

成功開啟課堂對話之鑰：以熱力學為例

張慧貞

逢甲大學 光電系/物理教學研究中心

(投稿日期：民國 100 年 07 月 28 日，修訂日期：100 年 09 月 09 日，接受日期：100 年 09 月 20 日)

摘要：引導「課堂對話」，對於物理教學是一件重要卻困難的任務。本文首先根據文獻，簡述「課堂對話」對物理教學的重要性及預期成效。接著，分享五段作者教授普通物理之「熱力學」單元時，所經歷的「課堂對話」摘錄，分析教師在引導對話過程，所面臨的困境，及扭轉困境所採取的策略。最後，綜合出成功引導對話的要素：包含教師提問應具體明確、變因盡量簡化、搭配其它科學工具(如：圖表，或示範器材)、充分的思考時間、給予錯誤作答更正的機會、對話內容與評量緊密結合...等。藉由實例的分享，希望能鼓勵更多物理教師，投入心力以挑戰此項重要的教學任務，進而享受「有問有答」的教學樂趣。

關鍵詞：課堂對話、互動教學、熱力學、形成性評量

壹、前言

受到「建構主義」的影響，強調學習參與(learning engagement)的重要，引入「課堂對話」的教學策略，已逐漸受到物理教師的重視。引入「課堂對話」的目的，包含(1)協助教師了解學習盲點，以調整後續之教學設計，即所謂的「形成性評量」(formative assessment) (Bell & Cowie, 2001)；(2)強化學生的認知參與，藉由問與答的過程，促進學生動腦推理，以釐清物理概念 (Hake, 1998)，並熟悉科學表徵(如術語、圖表)之意義與用法 (Chang, 2011a; Roth & McGinn, 1998)；(3)在演講過程中，穿插問與答，可以

活化課堂活動，使上課變得有趣，注意力更加集中。

然而，成功引導課堂對話，卻是一件相當不容易的任務。教師在提問之後，所面對的往往是一片靜默的窘境，若抽點學生回答，則很可能是不符合教師所認定的「正確答案」。面對這樣的教學困境，很多教師會歸咎於學生程度，或學習動機的低落。這可能是事實，但也可能與物理知識的本質有關，Driver 等人 (1994, p.6) 強調：科學概念是由科學社群所建構(social construction)，故科學知識不可能透過個人的實證性探究(individual empirical inquiry) 而發現(discovery)。科學教師的角色須能為學生引介

(mediate)科學知識的工具與規範，而不是任由學生個人創造想法，來解釋外在的自然世界。因此，教師教學時，須能提供充分的科學工具(如：圖表、公式、示範器材)，學生才能進行符合科學規範的思考 (Airey & Linder, 2009; Leach & Scott, 1995)。

另外，根據「社會文化觀」的「情境化學習」(situated learning)的主張，認為科學知識常常是條件化的(conditionalized)(Lave & Wenger, 1991)，同一個科學概念、術語，在不同的情境中，其意義、詮釋、及推論結果會有所不同，學習科學須能是逐漸根據情境，掌握知識的合宜性與限制條件。而知識的「合宜化」(appropriation)往往超越絕對的「對錯」(absolute correctness)，因此，面對學生作出不同於「預期推論」的回答時，教師須審慎回應，琢磨其作答背後的根據，避免直接否定(張慧貞, 2009)。這一點概念會在「實例四」作詳細的詮釋。

作者投入物理互動教學超過 10 年(張慧貞 2007;Chang, 2005)，琢磨物理課堂對話的技巧。透過本文，分享幾段真實課堂的對話，分析所面臨的困境與所採取的策略，並歸納出成功對話的要點。

貳、本文

教師提問後，所不樂意見到的回應，包含「一片沉默」及「答錯」兩種。本文針對這兩類回應，分享「熱力學」的五段課堂對話，以詮釋教師如何扭轉教學困境，帶領學生，進行有效的科學推理(scientific reasoning)與對話。

實例一：何謂「比熱」？

首先，若教師的提問卻換來一片沉默，則可能是問題過於籠統，需要補充以使問題

更明確、或提供更多暗示，以誘導其思考的方向，開始對話之後，還需進一步引導，使其知識更加精緻化。例如：

- T1¹: 比熱是什麼?
 S1: ...
 T2: 水的比熱是多少?
 S2: 1
 T3: 1 代表什麼意思?
 S3: ...
 T4: 1 的單位?
 S4: 克...
 T5: (寫出 $1 \frac{\quad}{\quad}$)，克是在分母或分子?
 S5: 分母
 T6: 那分子是什麼?
 S6: 卡
 T7: 分母還少一項什麼?
 S7: 度 C
 T8: 好! 所以比熱單位怎麼唸?
 S8: 卡克度 C
 T9: 分子與分母需做區隔
 S9: 卡每克度 C
 T10: 好! 所以比熱之定義應為 $Q/m \cdot \Delta T$
 (單位質量，升高單位溫度，所需的熱量)
 T11: 分母的地方是溫差，不是溫標，所以單位應修改為...
 S11: C 度(而非度 C)
 T12: 正確

上述的對話顯示，T2, T4, T5, T6，皆針

¹ T 表教師，S 表學生，S1, S2...之編號，表示對話之順序。

對 T1, T3 的提問，補充更多的線索，以開啓有效的對話。而 T9, T10, T11 則引導學生對「比熱」的定義，更加精緻化。

實例二：比較材料之熱導係數

有時候，學生無法作答是由於問題過於複雜，或變因過多。此時，教師可將變因簡化，以促成有效之思考。例如：

T1: 請比較下列材料的熱導係數大小:

- 1.金 2.銀 3.鐵 4.鋁 5.冰 6.水
7.木頭 8.空氣

S1: ... (30 秒, 無人回答, 故需簡化變因)

T2: 1234 會比 5678 大還是小?

S2: (全班)大

T3: 沒錯。所以，固體、液體、氣體，之熱傳導係數之關係為何?

S3: 固體>液體>氣體

T4: 對! 現在先來比較 1234 的大小

S4: (等待 10 秒... 指名作答)

2>1>3>4

T5: 只錯了一個地方，給你更正的機會...，修改一個你較無把握的順序

S5: (等待 20 秒...) 2>1>4>3

T6: 非常好，完全正確。通常材料越貴熱導越大，但銀的熱導最好，銀比金大

T7: 同時，鋁比鐵大很多，故電器的散熱片，大多是鋁片，而不是鐵片。

本題之答案為：銀>金>鋁>鐵>冰>水>木頭>空氣，教學目的為統整材料熱導係數之

重要知識，包含：1)固>液>氣，2) 銀的熱導最好，3)鋁的熱導比鐵好，為散熱片之主要材料。上述對話顯示，教師藉由 T2 使問題簡化，獲得了 S3 的正確回應。同時，教師對於 S4 的錯誤並未直接更正，而是藉由 T5 給予學生暗示及修正的機會，成功彌補了 S4 的錯誤，進而突顯出 T6 及 T7 之教學重點。

上述兩個實例，皆為記憶性的問題，以下實例則需要學生進行思考推理，屬於較高階層的認知操作。

實例三：等溫線與絕熱線

對於概念較抽象或推理較複雜的問題，往往需要教師 1)提供具體的科學工具(或稱「知識表徵」)、2)給予學生充分的思考時間、3)在其答錯之後，補充更多暗示與引導，才能達到成功的課堂對話，促成有效的思考。例如：

熱力學第一定律($Q=W+\Delta U$)單元，涉及等溫之「做功」推演

($W = \int PdV = nRT \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$)。在教師持續推

導約 20 分鐘之後，可引入以下對話，以活化課堂活動，維持學生之注意力，促進思考，並連結「等溫」與「絕熱」之關係。

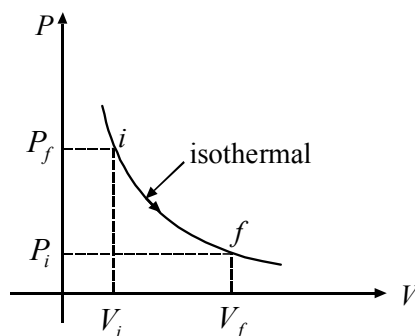


圖 1：等溫過程的 P-V 關係圖

- T1: 圖 1 顯示「等溫膨脹」的 P-V 關係圖，若由 i 點狀態開始，經過「絕熱膨脹」，則應落於等溫線之上方或下方？原因為何？
 安靜想 1 分鐘，答對者加分
- S1: (自動舉手作答) 上方
- T2: 為什麼在上方？(錯誤答案，但先不判定其對錯)
- S2: 因為絕熱 $Q=0$ ；還有膨脹作正功 $W:+ \dots$
- T3: 推論方向是正確的，你是想從哪一個定律來推導？
- S3: 第一定律
- T4: 好！先列出定律公式
- S4: $Q=W+\Delta U$
- T5: 所以 $Q=0$ ， W 為正，則...
- S5: ΔU 是負的
- T6: 沒錯，所以絕熱線應落於等溫線之上或下？
- S6: ... (約 20 sec)，應該改成下方 (註: ΔU 是負的表示氣體溫度下降，因此 P-V 曲線會降等溫線之下)
- T7: 答對了，你原先雖然答錯，但推論的依據正確，最後還是可以發現自己的錯誤，做修正。

教師進一步引用圖 2(摘自 Serway & Jewett, 2006, p. 545)，比較「等溫」、「絕熱」、「定容」、「定壓」等四個過程之關係。

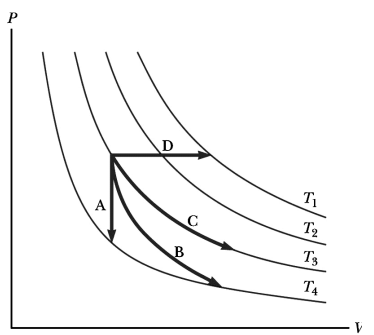


圖 2：熱力學四種不同過程之 P-V 關係圖

整題對話費時 4 分鐘，藉由教師與單一學生的問答與修正，成功刺激了班上多數學生的思考，複習了「第一定律」之概念。在 T1 及 T4，教師主動提出(或引導)熱力學的兩項重要科學工具，包含「P-V 關係圖」及「第一定律公式」，作為學生思考之必要媒介。同時，教師並未直接點出 S1 之錯誤，反而順勢引導其推理(S2~S5)，進而發現並更正自己原先的錯誤(S6)。

課堂對話若搭配示範實驗，則更能吸引學生參與的意願，但生活現象所涉及的變因，往往更加複雜，故難度反而高於純理論之推算，如下之實例。

實例四：CO₂上升或下沉？

- T1: 兩根長短不同的蠟燭，燃燒後何者先熄滅？
- S1: 高的... 低的...
- T2: 大家的意見不同，讓我們來表決。
- S2: 高的先熄(約 25 人)，低的先熄(約 8 人)(全班 55 人)
- T3: (點名作答) 你為何認為低的會先熄？
- S3: 因為 CO₂ 比較重，會下沉
- T4: (CO₂) 比誰重？
- S4: ...比空氣重

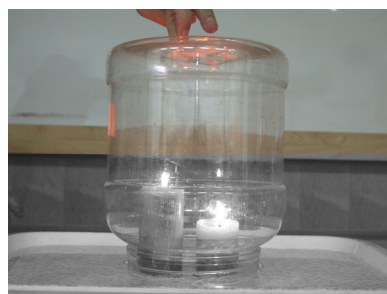


圖 3：蠟燭燃燒學「理想氣體方程」

- T5: 有道理，因為空氣包含 O₂ 及...?
- S5: N₂
- T6: 對，所以 CO₂ 比空氣重，CO₂ 會下沉，低的會先熄，讓我們看看結果...(結果高的蠟燭先熄，違反 S3 之推論)
- T7: 同學的推論邏輯沒錯，但卻與實驗結果不同。這是因為還有另一項與前面推論相**衝突的變因**，才會造成相反的結果。大家想一想，另一個變因是什麼？找出一個能涵蓋這兩個變因的**公式**，用來做推論...。

此時，教師發下預先準備好的學習單(共 6 小題)，進行小組討論(約 20 分)，並指定六組學生，分別上台作答。

本題涉及浮力原理，密度高的會下沉，而密度(ρ)由理想氣體方程($PM=\rho RT$)決定。其中分子量(M)與溫度(T)互為衝突變因。S3 雖考慮分子量 M 之影響，做了符合物理概念的推理($\rho \propto M$)，但卻忽略之另一更關鍵變因： $T \Rightarrow \rho \propto \frac{M}{T}$ ，故 M 與 T 為影響 ρ 之衝突變因。

透過現象與推論(S3)的衝突，教師再作引導(T7)，包含「多重變因」、及「引用公式推理」、鼓勵同儕討論、給予學生充分的時間、再搭配問題單、重複練習同一原理...等，均是促成有效對話，強化學習的媒介。同時，藉由 T1~T7 的鋪陳，學習單的討論，變得更加熱絡，而上台作答的結果也優於以往。

最後一個實例，則取材自原文教科書所附的習題(problems)，透過課堂對話，統整「熱學」與「電學」之生活實例，突顯原理的應用價值，也補充了教科書對習題敘述的不足。

實例五：熱機與發電廠

「熱機」(heat engine)與「發電機」有何關係？看似獨立的兩部機器，卻在現實生活中密切相關。以下對話逐漸引出兩者之關聯與差異：

T1: 發電廠通常建在什麼地點？

S1: ...

T2: 台中用的電，是從哪裡送來的？

S2: ...工業區

T3: 不是喔！發電廠會有大煙囪，有沒有印象，在什麼地方看過發電廠的煙囪？

S3: 海邊

T4: 答對了，那為什麼發電廠要建在海邊呢？

S4: 因為要利用海水冷卻

T5: 很好！那發電廠為何會排熱呢？

S5: 因為發電廠要燒煤碳，產生熱...

T6: 沒錯，但燒煤碳，產生熱的目的是要變成電，不是為了排熱...

S6: ...

T7: 發電廠如何由熱 \rightarrow ? \rightarrow 電? 請問發電機是將? \rightarrow 電?

S7: ...動能

T8: 很好！動能來自作功。所以熱 \rightarrow 電的過程，需拆解為熱 \rightarrow 作功(動能) \rightarrow 電

T9: 其中動能 \rightarrow 電是發電機，那麼熱 \rightarrow 功需要哪一種機器？

S9: 熱機(engine)

T10: 沒錯，所以發電廠=熱機+發電機

T11: 那為什麼要浪費海水來排熱呢？

Ex: 發電廠與熱機:

1. 發電廠為何常設於海邊或河邊?
2. 發電機與熱機之功能各為何? 如何搭配使用?



圖 4：坐落於海邊的發電廠

S11: 因為海水不用錢...

T12: 可是,「熱」是花錢燒出來的

S12: (約 10 秒...) 因為效率<100%

T13: 正確! 所謂「效率」是指哪一台機器呢? (手指著: 發電廠=熱機+發電機)

S13: 熱機

T14: 很好! 大家翻到講義(如下圖)寫上 發電廠=熱機(熱→功)+發電機(功→電), 其中的熱機效率必<100%, 這是符合卡諾定理 (Carnot Theorem) 的限制, 但發電機理論上可以 100%將 功→電。

T15: 課本的指定作業題, 需用到上述的觀念, 先推算熱機(engine)的效率(efficiency), 再求出發電廠排到海水的熱流速, 過程需假設發電機可 100%將 功→電。

全部對話, 在 5 分鐘內完成, 利用一連串的問題與答, 穿插在冗長的講解與推算之中, 可以令學生耳目一新, 並激發其好奇心。一個看似純計算的習題, 經過設計, 可以成為活化理論的生活化題材。挑戰學習盲點 (S4, S5), 並連結了「熱學」與「電學」。

上述對話中, 教師用了三個問題(T1~T3)

才順利引入主題, 再用 T7~T9 順利結合兩部機器, 並在 T11~T13 比較兩者之差異。最後, 再連結指定之作業題, 提昇課後練習的動機, 也突顯課堂對話的價值。

參、結論與討論

由以上五個實例, 詮釋出進行課堂對話的種種困難, 及扭轉困境的可行策略。首先, 要刺激學生願意開口, 就是一件困難的任務。除了實例四(蠟燭示範)之外, 其餘的情況, 都無法在第一個提問時, 就獲得回應, 但是透過問題的聚焦、具體化, 大多能順利提高學生的回答意願。

其次, 學生一開始的回答常出現錯誤, 或過於粗糙。面對學生的不當回應, 應避免直接否定(尤其是單一學生的回答), 而是提供引導及暗示, 給予修正的機會(如: 實例二 T5; 實例三 T2), 以提高其成就感。教師所提供的引導或協助, 除了口頭敘述, 還可以是公式、關係圖、示範器材, 甚至是手勢或動作..等(Roth & McGinn, 1998)。

第三, 課堂問答的問題可分為記憶性與推理性兩類, 前者可快速地問與答, 但對於需要思考或運算的問題, 則需給予學生充分的空白時間作推論(time for thinking), 並明確告知(如實例三 T1, 實例二 S5), 同時, 給予

的思考時間，教師應避免中途插話。

第四，問答可分為自由作答與指定作答，兩者可靈活穿插，以豐富課堂活動之形態，提高參與感，至於分數誘因(作答結果加減分)，則須謹慎使用，以免扼殺了學習興趣。作者通常在難度較高，且自願作答時，才會給予加分。

最後，為了突顯課堂對話的重要性，對話內容需能：1)連結後續之教學主題(如：實例一)、2)複習前一單元之意義與用法(實例四)、3)詮釋物理概念在生活之意義與應用(實例三、五)、4)與講義內容、作業、或考題相關(實例一~五)。如此，才能強化課堂對話的價值，誘導學生參與的意願，甚至好好地於課後，釐清課堂對話之概念與邏輯。將課堂對話的「生活實例」題材，融入考題設計的更多範例，請參閱作者的專書(張慧貞, 2007, p. 157-162) 及期刊論文(Chang, 2001b)。

成功進行「課堂對話」，是一件充滿挑戰的任務，但其背後所帶來的教學成效，卻相當誘人，一段精彩的對話，可以使冗長枯燥的課堂，頓時活絡，值得物理教師們努力嘗試。經過多年的開發與經驗累積，課堂對話已成爲作者教學的常態，每堂課必備幾個「腳本」(有時搭配道具)，並持續修改。藉由本文的分享，希望教師們能淺嚐其中的要訣與樂趣，但非依式套招。有些成功的「腳本」，換個班級卻無法施展。因此，課前周延的準備，與真實課堂的琢磨，才能漸入佳境，享受「有問有答」的教學樂趣。

致謝

本文內容承蒙國科會專案研究計畫(NSC97-2511-S-035-001-MY3)之補助，僅此誌謝。

參考文獻

1. 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)。
2. 張慧貞 (2009). “由學習理論的變遷探討大學物理教學革新動向”。課程與教學季刊 12(2), 頁 77-106.
3. Airey, J., & Linder, C. (2009). A disciplinary discourse perspective on university science learning: Achieving fluency in a critical constellation of modes. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(1), 27-49.
4. Bell, B. & Cowie, B. (2001). The characteristics of formative assessment in science education. *Science Education*. 85, 536-553.
5. Chang, W. (2005). The Rewards and challenges of teaching innovation in university physics: Four years' reflection. *International Journal of Science Education*, 27(4), 407-425.
6. Chang, W. (2011a). Integrating electrostatics with demonstration and interactive teaching. *American Journal of Physics*, 79(2), 226-238.
7. Chang, W. (2011b). Teaching the First Law of Thermodynamics via real-life examples. *The Physics Teacher*, 49(4), 191-193.
8. Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
9. Hake, R. R. (1998) Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses,

- American Journal of Physics, 66(1), 64-74.
10. Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
 11. Leach, J., & Scott, P. (1995). The demands of learning science concepts: Issue of theory and practice. *School Science Review*, 76(277), 47-52.
 12. Roth, W.-M., & McGinn, M. (1998). Graphing: Cognitive ability or practice? *Science Education*, 81(1), 91-106.
 13. Serway, R., & Jewett, J. (2006). *Serway's Principles of Physics: a calculus-based text*. Belmont, Calif. : Thomson/Brooks/cole.

Strategies to Successfully Conduct In-class Dialogue: Episodes of Thermodynamics

Wheijen Chang
Feng-Chia University

Abstract

Conducting in-class dialogue is crucial but challenging to physics instructors. This paper starts from describing the pedagogical reasons and expected outcomes of conducting in-class dialogue for teaching physics based on the literature. Then, the author shares five episodes in teaching thermodynamics, analyzing the challenges the instructor has encountered and the strategies to overcome the teaching barriers. Last, features of successfully conducting in-class dialogues are summarized, which include specifying the questions, simplifying the related variables, providing multiple scientific tools to facilitate reasoning, giving students opportunities to amend their responses, and merging the content of in-class dialogue to assessment design to highlight the status of in-class dialogue.

Key words: In-class dialogue, interactive teaching, thermodynamics, formative assessment

