

# 演示實例之理解與誤解:以「喝水鳥」與「愛情溫度計」 為例

張慧貞

國立彰化師範大學物理系  
wjnchang@gmail.com

(投稿日期: 民國 103 年 12 月 30 日, 接受日期: 104 年 08 月 05 日)

**摘要:** 演示實例雖然在物理課堂逐漸受到教師與學生的青睞, 但其背後的原理, 往往被過於簡化, 甚至誤導。本文透過「喝水鳥」與「愛情溫度計」的操作原理探討, 突顯出演示實例在探討原理時, 所可能犯的問題, 包含違反了原理的適用條件, 或是未能分辨關鍵原理與次要原理。表面現象類似的實例, 其原理可能迥然不同; 而相同原理也可能適用於現象差異很大的實例。藉由本文, 作者呼籲教師或教科書的撰寫者, 應採用更嚴謹的態度, 來探討示範實例背後的原理, 才能引領學生深入理解原理內涵, 更進一步, 啟發學生深入理解的學習觀。

**關鍵詞:** 物理演示、概念理解、喝水鳥、愛情溫度計

## 壹、前言

物理課堂引入「演示實例」, 具有很多教學上的價值, 包含 1) 連結物理知識與生活之相關性, 2) 突顯物理課的價值, 也能 3) 提升學習興趣, 更進一步 4) 讓概念具體化, 以促進思考與理解(Muncick, et al., 2001; 張慧貞, 2007)。然而, 示範實例背後所蘊含的原理, 可能會超乎教師所理解的複雜, 市面上的科普資料, 對生活實例的解釋往往也過於簡化,

未能善盡詳加闡述的功能。導致許多似是而非的說法, 一不小心, 就可能誤導學生對於物理概念的理解。

本文以「喝水鳥」(圖 1) 及「愛情溫度計」(圖 2) 兩項好玩的科學玩具為例, 詳細闡述了背後的物理原理, 並反駁科普資料中常見的迷思。例如:「百度知道」<sup>註 1</sup> 將「愛情溫度計」與「溫度計」做連結, 誤以「**熱脹冷縮**」來解釋; 也有大學網站採用「**理想氣體方程**」( $PV=nRT$ )來解釋「愛情溫度計」;

另也有個人教學網站，將「喝水鳥」內液體上升的現象(很粗的管子)，誤認為是「毛細現象」。再如，維基百科<sup>註2</sup>將「喝水鳥」的「永動現象」，用一個「熱機原理」的術語帶過，也可能造成讀者之迷惑。因為網站上未能釐清此項玩具與常見「熱引擎」(heat engine)操作機制的分歧，後者透過「熱力學循環」(thermodynamics cycle)促成「熱」轉換為「做功」的機制，並不適用於「喝水鳥」中。



圖 1：喝水鳥。

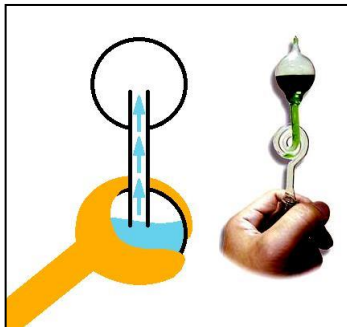


圖 2：愛情溫度計教具

## 貳、「喝水鳥」的原理闡述

生動而神奇的喝水鳥，究竟是什麼原理能讓它「永動」呢？造成喝水鳥持續運動的因素，固然不只單一項，但最主要的並非「熱脹冷縮」或「氣體方程」，管內液體之上升，更非「毛細現象」。很多時候我們直覺的猜測往往是不正確的，透過仔細思索，才能洞察真正的關鍵因素。

喝水鳥內含高揮發性的液體，如乙醚。操作時將喝水鳥頭部完全進入水中而濕透

(如圖 3 所示)，因濕透而開始蒸發，水從液體變成氣體之過程，需吸收的熱稱作氣化熱，故蒸發使頭部降溫，造成喝水鳥上下溫差，溫差導致喝水鳥頭部與身體內部氣體有壓力差，故能推動乙醚往上跑至頭部，頭部因此重量變重而傾倒、低頭再次喝水。

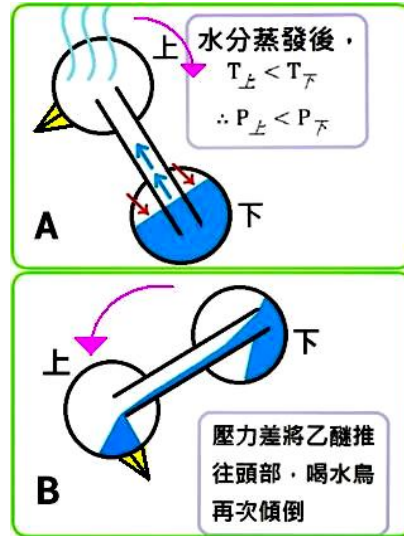


圖 3：喝水鳥操作之示意圖

乙醚沸點為  $34.6^{\circ}\text{C}$ ，接近室溫，會有明顯的氣化現象；而在沸點附近，容器可容納的氣體易呈現飽和狀態，「飽和蒸氣壓」隨溫度之增加而快速上升。當喝水鳥的頭部降溫，導致「飽和蒸氣壓」快速下降，由原本上下平衡的狀態，變成下端壓力比上端大，於是喝水鳥容器下端較大的「飽和蒸氣壓」，便將乙醚再度往上推動。第一次使用的人常常以為有沾到水就好，其實是要讓喝水鳥頭部充分濕透，再等一下後，因蒸發而使頭部溫度明顯降低，隨後喝水鳥才會開始動作。

由圖 4 飽和蒸氣壓與溫度的關係曲線圖可以看出，在低溫時壓力比較平緩，變化比較沒那麼劇烈，但在接近沸點時，「飽和蒸氣壓」與便會隨溫度之上升而急速上升。圖 4 顯示在  $20^{\circ}\text{C}$  至  $30^{\circ}\text{C}$  間、乙醚(Ether)快達沸點時，「飽和蒸氣壓」曲線已十分陡；喝水鳥因頭部蒸發造成上端和下端的溫差約為

$\Delta T \sim 10^\circ\text{C}$ 之內，假設蒸發後喝水鳥上下端之溫差 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ ：取室溫  $30^\circ\text{C}$ ，頭部蒸發後  $20^\circ\text{C}$ ，因此圖 3 中閃電框起的範圍，X 軸為 20 度到 30 度，而 Y 軸壓力差約 200mm-Hg，

變化之比例為  $\frac{\Delta P}{P} = \frac{200}{450} \sim 44\%$ ，比例非常

顯著，故可以快速將乙醚往上推動，因此「飽和蒸氣壓」隨溫度之劇烈變化，為喝水鳥運作之主要關鍵，使其能在微小溫度變化下，維持「永動」。

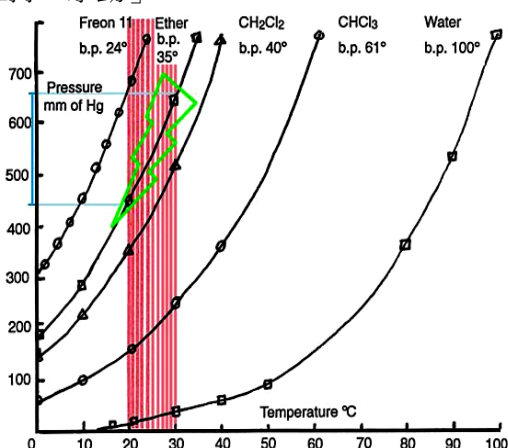


圖 4：「飽和蒸氣壓」與溫度之關係，此曲線圖修改自 Mentzer (1993)。

周延地說，喝水鳥的操作原理為：因 1) 「毛細現象」吸水上使頭部潤濕後，慢慢開始「蒸發」，而降溫使得喝水鳥上下產生溫差(頭部比肚子冷)，2) 上端的「飽和蒸氣壓」比下端的還小；而下端相對來講比較熱，較靠近乙醚沸點，3) 因此乙醚會被下端急速上升的「飽和蒸氣壓」壓上去，壓上去後頭重腳輕，使喝水鳥前傾、再低頭喝水，喝完後又起來(類似槓桿的現象)，做循環動作。

對於液體的氣化現象，學生也常抱持著未達沸點，就不會氣化的迷思。以水為例，在一大氣壓下，水的沸點是  $100^\circ\text{C}$ ，不到沸點的時候(如  $80^\circ\text{C}$ )，水會不會「氣化」呢？很多學生誤以為，不到沸點就不會氣化。由上述的「飽和蒸氣壓」(圖 4)可釐清，即使

未達沸點，還是會有部分的氣化現象，只是未能 100% 氣化。而它會氣化多少，則和外面的蒸氣壓有關，比如越乾燥的地方就會越容易氣化(蒸發)，若外面濕氣已經很重，就較不容易蒸發。所以，乾燥地區人體易透過汗腺蒸發水氣，使體溫降低，人因此感到較為涼快，此時的氣溫當然遠低於水的沸點，但仍然有部份之水可以蒸發。

為了促進課堂教學的成效，Güemez et al., (2004)也建議製作大型「喝水鳥」教具的方法，並探討維持「永動」之另類途徑，值得參考。

### 參、「喝水鳥」的常見誤解

「喝水鳥」的原理，常被誤以為是「熱脹冷縮」或是「理想氣體方程」，兩者不適用於此一實例的原因說明如下：

首先，「喝水鳥」的主要原理並非「熱脹冷縮」，科學術語稱為「熱膨脹」(thermal expansion) 原理，其原因闡述如下：

1. 所占影響比例太小，且「熱脹冷縮」僅適用於液體或固體。喝水鳥因為頭部蒸發造成上端和下端的溫差約為 $\Delta T \sim 10^\circ\text{C}$ 之內，而乙醚液體熱膨脹係數為  $0.00160/^\circ\text{C}$ ，得知因為溫差造成的體積膨脹大概是  $0.0016 \times 10 \times 3$  倍 = 0.048，也就是體積膨脹了 4.8%，數值上太小，不足以使乙醚因此向上推動。
2. 物體會「熱脹冷縮」原因是來自束縛能的變化(固體液體分子間才有分子鍵；氣體沒有)；而「熱脹冷縮」原理是，分子鍵束縛能和分子間距的函數關係並不對稱，如圖 5。

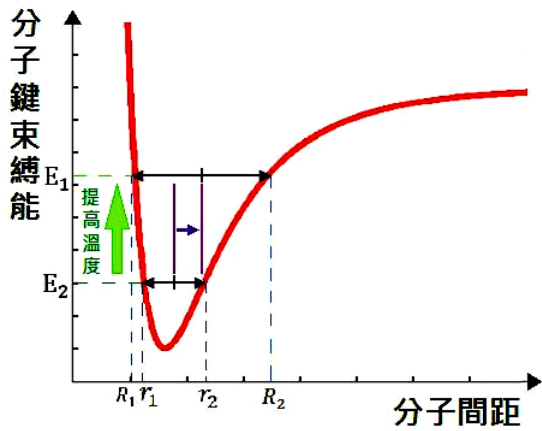


圖 5：分子鍵束縛能與分子間距之關係曲線圖

藉此，也須釐清「熱脹冷縮」的原因 (cause)。如圖 5 所示，束縛位能是負的能量，且束縛能之函數左右不對稱，左邊比較陡，右邊比較平緩 (Atkins & Jones, 2005, p.151)。假設  $E_1$  是溫度  $T_1$  時對應到的束縛能， $E_2$  是  $T_2$  時對應到的束縛能，且  $T_2 > T_1$ ，可知  $T_1$  時，溫度比較低，總能量也較低，只能在  $r_1$  到  $r_2$  範圍內振盪（最小可以振到  $r_1$ 、最大振到  $r_2$ ），而我們觀察到的物體大小是其平均值：

$\frac{r_1 + r_2}{2}$ ；若在相對高溫  $T_2$  的時候，分子間距就會介在  $R_1$  與  $R_2$  之間，其最小值  $R_1$  會比  $r_1$  小、最大值  $R_2$  也會比  $r_2$  大，但因束縛能對分子間距，右邊部份比左邊部分平緩，所以最遠距離的增加幅度  $|R_2 - r_2|$  比最短距離的增加幅度  $|R_1 - r_1|$  要大，因此  $\frac{R_2 + R_1}{2} > \frac{r_2 + r_1}{2}$ ，可以發現人感覺到的

物體大小，在相對高溫  $T_2$  時較大。束縛能函數的不對稱性對「熱脹冷縮」的效果是非常關鍵的：「熱脹冷縮」的原因就是相對高溫，圖 2 中紫色箭頭所示， $T_2$  時的距離平均值大於  $T_1$  時的距離平均值。

但是「束縛能對分子間距的函數關係」只能適用在固體和液體，不能用在氣體：因為氣體分子是自由的，彼此間束縛力可以忽

略，因而不適用「熱脹冷縮」之原理。

那麼，氣體因升溫而膨脹之現象，又該如何解釋呢？氣體因升溫而膨脹的現象，不能以分子鍵模型 (圖 5) 來解釋，因為「氣體模型」被視為不受束縛的自由彈力球，不像固體液體具分子鍵，因此在模型上就不相容。同時，固體液體變因很單純，體積直接跟溫度「變化量」成正比 ( $\Delta V \propto \Delta T$ )；而氣體的體積跟溫度「絕對量」成正比 ( $V \propto T$ )，並且它還受壓力 (P) 影響。所以，氣體之受熱膨脹需用到「理想氣體方程」( $PV=nRT$ ) 來解釋。

然而，喝水鳥運作原理，透過「理想氣體方程」( $PV=nRT$ ) 來解釋，其模型雖然符合，仍非主要影響之關鍵，因為數值變化太小。根據  $PV=nRT$ ，當壓力 P 平衡時，上下端 P 相等，所以  $V \propto T$ （其中之溫度須採「絕對溫標」；且若未考量「飽和蒸氣壓」的影響，則會將喝水鳥內的氣體莫耳數 n 視為常數），同樣假設喝水鳥上下端之溫差  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ ：取室溫  $30^\circ\text{C}$ ，頭部蒸發後  $20^\circ\text{C}$ ，此時下端與上端的體積比值： $\frac{V_{下}}{V_{上}} = \frac{273+30}{273+20} = 1.034$ ， $\Delta V = 3.4\%$  仍太小，不符合喝水鳥真實運作情況。

由上述得知「熱脹冷縮」和「理想氣體方程式」皆不足以充分解釋喝水鳥的運作，而關鍵原理則是，「飽和蒸氣壓」在靠近沸點附近，會隨溫度的上升而快速上升的趨勢 (如圖 4 所示)。

#### 肆、「愛情溫度計」之原理

「愛情溫度計」(如圖 2) 的原理也與喝水鳥「飽和蒸氣壓」原理相似。當手捏住愛情溫度計的下端時，液體會快速的竄上去。「愛情溫度計」是直接用手觸摸，製造溫差：手握住愛情溫度計下端的時候，使得下端溫度上升，而下端的溫度比上端高，因此

「飽和蒸氣壓」也會比上端大上許多，所以蒸氣壓便將液體往上壓。

「愛情溫度計」的原理和喝水鳥相近，同樣都運用到「飽和蒸氣壓」，但沒有喝水鳥那麼複雜，愛情溫度計為直接用手製造溫差，使之運作。相同地，「熱脹冷縮」或是「理想氣體方程」也是常被誤用的不恰當原理，應該避免。

## 伍、結論及教學啟發

- 1.由本文所舉的兩項實例顯示，物理演示往往內含多重原理，為了分辨出關鍵原理，(如飽和蒸汽壓)，及次要原理(如「理想氣體方程」，甚至不適用之原理(如套用「熱膨脹原理」於氣體中)，教師需詳加查閱文獻，仔細思考與釐清。而網路上隨手可得的資料，更須謹慎判斷其合理性之後，才能引入課堂中。
- 2.對於示範實例的原理，常出現的誤解，除了對於原理內涵的理解不夠深入之外，相似情境的不當聯想，可能也是常見的原因(Roth et al., 1997)。例如，將「愛情溫度計」與「溫度計」做聯想，因而誤用了熱膨脹的原理。透過實例的探討，也可以提升學生觀察現象的敏感度，逐漸掌握觀察的要點，而非僅“看到”表面的現象。
- 3.演示實例可以協助理解原理之「內涵」，包含：原理之原因(why)、意義(what)、限制(when)、與應用(what's for)，並辨別相關原理間之相同/相異點。上述之內涵，卻往往被教師(或教科書)所忽略。例如，「理想氣體方程」與「熱膨脹」因為「原因」(模型)之不同，「意義」與「限制」就不同，使得氣體之膨脹，必須採用「理想氣體方程」。有關演示實例原理內涵之理解與誤解，作者另有兩篇論文，透過多項生活實例做

詳細之論述並連結公式之運用，分別針對「靜電學」(Chang, 2011a)與「熱力學」(2011b, 2011c)、及作詳細之論述。

- 4.示範實例經由仔細釐清其原理的過程，便可促成深入體會原理內涵之教學目標，因而具有相當重要的教學功能。所以，教學上引用是示範(或生活)實例時，應避免僅給予一個「熱門術語」(big word)，誤導了學生「套招」與不求甚解的背誦陋習。而應引領學生仔細探討、理解適用的原理，體驗科學推理的精緻過程。因此，不但在科學概念有所收穫，也可啟發學生追求理解的學習策略。針對演示實例，常被不恰當地套用熱門術語的問題，作者另有一篇專文(張慧貞, 2015)，透過文獻提出詳細的評論與更正，包含「慣性」、「白努力」原理…等。

### 註 1

「百度知道」是互動式知識平台，由眾多用戶自行提問與提供解答，百度則提供網站和網頁的支持維護以及搜尋功能。有關「愛情溫度計」原理之解釋請參閱網址 <http://zhidao.baidu.com/question/102812207.html>

### 註 2：

「維基百科」有關「喝水鳥原理」之誤解，請參閱網址 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A5%AE%E6%B0%B4%E9%B8%9F>

## 致謝

本文承蒙國科會專案研究計畫 (MOST 103-2511-S-018 -002 -MY3) 之補助，及王譽潤協助圖文之編輯，僅此誌謝。

## 參考文獻

1. 張慧貞 (2015). 教科書對於演示實例之理解與誤解. *物理雙月刊*, 37(3), 6-20.

2. 張慧貞 (2007). **創新物理教材教法：理論與錦囊**。台中：逢甲大學出版社(敦煌書局經銷)
3. Atkins, P. & Jones, L. (2005). *Chemical Principles: The Quest for Insight*. New York: W. H. Freeman and Company.
4. Chang, W. (2011a). Integrating electrostatics with demonstration and interactive teaching. *American Journal of Physics*, 79(2), 226-238.
5. Chang, W. (2011b). Limitations and functions: Four examples of integrating thermodynamics. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 12(1), Article 10. On-line journal at [http://www.ied.edu.hk/apfslt/v12\\_issue1/changwj/index.htm](http://www.ied.edu.hk/apfslt/v12_issue1/changwj/index.htm)
6. Chang, W. (2011c). Teaching the First Law of Thermodynamics via real-life examples. *The Physics Teacher*, 49(4), 191-193.
7. Buncick, M.C., Betts, P.G., & Horgan, D.D. (2001). Using demonstrations as a contextual road map: enhancing course continuity and promoting active engagement in introductory college physics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1237-1255.
8. Güémez, J., Valiente, R., Fiolhais, C., & Fiolhais, M. (2004). A big sunbird. *The Physics Teacher*, 42(5), 307-309.
9. Mentzer, R. (1993). The drinking bird—The little heat engine that could. *The Physics Teacher*, 31, 126-127.
10. Roth, W.M., McRobbie, C.J., Lucas, K.B., & Boutonne, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 509-533.

## **Understanding and Misunderstanding of Physics Demonstrations: Principles of Drinking Birds and Love Thermometers**

**Wheijen Chang**

National Changhua University of Education, Physics Department  
wjnchang@gmail.com

### **Abstract**

Although demonstration examples have drawn interest from teachers and students in physics classes in recent years, the principles underlying demonstrations tend to be superficial. By means of discussing the principles of “drinking birds” and “love thermometers”, the author highlights the prevalent pitfalls that many teachers may have met in terms of misguiding the related principles of the two demonstration examples. Common problems appear to be either beyond the limitation of the adopted principles or fail to distinguish between major and minor factors. The contention of this article is that teachers or textbook authors should comprehend a more sophisticated attitude toward exploring the principles of physics demonstrations, in order to guide their students to grasp insights into physics principles, i.e., the *what, why, when, and what's for* of physics principles.

**Key words:** physics demonstrations, conceptual comprehension, Drinking birds, Love thermometers

