

高雄市高中密度量測實驗教學概況與建議

杜鴻模

國立高雄師範大學 物理系

前言

高雄市教育局為加強高級中學科學教育輔導工作，促進各校重視正常實驗教學並充實實驗儀器設備，每年皆實施高級中學基礎自然學科抽測訪視。這兩年本人參與了這項計畫，訪視了高雄市十餘所公、私立高中。每個學校所抽測的實驗皆是密度量測實驗。從訪視的結果，願依實驗目的、實驗設計、實驗操作、及如何從實驗中培養科學態度、科學方法等項提出本人對高中物理實驗教學的看法。

壹、實驗目的

高中基礎物理的教科書雖有許多不同書局出的版本，但因教育部有發布「高級中學基礎物理課程標準」，因此就內容上來說，大同小異。每一本基礎物理教材都有密度測量這個實驗。但實驗的目的卻有不同。有「測量螺絲釘密度」、有「測量不同物質及不同形狀物體之密度」、「有如何測量液體的密度」等。

從寫書作者的觀點，密度的測量雖然是很簡單的實驗，但卻有明確的目的存在。有的作者期望藉著簡單的實驗及已知的密度數據表即可知道未知物體的材質。有的作者希望學生從實驗中知道不同的物質，其密度是不一樣的，且讓學生進一步探索形狀是否影響密度。有的作者提出一些挑戰，要學生想出辦法來解決待測物體比量筒的口徑大，不便放入量筒內時，如何測量體積及如何測量浮體的體積等問題。這些種種的目的不外乎要讓學生學會一種方法可用來判斷未知材料。這樣的方法也可用在日常生活上。

在訪視中，有些學生很快就做完實驗。當問學生「這個實驗在課堂上是怎麼做的？」。學生的回答：「這個實驗國中就做過了。只要會算就好了」。再問：「這個待測物是什麼材質？」。學生回答：「可能是鐵」。再問：「你怎麼猜的？」。答：「從外表及形狀」。再問：「老師有沒有教你如何判斷？」。答：「有。查表」。再問：「那你要不要查一下看是何材質」。答：「我沒有表可查」。問：「是嗎？你課本上不是有表可查嗎？」。答：「真的嗎？」。由這段問答中發現，老師們對密度測量這一個實驗的教學目的大都設定在如何測量質量及體積，兩個量相除就是所要的答案-密度。學生只要依照步驟把實驗做完，會量、會記錄、最後交一份報告就好了。學生似乎是為考試而做實驗，而不是學到一個有用的實驗方法。因此，實驗課平淡無味，沒有學習的動機，也引不起學生的興趣，實在非常可惜。如果在實驗課之前，老師先提一個問題問學生：「如果有金光黨向你兜售假元寶，你如何判斷其真

偽？」。然後告訴學生藉由密度的測量我們可以判斷未知物體的材質。如果為加深學生的學習印象，可以拿假元寶、假金飾讓學生判斷真偽。也可讓學生自己拿東西來判斷其材質。這樣不但可以讓學生學到這個實驗的目的，可以加強學生做實驗的動機及學習的興趣。

貳、實驗設計

為達成實驗目的需要好好設計實驗，包括測量的方法、待測的項目、範圍、所需的器材等。在每一本教科書中皆有這些內容，但每一所高中現有的器材不一定與教科書所提到的器材相同。限於學校的經費限制，又不可能全部新購。因此，老師們還是需要自己修改實驗設計。以密度測量實驗為例，老師們需要決定使用什麼樣的待測物、多大的待測物、多少的待測物、什麼樣的量筒、如何測量等。

如果實驗目的是「測量不同物質及不同形狀物體之密度」，則應該準備的待測物至少要有兩種以上的材質，且至少有一種材質需包含兩種以上不同的形狀。學生需要完成兩組的實驗數據，一是測量不同材質的密度，另一是測量不同形狀但材質相同的密度。在訪視中發現，有的學校只給學生一個待測物。有的學校給學生四個銅線線圈。這樣的樣品所做的實驗似乎不能達成實驗之目的。如果實驗目的是「測量螺絲釘密度」，只要選擇適當大小的螺絲即可。數據也只有一組。但也發現有的學校選用大塊的金屬，不是很恰當。

量筒的選擇各校也有不同，有的學校使用

口徑較大的，有的使用口徑較小的。有的量筒最小刻度是 1 毫升，有的是 0.5 毫升。這牽涉到待測物是否容易放進去及量測的準確度。這些都是實驗設計時需要考慮的設備問題。

測量的方法雖都是排水法，有的學校要求量筒內先放 30 毫升的水，再放入待測物。學生費了許多時間在量 30 毫升的水。這是不需要的浪費。有的學校因選擇的待測物太大，放不進量筒內，只好再拿一個燒杯，燒杯內先放入一些水，用一條橡皮筋標示水位的高度。放入待測物後，再用另一條橡皮筋標示水的高度。然後將燒杯內的水慢慢倒入量筒，直到燒杯內的水位回到第一條橡皮筋的位置。這樣雖然也可做實驗，但因不適當的樣本選擇造成需要額外的器材，費時的實驗操作，學生使用鑷子夾大塊金屬也很困難，容易出意外。

參、實驗操作

在物理實驗中免不了要操作儀器及量測所要的物理量。在密度量測實驗中所使用的儀器很簡單，只有天平與量筒兩種。所要量測的物理量也很單純，就是待測物的質量與體積。但在訪視中也發現許多有趣的現象。

舉例如下：

操作天平時首先要將天平歸零。大半的學生沒注意到此一步驟。有的學生記得老師所提醒的注意事項，但卻不會正確歸零的動作。例如有的學生未將角碼放定位也在做歸零。有的學生做了歸零的動作，但指針卻不在水平的零點位置。

在量測時，角碼也需要放定位，從角碼的中央空缺處可讀到讀數。但在訪視中卻發

現有些學生並沒有將角碼放定位。他們是將角碼放在能使天平大致平衡的位置上，然後調最小刻度的樑直到平衡。當問學生「你怎麼讀出待測物的質量是 8.7 克的呢？」。學生就移開角碼使原先被蓋住的 8 顯露出來。當要求學生再讀一次讀數時，天平已不再是平衡位置，讀數當然就不同了。

有的學校所使用的天平是等臂天平。其最小的標準法碼是 100mg，卻有學生量測值是 9.021 克、10.001 克。當問學生：「你的法碼最小的單位是幾克？」答：「10mg」。問：「是嗎？」。答：「是呀！你看上面刻著 10mg」。拿過來一看，原來是另一個零因反光看起來比較不明顯。當問另一個學生他怎麼會量到 10.001 克，到底怎麼量出來的。學生答：「有兩個法碼，一個 10g，另一個 100mg，1mg 等於 0.001g，所以是 10.001 克」。還有一學生，當問他怎麼量出待測物的重量時。學生回答：「這邊放的法碼有一個 10 克、一個 5.5 克、一個 2 克、一個 0.2 克，加起來是 17.7 克」。問：「你的法碼有 5.5 克的嗎？」。答：「有呀！這個」。拿過來一看在 5g 的旁邊好像有一個很像 5 的符號，位置卻是歪歪的。問學生：「你能不能想辦法確認一下這個法碼到底是 5g 還是 5.5g？」。學生將此法碼當成待測物測得是 5g。學生會將 5 克的法碼誤認為是 5.5 克，真是料想不到。

有的學校所使用的天平上有游標，可以量得更準確。但卻有許多學生不會用。有一學生讀到 10.09 克，正確應是 10.00 克。問學生：「你怎麼讀出來的？」學生一面操作一面說：「游標的最後一條線與固定的第九刻度

重合，所以是 10.09」。把游標順時針方向稍微轉了一下，再問學生這時的讀數是多少？

答：「10.02 克」。問：「這時應比較重還是比較輕？」。答：「應比較重」。問：「那為何讀數反而比較小呢？」。告訴學生，應該看游標上的那一條線與固定尺標重合，而非看游標的最後一條線與固定尺標的那一刻度重合。

這個實驗所用到的另一個量度器材是量筒。市面上賣的量筒也有很多種。每個學校所使用的不盡相同。量筒是最簡單也非常普遍的設備。但絕大部份的學生不知道如何正確地讀出所量到的體積。問學生讀量筒刻度時，是看水面的那個位置？上面？中間？底面？學生的回答三種都有，以答上面的居多。有一本教科書用放大圖片指示，眼睛不能太高或太低，且要以凹面的底部為準。但該校的學生大部份都回答看中間。問學生課本上怎麼寫的？答：「中間」。原來學生只注意到眼睛要對著水平，沒注意到旁邊還有一個圖，要以底面為標準。

量筒的測量精確度也有不同。有的最小刻度是 1 毫升，有的是 0.5 毫升。如果學生拿到的是較精確的量筒，發現大半以上的學生都讀錯了。問學生：「現在量筒讀數是多少？」。答：「25.3 毫升」。問：「你怎麼讀的能不能告訴我？」。答：「這裡的刻度是 25，再往上 3 小格，所以是 25.3 毫升」。問：「每一小刻度是多少毫升？」。答：「0.1」。問：「為什麼？」。答：「本來就是這樣」。問：「對嗎？」。答：「沒錯呀！」。問：「你能不能再往上數看看」。答：「25.3、25.4、

25.5 .26 哦！不對」。問：「那一小刻度應是多少？」。學生沉思了一下答：「0.2」。問：「為什麼？」。答：「因 20 個刻度共 10 毫升，所以每一刻度是 0.2」。問：「是嗎？那你一樣再數下去」。答：「25.2、25.4、25.6 27 哦！怎麼會這樣！」。學生拿出紙來算，終於弄清楚每一刻度是 0.5 毫升。他剛才要讀的正確量筒讀數應是 26.5 毫升。如果光看學生的實驗數據，不太容易發現學生到底錯在那裡。

學生在量測操作上所出現的種種問題歸因於實驗分組每組的人數太多。限於學校的經費及實驗室場地的限制，大多數的學校每組的人數約 4~6 人。實驗課時，真正做實驗的大概只一、二人，其餘的人只在旁邊觀看。理想的實驗分組人數為兩人。像密度測量這種實驗，所需的器材非常便宜，最好一人一組，學生才能真正做實驗。縱使不能達到理想分組，建議老師們在實驗課時能巡迴到各組看學生怎麼操作，隨機抽個學生實際操作。如此可了解學生是否會正確地操做儀器。

肆、科學方法

物理實驗教學中除了教學生學習操作儀器量測所要的物理量，完成所設定的實驗目的外還有一些重要的東西要學生學習的，那就是從實驗中訓練學生使用科學方法探討問題及培養學生嚴謹的科學態度。

科學家要探究一個問題時不是隨便做幾個實驗量測就可完成。要探討一個問題時需對該問題做變因分析、選擇操控變因，然後才開始做實驗。而且科學家是經過怎樣的過程，依據什麼樣的數據分析才能對問題做正

確的判斷。因此，在做實驗之前需先規劃好要量測的項目，預先做好表格。這可訓練學生分析問題及將所要做的事項條理化、組織化的能力。

有一學校給了學生一盒的樣品，有不同形狀、不同材質的樣品。如果依實驗的目的「測量不同物質及不同形狀物體之密度」，則學生至少要準備兩個表格，一是不同物質但形狀相同，另一是不同形狀但材質相同。在訪視中發現學生是隨手拿樣品測，毫無控制變因的概念。

有些教科書已做好表格。量測的項目有樣品的質量 m 、量杯(含水)未加入樣品前的讀數 V_1 、量杯(含水)加入樣品後的讀數 V_2 、樣品的體積 $V = V_1 - V_2$ 、樣品的密度 $d = m/V$ 、平均密度等。如果所設計的實驗是完全依照課本，那就沒有問題。在訪視中有的學校因選用的樣品太大，放不進量筒裡，因此，改用大燒杯。先在燒杯加水後的水位做記號。加入樣品後再做記號。然後將燒杯的水倒入量筒中，直到燒杯內的水位回到未加樣品前之位置。依這樣的量測方式，課本所附的表格就不再適用。但學生們仍然使用課本的表，而且可以填入所有的空格。當然，他們是先量燒杯(含水)未加入樣品前的讀數 V_1 ，然後由量筒所量到的值加上 V_1 即填入 V_2 的空格，再把量筒所量到的值填入 $V = V_1 - V_2$ 。這樣的記錄完全違背了製作表格的用意。還有一學生的實驗記錄很有趣。他的記錄上記著 $V_1 = 100\text{mL}$ ， $V_2 = 120\text{mL}$ ， $V = 21\text{mL}$ 。問學生：「為什麼會是如此？」。答：「 $V_2 = 120\text{mL}$ 是我估計的。 $V = 21\text{mL}$

是量筒量到的」。問：「燒杯上的刻度是 100、150，你怎麼那麼利害可估出 120」。答：「可以呀！」。問：「你做這個估計有何目的？」。答：「照書上這個表做」。學生只知照表填，不知為什麼要這麼做。

在科學方法的培養上，更重要的是教導學生如何運用實驗來做為判斷的依據。不論是要判斷未知物體的材質，或探討不同物質及不同形狀物體的密度，都需要經由實驗數據才能回答。在這個實驗中，每一本教課書都提供常見物質的密度表，學生做完實驗，由實驗值與表比對即可做判斷。在訪視中發現許多學生仍然依據形狀、經驗做判斷。有些學生測出來的值不是那麼準確，就怪罪儀器不好。實驗數據不是要與標準值完全相符才能做判斷。老師們可以訓練學生估計實驗誤差。這也可告訴學生為什麼需要多次量測再取平均。在誤差範圍內一樣可以做判斷。這是科學方法中重要的一項，但卻常被忽略。

伍、科學態度

從物理實驗中要培養學生的科學態度包含主動積極、負責、細心、嚴謹、興趣等。密度量測這麼一個簡單的實驗也可看出學生會不會主動積極地去探討問題、解決問題。舉例來說，高雄的天氣一般都很熱，大部分的學校實驗室都沒有冷氣空調，實驗室一般都有電扇。密度測量這個實驗需要使用天平。因此，當開電扇的情況下，天平是不容易停止下來，甚至於無法量測。大部分的學生在這種情況下仍然做他的實驗量測。只有少數一兩個學生會要求關電扇。老師們可以巡視學生時，問學生天平停不住該怎麼辦？

藉此告訴學生有些環境是我們可以主導改變的。不完全受制於環境，則可以獲得更好的結果。

細心、嚴謹是做實驗的基本態度。有許多學生做實驗的時候非常馬虎。有的學生在量測物體體積時，物體並未完全浸入水裡。有的學生用鑷子夾物體放入燒杯中時，鑷子也浸入水中。有的學校待測物是用繩子綁著，學生在討論誤差時，卻忽略了繩子的體積。有的學生讀取數據不知道是怎麼讀的，他的數據上記載的體積是 8mL，要求他再量一次，結果是 6.5mL。這樣的學生不少。老師在旁邊看時就量準一點。老師不在場就馬馬虎虎。

在實驗報告中常看到學生抱怨儀器不好，造成結果不理想。老師們可以藉這機會要求學生如果要批評那裡不好，相對地必須提出好的辦法或改進之道。這不僅可促進學生的創造性思考，引發學生的學習興趣，也培養學生負責任的態度。

陸、結語

物理實驗可以訓練學生的內容很多，學生從實驗中所學到的絕不只是量測與驗證而已。從實驗中培養學生的科學態度及科學方法，這對學生是有很大的益處。因這些科學態度、科學方法可用在他的生活上及將來的工作上。老師如果好好規劃實驗，學生實驗時，多加注意，給予指導，學生可在實驗中學到更正確、更寶貴的東西。

誌謝

本文承蒙高雄師範大學科學教育研究所黃台珠所長給予指教，在此致謝。