封標題為「疼痛單位」的郵件，其內容是以拔掉一根鼻毛所帶來的疼痛，以鼻毛為單位，加以量化，希望據以解決當人遇到無法妥善表達的情緒或感覺時，能借助此規格化的方法，讓旁人更能理解事件發生當下貼近真實的感受，達到「感同身受」的目標。且本人對於這種能表達感受的情境單位甚為著迷，發展出相當多的另類單位，如圖 7 所示，例如假日去動物園參觀，看到平時總是懶洋洋蜷縮在一旁睡覺的熊貓不但醒著，而且還在園區內活動，不禁大呼「實在太幸運啦！」據此所制訂出幸運單位，如圖 8 所示。另外尚有許多配合生活情境的各式單位：如貼心單位、可怕單位、焦急單位等令人噴飯的指數。但這純屬博君一笑，畢竟感受還是因人而異，就算透過情境量化、規格化仍會因個別差異而產生不同的結果。



圖 7 幸運指數。



圖 8 本書彙集 BS 富士電視臺播放「寶島的地圖」系列裡「STNK—世界單位認定協會」單元的精彩內容成冊出版。

圖片來源

圖 1：<http://www.aiweibang.com/yuedu/52128280.html>

圖 2～圖 4：shutterstock 網站提供

圖 5：http://health99.hpa.gov.tw/OnlinkHealth/Quiz_Grow.aspx

圖 6：shutterstock 網站提供

圖 7～圖 8：五月女桂子，世界單位認定協會，格林出版社



2016 升級大改版 lungteng 5.0 龍騰官網

<http://www.lungteng.com.tw/>



產品總覽

三步驟／輕鬆選書

1. 點選產品總覽
2. 選擇科目
3. 瀏覽書籍介紹

教學資源

選擇科目／檔案下載

1. 點選教學資源
2. 選擇科目
3. 檔案下載



為孩子打開通往世界的大門



- 幼兒園預計於106學年度（2017年9月）開學。
- 小學、國中、高中預計於107學年度（2018年9月）開學。

- 幼兒園 (02) 8195-8866
- 小學～高中 (02) 8195-2022、(02) 8195-2033



康橋 雙語學校