

建構式物理教學的理論與實踐：以氣體動力論為例

張慧貞

台灣 台中市西屯區
逢甲大學物理教學研究中心

電郵：wjchang@fcu.edu.tw

收稿日期：二零零三年十月十一日(於二零零四年四月二十七日再修定)

內容

[緒論](#)

[教學現況與限制](#)

[教學單元實例](#)

[教材內容主題](#)

[教學流程與策略](#)

[學習成效評量](#)

[結論與討論](#)

[參考文獻](#)

[附註](#)

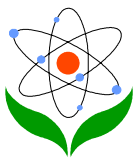
[附註 1](#)

[附註 2](#)

緒論

近年來，建構主義的蓬勃發展，不但成為科教研究的主流理論基礎之一，也引領教學實務工作者一個嶄新的視野，進而帶動了真實課堂設計的改革，最主要的改革動向，就是讓教室的重心不僅是教師的講授，還包含學生的學習歷程。

個人建構學認為學習過程為學習者根據自己過去的既有概念(preconceptions)與經驗，以闡釋新的科學概念 (Hewson, & Thorley, 1989)。文獻顯示(eg., Clement, 1982)，這些既有概念往往與科學知識相異。因此，學習者在建立新概念的同時，



還須檢驗其既有概念與新概念間之和諧性，進而修正其既有概念的瑕疵。另一方面，個人建構主義也強調提供學習者所熟悉的情境，是賦予概念意義的必要因素，而同一概念在不同情境中的應用，對學習者而言往往是非常具挑戰性的 (Gunstone & White, 1981)。

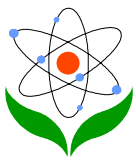
綜合而論，個人建構主義揭示了學習的複雜性，強調學習者個人認知操作 (cognitive processing) 在概念發展的關鍵地位 (Hewson & Thorley, 1989; Osborne & Freyberg, 1985)。此種觀點突破了先前的傳輸式學習觀，Singham (2000) 和 Zollman (1996) 批評傳統課堂中，許多物理教師將物理學習過程過度簡化，將學生視為被動的接收器，由老師為其填滿課程內容，導致學習成效低落的窘境。

至於社會建構的觀點，則著眼於學生對科學社群特有文化的融合 (enculturation) 歷程，包含語言、符號、工具、與常規等，引導學生逐漸熟悉科學家的觀點 (Hennessy, 1993)，因此，學生難以在所需之學習工具 (語言、圖表、數學等) 與其規則仍不熟悉的情況下，就獨自進行實驗探索或思考推理，來達到科學學習的目的 (eg., Roth & McGinn, 1998; Bell & Cowie, 2001)。教師在教學上除誘導學習參與之外，提供這些生手在其科學社群的文化融合過程所需之必要協助，也是重要的教學任務 (Leach & Scott, 2003)。

基於上述兩項理論，學生需要更積極地從一個被動的接收者，轉變為主動思考、探究的參與者，藉由有經驗之同儕或教師的引介 (mediate)，以克服其概念瓶頸，並逐漸熟悉科學社群的文化、語言、與習俗，以建構科學概念與知識。而教師的任務除了提供清晰有系統的講解之外，還需了解學生在各單元的學習需求，介紹適用的科學工具，提供挑戰性問題，並引導學生動腦思考與進行討論，以提供學生檢驗先前概念的瑕疵，進行修正並建構出適宜的科學概念 (Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994)。Scott (1998) 建議，物理課堂應在教師的演講 (speech genre) 與提供對話 (dialogue) 間取得平衡。

符合上述學習觀的教學流程並非一成不變，而是需要由教師針對教學內容主題的特性，以及教學情境之現有條件，包括學生之知識背景、過去之學習模式、及授課時數等仔細考量，才能設計出合適的教學流程 (Millar, 1989)。

本文介紹作者在台灣所教授的理工科「大一物理」，融合上述之建構主義學習觀理念，並權衡現有教學情境之限制，以「氣體動力論」單元所設計之教學流程為實例。文中將介紹各項教學活動與教材內容，也附上課堂實施過程之錄影片段，並闡述引用這些活動的學理根據，以及摘述學習之成效，希望能提供有志提昇教學成效之物理教師參考，在傳統的講授方式之外，還能引用一些更具啟發性的教學策略，以提昇學生的學習參與。



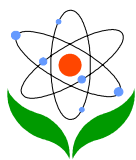
教學現況與限制

作者所任教之逢甲大學是在台灣的一所大型私立大學，入學學生的程度約為高中畢業生的平均值，但班級內之學生程度差異則頗為分歧(Chang, 2000, p.151)。然而，對於大學教師而言，學習動機低落的問題可能是更關鍵的挑戰，許多學生並未真正積極向學，只求這門必修課能蒙混過關 (Chang, 2000, p.143)，這點與國外文獻也頗為相似(eg., White, et al., 1995)。因此，教師除了考量學生的物理背景之外，如何在教學上加強學生之學習參與動機也是重要之任務。

逢甲大學修習「大一物理」的班級數高達 30 多班，每班人數約為 50~60 人，授課進度僅需涵蓋既定之共同單元主題，教師在教學與評量設計上仍可享有相當的自主。本課程包含兩學期，每學期 16 週，每週授課時數為 3 小時。

與國外的「大一物理」課程相似，多數教師深深感受到進度的壓力 (French, 1988)，因此，多侷限於傳統的單向講授教法(Chang, 2000, p.293)。課堂時間以教師講解原理、例題為主，課堂上部分學生努力地跟著抄筆記，部分學生則分心神遊，也常有令人尷尬的打瞌睡問題，上課中除了偶而老師指名同學答問之外，幾乎不見任何師生互動。學生的學習在課堂中普遍不受重視，而僅被期望於課後的習題演練。在教學內容方面，受到教科書的影響，大一物理的教材仍以數學公式與計算題的推演為主，偶而或有生活實例的介紹，也僅限於驗證原理或提昇興趣的輔助地位。因此，無論從教法或是教材的觀點，多數大一物理的教學設計，與建構主義的理念都有著嚴重的分歧。根據建構學習觀的理論，並考量現有的教學條件與限制，包含授課時數與共同進度的限制及學習者普遍的消極讀書態度，作者實施的建構式教學課程所採取的策略解釋如下：

1. 包含刪減課堂上計算題推演，以騰出寶貴的教學時間(約 1/4~1/5)供學生作小組討論與全班對話，這項策略的目標是促進學生思考、檢驗其另有概念，以符合個人建構之理念；另一方面，全班對話與小組討論中提供一個同儕互動或師生互動的機會，允許教師或較專精的同儕，一個引導其他生手的機會，包含體會科學用語的意義，及探討科學原理常用的工具如圖、表..等，以呼應社會建構的精神。
2. 小組之成員為 3~4 人/組，教師先根據所有學生先前之物理背景篩選出約 18 位程度較好之同學擔任組長，再由其它同學依其意願併入而組成。此種分組方式一方面顧及學生之意願，以利情意成效，也符合社會建構學中強調師徒實習(apprenticeship)，提供生手所需之學習鷹架(scaffolding) 的理念。
3. 討論的問題則常以生活化之情境包裝成觀念性問題：生活化題材之提供除



了可提高學習興趣，情境更是賦予概念意義(intelligibility)的必要因素，而新穎的情境也能提供認知的挑戰，促進概念之理解。

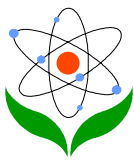
4. 至於刪減課堂解題時間，則必須配合課後指定習題的作業，在作業繳交的同時並花費 10 分鐘抽考，以杜絕抄襲。另外，作者也自編上課講義於課前發下，省去學生上課抄筆記的時間。此一作業抽考與發講義的策略，似乎已發揮其預期的功能，在現有教學條件之侷限之下，仍能落實建構式教學的實踐。

教學單元實例

教材內容主題

為了提供讀者對建構式教學的特徵有具體的認識，本文以氣體動力論單元的教學流程作介紹。首先，將簡介此一單元所包含的原理主題，本單元涵蓋課本某一章之全部，共三項原理主題，個別之授課重點依教學順序簡述如下：

1. 理想氣體方程式($PV=nRT$)：學生對其原理概念並不陌生，對大一物理課程而言，教授之重點著眼於強化同學體會此一定律在熱力學的重要性，在需要的時候具能**主動**運用此定律，並能正確地做單位換算。
2. 氣體動力論：探討微觀物理量與巨觀物理量間的關係，如分子平均動能與溫度之關係。多數學生在中學物理所學，似乎僅侷限於背誦公式計算的層次，未能完整進行數學推導並理解公式的物理意義。故此一任務即成為大一物理之重點。此重點所涉及公式之數學推導與物理意義之了解，份量與難度都偏高，故此一主題將是本單元之教學重點。
3. 膨脹係數：探討固體與液體的熱膨脹現象，因熱脹冷縮之概念在高中教材即已詳細探討，原理之難度也較低，故此一主題採取「先問後教」的策略，原理之講解安排在小組討論之後，提供學生檢驗先前所學的機會，以提高課程挑戰之策略以刺激學生之思考(Chang & Bell, 2002)。實施建構式教學的目的之一，是期望學生不只是能被動地理解所講授的物理原理，也能主動聯想學過之物理原理，應用於新穎的題目情境中。另一方面，藉由此一主題也可引導學生體會固、液體的熱膨脹原理與氣體之不同點，壓力的變因通常在前者被忽略，但在後者則扮演著重要的角色。
4. 限於授課時數的限制，此一單元僅允許 3x50 分的授課時數，在這三節課中，除了教師講授與示範實驗之外，還包含小組討論與全班對話，以及課後作業小考的時間。考量教學任務與時數，作者之設計流程與其背後之目標敘述如下，並配合課堂實況之剪輯片段，以利讀者之了解。



教學流程與策略



首先, 作者以探討熱氣球上升原理為題, 引導學生主動聯想到過去所學過的定律: 理想氣體方程。此一全班性的對話不僅為了強化物理概念理解, 也具有「暖身」與「聚焦」的功用, 引起全班之注意力, 並刺激學生回顧先前之熱學知識。此一全班之對話在學生主動說出相關原理: $PV = nRT$ 後結束, 共花費 3 分鐘。(片段一)

問題：熱汽球如何提起重物？相關的原理為何？

當熱汽球噴出之氣體溫度越高, 則熱汽球所受的浮力應越大、越小、不變、或無法判斷？為什麼？

接著, 作者再花費 10 分鐘, 針對此公式之使用條件與適用單位體制作講解。

其次, 作者的講解則進入氣體動力論, 從解釋推導之目標開始, 利用牛頓力學定律 $\bar{F} = \frac{d\bar{P}}{dt}$, 引入巨觀之氣體壓力與微觀之平均速率之關係, 再引到溫度與分子動能、與方均根速率之關係, 一系列的理論推導共花費 35 分鐘, 結束第一節課。

從摘錄的課堂實況顯示, 長達 35 分鐘的數學推導過程, 完全由教師講授, 未見師生間的互動, 似乎令部分學生逐漸感到吃不消, 注意力逐漸降低, 甚至有人已趴下 休息, 值得教師警惕。(片段二)

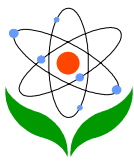
第二節課堂由教師帶領同學瀏覽手上講義開始, 對前段之數學推導做一回顧與概念之總結, 費時 8 分鐘, 至此, 教師的講解暫告一段落。(片段三)

接著, 教師穿插一項示範與提問之活動, 再度將課堂之重心引至學生, 刺激其檢驗先前學過之數項概念, 並強化所學其概念間之統整。首先, 作者利用示範器材提問, 引導全班進行對談, 但未立即給答, 而是進行示範實驗觀察, 這段活動用了 5 分鐘。(片段四)



問題：高矮蠟燭一起在密閉室內燃燒, 何者將先熄滅? 理由為何?

此題的解答與封閉盒之體積有關, 較小之容器, 上下溫差明顯, 須利用理想氣體方程式, 以解釋二氧化碳因熱上昇之現象; 而若選用夠大之容器, 則溫差效應可忽略, 不同氣體密度之差異所造成之影響則會顯現, 兩種不同的情境將導致原理與結論的分歧。故本題除強調先前所學概念的統整之外, 更驗證了社會建構主義其中一



項重要論點：科學理論並非追求絕對的真理，而是對所探討的情境提供一合適的詮釋，情境的差異可以導致不同適用之理論，以闡述其現象之分歧。

示範與提問之後，接著作者發下預先準備好之題組，共 6 題(包含蠟燭燃燒示範題)給每位學生(附註 1)，請他們進行小組討論，歷時 20 分鐘。過程中，作者巡視各小組之進展，一方面適時給予提示，另一方面也督導學生用心參與討論。(片段五)

討論進行約 10 分鐘後，作者抽點其中之數組上台作答。當部分學生上台作答時，其餘同學仍繼續討論，作者則一方面與小組對話，一方面催促上台作答之進度。(片段六、片段七)

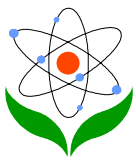
下課前 13 分鐘，迫於時間的限制，當部分學生仍在台上作答的同時，作者開始帶領全班檢討台上之解答，複習較困難之概念並補充相關之科普知識，花費 10 分鐘，留下 2 題尚未討論。(片段八)

最後的 3 分鐘，則是交代課後需繳交之習題，以及解釋一題挑戰題(附註 2)。習題每人皆須繳交，選自課本每章之後的 problems，需要基本物理概念理解與數學推導。而挑戰題則為作者精心開發之題目，難度頗高，需要統整不同單元之概念及多重能力的整合，此種題目是為程度較高，且願意接受更多挑戰的同學所設計，採自由參加，額外加分之計分法。以本題為例，解釋九大行星大氣組成的規律性，需先將行星依其氣體組成歸納出三類，並統整氣體動力論與萬有引力之兩項原理。(片段九、片段十)下課後，可見數位學生自動驅前向老師請益，其問題皆為課堂中所探討的生活化觀念題，顯示此課程似乎能達到誘導學生推理與思考之既定目標。(片段十一)

上述之教學流程共用了 2 節課，本單元剩餘的第 3 節課堂時間，則用於講解剩餘的討論題，並引到熱膨脹係數之原理，共約為 24 分，以及 14 分鐘的作業測驗與 8 分鐘之講解。

最後，本單元所含三節課的教學流程與重點總結如下表：

表一：教學流程與重點		
教學(課堂)活動	主題	時間長度(分鐘)
提問、聚焦、引入主題	熱汽球之上升原理	3
原理講解	$PV = nRT$	10
	氣體動力論	35
課間休息		
檢視講義/ 原理總結		8



概念檢驗, 全班對話	蠟燭燃燒示範	5
小組討論/ 黑板作答/ 介入教學	生活化觀念題組	20
檢討作答/ 原理回顧		10
指定課後作業	習題與挑戰題	3
課後諮詢	熱汽球之原理	
	五天之後	
檢討題組/ 原理推導	熱膨脹係數	24
作業小考		14
作業考檢討		8

學習成效評量

作者曾對此建構式教學之學習成效, 包含學業成就與情意成效, 做過多年期的評量(1999~2002), 並與傳統教學做比較, 詳細內容已發表在作者先前之論文(Chang, 2003; 張慧貞, 2003), 現摘述如下:

由過去三年來之學生問卷顯示, 作者在「鼓勵課堂討論」與「引進生活化題材」兩方面, 均明顯優於其它班級達 $P < 0.01$ 的顯著水準。此結果顯示, 作者的教學設計, 的確有其異於傳統教學的特徵。

學業成就方面, 無論在力學或電磁學的標準化測驗, 參與評量的建構式教學共八班, 其前後測成績增益為 13%~29%, 而由其他五位教授任教之八班傳統班的增益則僅為 -1%~10%, 明顯低於建構教學班。至於情意成效方面, 從建構教學實施較趨成熟的第二、三年度的學生問卷中, 建構班在學習興趣方面皆優於傳統班達 $p < 0.001$ 的顯著差異。在開放式問題中, 學生則敘述了建構式教學對促進學習的各項特點, 例如:

滿生活化的, 比高中的那些教學, 公式一大堆好太多了! 生活乃物理之基本;

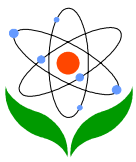
可以和同學討論, 這樣可以促進和同學之間的默契, 且在討論中可以知道不同的觀念理念, 並了解自己的缺失;

很有互動的課, 讓我動腦想了許多;

經由同學間小組討論與互動, 激發學習的興趣;

上課很有活力, 因為討論非常有深度。

因此, 不論是在學業成就或情意成效方面, 建構式教學似乎都比演講式來得優越。這點與美國類似的革新課程相關文獻是相當一致的(eg, Crouch & Mazur, 2001; Gautreau & Novemsky, 1997)。



結論與討論

回顧上述之熱力學單元教學流程，本建構式教學有以下特徵：

首先，在教學活動方面，除了教師講授之外，還包含了學習參與過程(討論與作答)，與督導學習(作業與小考)三者。其分配之時間比例依序為：68%：20%：12%。這項比例是考量前述之建構教學理論，並因應多數學生被動消極的學習態度，還需如期完成教學單位所制定的進度等三項因素下制定的。相對的，傳統班級的教學重心則幾乎集中在教師的講解之上，多數物理教師執著於傳輸式學習觀，(張慧貞, 2002)，將注意力集中於教學表現，至於學生的學習參與則被嚴重地忽略了。

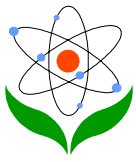
至於教材內容，本革新課程則補充了許多的生活實例，如熱氣球上升、星球之大氣結構、蠟燭燃燒 等。先由學生所熟悉的生活情境為題，引出相關之物理原理，之後再進一步誘導學生能主動將所學到之原理應用於其他之實例中。利用生活實例與原理的交叉探討，以賦予所學之物理原理意義，並提供檢驗概念理解、應用、與統整之機會，這些策略都是與個人建構理論相呼應的。另一方面，為了探討這些真實問題的解答，小組成員間需使用大量的對話，並在過程中逐漸體會相關術語的意義，甚至摸索情境對原理適用性的影響等，則是符合社會建構學理論之精神。

另外，在學習目標方面，本課程兼顧觀念理解與數學計算，課堂內的教學著重於物理概念的澄清，而課後之作業則包含概念理解之檢驗與數學計算能力的練習。

最後，在評量方面，考量普遍存在的學習動機低落的問題，作者採取了較嚴格的督導態度與策略，如作業考的實施。但仍適量採用彈性之機制，提供自我期望較高的同學額外之挑戰機會，以兼顧督促多數學生的學習與鼓勵少數同學追求高成就的多元目標。

簡言之，本例中之建構式教學為藉由生活化題材，並提供學生之學習參與機會，以促進有意義之學習。與傳統教學相比，本課程在教材內容、方法、目標、評量等方面都顯得較為多元與彈性，且著重於學習者之參與與動機。由作者與多數西方國家之文獻均顯示，課堂內著重學習互動的教學設計，似乎有益於學習成效的落實 (eg, Chang, 2003; Hake, 1998)。

然而，教學改進應是一條永續的任務，根據本單元之實況錄影，作者獲得幾點省思，提供未來教學改進之依據。第一、以生活實例提問為開場白的方式，費時少、成效佳，值得未來多加開發與引用；第二、冗長的公式推導對學習者造



成極大之負擔，教師可斟酌在推導過程中加入簡短之師生問答，以提振注意力；第三、氣體動力論是根據碰撞的動量變化引入作用力的概念，此一原理可加入彈性球彈跳之簡易器材示範，利用實體觀察，使學生不再感覺抽象與陌生，促成概念之建構；第四、與先前的實施經驗相較，以學生在黑板上的作答作為教師檢討答案之依據，較能引起全班同學之注意力與共鳴，因此，雖然要求學生上台作答，可能對小組討論之持續進行造成某些程度之干擾，但權衡優缺點之下，此一作答之策略仍值得採行；第五、討論題組的實施，包含小組討論、作答、講解三過程，教師必須掌握時間管理與學生現況，以期能在有限的時數內能順利完成。

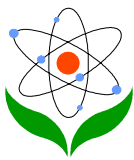
藉由本建構式教學實例的介紹，作者希望能提供讀者針對傳統的演講式教學一個改進的參考方向，並能對建構式教學之學理基礎與實踐有更深的體會。然而，本文並無意引導讀者完全根據上述之流程，依式套招引用至個人的教學情境中。畢竟不同的教學情境與學生，資源、限制、與需求都不同，教師必須在真實課堂中實施，並持續地根據學生的表現與回應作修正，以發揮建構式教學之特點，達成預期的目標。建構式教學的實踐是一條值得推廣的改革方向，但教師需要具備長期耕耘的決心。根據作者過去四年來的實施與研究顯示，促成教學改進包含三要素：課堂中師生互動的經驗、教師對學習理論的了解、以及持續的課程修正(Chang, 2003)。

致謝

本文內容承蒙國科會專案研究計畫(NSC-90-2511-5-035-001-)，與教育部「提昇大學基礎教育計畫」(90M503)補助，僅此誌謝。

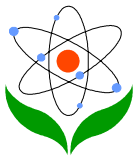
參考文獻

- 張慧貞 (2002). 由教授與學生對教與學觀感探討其學習觀。載於 Yeung, Y. Y. (ed.) *Innovative Ideas in Science Teaching Theories and Exemplars*. (pp. 73-81). Hong Kong: New Concept Design Production Company.
- 張慧貞 (2003). 由哈佛到逢甲：普通物理互動教學的實施與成效，*科學教育學刊* 第 11 卷第 4 期, 第 391-406 頁.
- Bell, B. & Cowie, B. (2001). *Formative Assessment and Science Education*. The Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Chang, W. (2000). *Improving Teaching and Learning of University Physics in Taiwan*. Unpublished Ph D. Thesis, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Chang, W. (2003). The rewards and challenge of teaching innovation in university physics :



Four years reflection. *Proceedings of the 2003 National Association for Research in Science Teaching (NARST) Annual International Conference.*

- Chang, W. & Bell, B. (2002). Making content easier or adding more challenge in year one university physics? *Research in Science Education*, 32(1), 81-96.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Crouch, C. H. & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Driver, R., Asoko, H. Leach, J., Mortimer, E., and Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- French, A. (1988) Some thoughts on introduction physics courses, *American Journal of Physics*, 56(2), 110-113.
- Gautreau, R. and Novemsky, L. (1997) Concepts first-A small group approach to physics learning, *American Journal of Physics*, 65(5), 418-428.
- Gunstone, R. F. & White R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65(3), 291-299.
- 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.
- Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: implications for classroom learning . *Studies in Science Education*, 22, 1-41.
- Hewson, P. W. & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), 541-553.
- Leach, J. & Scott, P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education*, 12, 91-113.
- Millar, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education. Special Edition*. 11(5), 587-596.
- Osborne R. J. & Freyberg P. (1985). *Learning in Science: the Implications of Children's Science*. Auckland: Heinemann
- Roth, W-M. & McGinn, M. K. (1998). Graphing: Cognitive ability or practice? *Science Education*, 81(1), 91-106.
- Scott, P. H. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms: A Vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32, 45-80.
- Singham, M., (2000). Want to buy my lecture notes? *The Physics Teacher*, 38(1), 58.
- White, R., Gunstone, R., Elterman, E., Macdonald, I., Mckittrick, B., Mills, D., & Mulhall, P. (1995). Students' perceptions of teaching and learning in first-year university physics. *Research in Science Education*, 25(4), 465-478.



Zollman, D. (1996). Do they just sit there? Reflections on helping students learn physics. *The American Journal of Physics*, 64(2), 114-119.

附註

附註 1：熱學現象討論題組

1. 月球表面有許多的坑洞，試問(a)造成的主因為何?(b)與熱力學有何相關?
2. 長笛分段有何原因或目的?
3. 地球上的第一代大氣層距現在約為 45 億年，當時大氣層的主要成分為 H_2 , He , Ne 氣體。第一代大氣層僅在地球上存在約千萬年的"短時間"即消失。(a)試推測當時地球上之環境，與現今有哪些明顯區別? (b)由此環境上之區別推論第一代大氣層消失的主因?
4. 鐵軌間的縫隙有何目的? 大陸北方的鐵軌每段約為 12.5 公尺這長度是如何推算而得的? 若在南方，則鐵軌每段應大於,小於,或等於 12.5 公尺?
5. 中空之鐵環因溫度升高產生熱膨脹後，其中空之直徑應增加或減小?理由為何?
6. (示範)高低兩相同蠟燭，點燃置於密閉容器內，則哪一蠟燭將會先熄滅? 其先後關係是否受容器大小的影響? 為什麼?

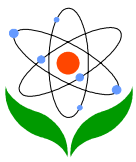
附註 2：行星大氣結構 挑戰題:

請根據下列資料歸納出太陽系行星的大氣結構的規律性並解釋其原理：

水星是距離太陽最近的行星，直徑只有 4880 公里，大約是地球的 38%，質量小，相當地球的 0.05 倍。因水星表面沒有大氣的調節，所以晝夜溫差達 600 度（白天約 400，夜晚 -200），由於沒有大氣的保護，水星表面留下許許多多流星撞擊的痕跡，佈滿大大小小的坑穴。

金星的直徑為 12104 公里，比地球略小，質量是地球的 0.82 倍，而且它有很厚的大氣。由於金星擁有濃密的二氧化碳大氣層，雖然只有少量的陽光能透過大氣層到達金星表面，但是溫室效應使金星的表面溫度能維持在 450 左右，其大氣壓力則比地球大 90 倍。

火星直徑 6794 公里，約比地球小一半，質量是地球的 0.107 倍。火星的大氣層



主要是由二氧化碳組成，但雲層很薄，它的大氣壓力只有地球百分之一。火星的表面溫度從赤道 20 到極區的 -140 左右，二氧化碳再回到大氣層中。

木星是九大行星中最大的一顆，直徑 142,984 公里，約為地球的 11 倍。體積比其他各行星的總和還大得多，質量比地球大三百倍以上。木星表面主要是氫與氦組成的氣體。

土星的直徑為 120,536 公里，比木星略小，體積比地球大 755 倍，質量相當於地球的 95 倍，是第二顆大行星，它的構造跟木星很相似。土星大氣以氫與氦為主，其表面也有雲霧狀的帶紋和赤道平行，公轉周期為二十九年半。

海王星其赤道直徑約 49528 公里，體積是地球的 58 倍，質量則為 17 倍多，表面溫度約 -216 。海王星也是一顆藍色的行星，由於其上層大氣主要是甲烷 (CH_4)。