
結合學習環教學模式的密度概念 探究教學活動設計

顧炳宏^{1*} 楊和學² 陳瓊森²

¹ 國立彰化師範大學 科學教育研究所

² 國立彰化師範大學 物理系

壹、緒論

密度概念是學生在學習科學的過程中一個相當重要且關鍵的基本概念，其無論是在物質科學或生物學中都有相多的應用。在國中八年級的理化課程中，密度除了代表著物質的一種特性，提供學生一開始瞭解不同物質的基本途徑，密度概念亦是學生往後學習濃度、壓力、浮力、原子、分子…等概念時重要且必須的先備概念，因此在國內外的中學自然科學課程中(教育部，2003；NRC, 1996)，均安排了密度概念的單元。密度概念除了本身概念上的重要性之外，它也是八年級學生學習理化時第一個需要運用分數和比例概念學習和計算的內容，同時，密度的實驗也是學生在理化課程中第一個遇到的實驗室活動(教育部，2003；DeMeo, 2001)，由此更可見其中學自然科理化課程上的重要性。

雖然密度概念在學生學習科學的過程占有重要的地位，然而密度概念對多數初次接觸此主題的學生而言是抽象且困難的(Hawkes, 2004; Hitt, 2005)。由於密度單

元的教科書或教學方案，其章後的練習題都是在練習 $D = M/V$ ，即便學生已經了解質量與體積的概念，學生仍然受巨觀的質量或體積感受所影響，認為較重或較大的物體密度便會較大，不了解密度代表的其實是一種比例的概念(Hawkes, 2004)，加上多數學生缺乏比例概念的推理能力(Hawkes, 2004)，使得學生常常會簡化地認為密度只是質量與體積相除的運算結果，而無法理解其代表的是物體所含質量和體積之間的一種比例關係。除此之外，學生也很難體會到密度的概念與 M/V 之間其實就是密集度的關係，沒有理解密度所涉及到的其實是「質量被包裝的密集度」這樣的觀念(Hitt, 2005)。

根據上述，密度概念的教學除了 $D = M/V$ 的數學式之外，更重要還必須讓學生對比例概念以及密度的另外一層意義：「粒子分佈密集度」的概念有深入的體會。但是檢視實際的教學往往也會發現，要教授並讓學生意識到像 1.密度是測量某體積裡，質量分布的密集度、2.原子越密集，密度越高、3. 壓縮會增加密度以及 4.密度不會隨著物體的外型或大小而改變，這些密度的特性要比教

* 為本文通訊作者

授與測驗 $D=M/V$ 難的多。

常見一般的密度概念教學方法大多都喜歡從密度等於質量除以體積這個公式來著手，先告訴學生密度的定義：「密度是一個重要的概念，它能解釋為何有些物體會沉，而有些物體會浮。它的定義就是質量和體積的比值。」接下來就會讓學生先秤量物體的質量，再用排水法測量物體的體積，最後再將前者除以後者(Eisenkraft & Anthes-Washburn, 2008)。這個實驗在某種程度上是廣為大家所接受的，因為它只需要很容易取得的實驗器材就可以讓學生做量的測量，如天平與有刻度的量筒。除此之外，浮沉現象的觀察也是常見的密度概念教學活動；讓學生觀察物體在液體中的浮或沉之現象，引起學生的學習動機並解釋密度的概念。上述兩種教學活動雖是目前最為常見的密度概念的教學方式，然而兩者都有各自的問題。首先，第一種活動通常被用來驗證質量與體積的關係，而不是用來引導學生發現它們之間的關係，即使實驗是以探究做為基礎的，它仍侷限於質量與體積的關係而忽略了密度概念其他更為重要的意義，甚至反而更讓學生認為密度僅僅是質量與體積相除的運算結果。至於第二種活動雖然可以引發學生初期的學習動機，但物體的浮沉只是物體和液體的相對密度大小的表現，例如熱熔膠($D=0.93\text{ g/cm}^3$)會浮於水，但沉於酒精($D=0.8\text{ g/cm}^3$)中，浮沉的現象並無法解釋密度真正的意義。況且，若仔細地分析浮力的原理與公式便會發現，浮力的成因其實是源

自於物體上下表面所受之壓力差，經計算之後浮力等於排開液體的重量，密度這個變項則是因為要計算排開液體的重量才出現在浮力的公式中。因此，實際上浮沉現象並不能確實解釋密度的意涵，且浮力問題的計算必定會應用到密度概念，亦即密度概念應為學習浮力概念前的必要先備概念，因而在課程安排上浮力單元應在密度單元之後，故浮沉現象充其量僅能作為密度單元教學中引起學生動機的初始活動，實際上並不適合拿來作為密度概念教學的主要活動。

密度概念雖然看似只是簡單的 $D=M/V$ 公式，但其實包含著許多抽象的意義，如密度無法由質量或體積單一面向而決定、密度是一種比例概念、密度恆定、密度可作為物質的特性之一、以及密度代表的是粒子分佈密集度等重要概念，學生要瞭解這些概念的意義並且能順利的連結它們之間的關係，才能對密度概念達到深度的理解；前述常見的教學活動顯然不易達成這樣的教學目標。

據此，本文旨在介紹密度概念的教學活動設計，活動設計的主要目的在於希望讓學生從動手做的過程中體會密度概念不同層次上的意義，除了協助學生主動進行概念的建構，培養學生觀察、組織、歸納…等科學過程技能之外，也希望讓學生經過討論的方式，不斷檢視與修正自己原先的概念，讓學生不但能根據自己的經驗提出意見，還能依照活動中所見到的現象，不斷加深與融入自己的概念體系。

貳、教學活動設計

本活動設計主要是以學習環(探索、概念引介、概念應用)為架構設計一系列引導發現式的活動。教學過程中，以現象的探索來引發學生學習的動機，同時給予適當的提問，引導學生學習密度單元中重要的概念。在探索階段，藉由現象的觀察讓學生用自己的先備知識來解釋或預測，再由教師適時的引介新概念，讓學生能用更合理的方式來解釋先前所觀察到的現象。最後，引導學生將新概念應用於新的情境並解答相關的問題，亦即將新概念帶入到下一個活動，或將下一個活動視為前一個活動的概念應用階段。活動的結構編排遵循「由具體而抽象」、「從單純到複雜」的原則，使學生能夠密度概念有更深一層的理解與認識，親身的體驗科學知識。以下就針對各個活動設計與其所要傳達的主要概念進行簡要的說明，讀者亦可參閱附錄中的工作單交互對照。

活動一：它不重，它是……

(一) 教學活動流程：

1. 首先準備六至十種體積相同(如邊長 3 公分之立方體)但質量不同的物體(如銅、鐵、鋁塊)，皆以鋁箔紙包覆住，使它們從外觀上看不出太大的差異，如圖 1。
2. 先不將鋁箔紙拆開，讓學生先用手掂量並感覺各個物體其質量上的差異，接著預測並且以電子天平實際測量這些物體的質量，按照質量由重到輕

的順序排列，並將結果填寫在工作單中，如圖 2。

3. 接著，讓學生猜測一下鋁箔紙的內容物會是什麼，同樣將猜測結果填寫於圖 2 的工作單中。
4. 最後請學生將神秘的面紗—鋁箔紙給卸下，並且同樣依照質量大小順序排列整齊，讓學生知道真正的鋁箔紙內容物為何，如圖 3，並且讓學生比較看看是否自己猜測的結果是否一樣。

(二) 教學引導說明：

根據學習環的理論，首重學生的「探索」也就是現象的觀察以及興趣的建立，讓學生以自己的觀點解釋現象，透過有趣的方式引導學生發現密度的概念。

將不同質量塊以鋁箔紙包覆，可以讓學生深刻的感受到質量上的差異。在拆開鋁箔紙前，老師可以先提問：「讓我們想像一下鋁箔紙內部的狀況。你覺得為什麼這些體積相同的物體，它們的質量卻不同？」藉由這樣的問題引發學生思考、想像並討論物體內部可能的樣子。另外，在拆開鋁箔紙前讓學生猜測一下鋁箔紙的內容物，則可順利引起學生的學習意願、動機和參與。

在物體被鋁箔紙包覆，使其在外觀上無明顯差異的情況下，一方面，學生才能更深刻的感受到「體積相同的東西，質量卻可以相差到如此之多」，另一方面，此舉也才能較順利

的引導學生想像物體內部可能的差異。因此，將質量塊以鋁箔紙包覆起來此看似微不足道的動作，其實是密度教學活動中引導學生思考和感受的重要關鍵措施。

經過上面的引導探究過程，最後將鋁箔紙拆下，學生在此時會有「原來如此」的驚喜，除了引起學生的好奇心和興趣之外，同時也可以讓學生把玩不同的物體，透過問題討論讓學生用自己的方式解釋不同物體之間的差別。

因為每個物體外觀看起來都相

同，透過適當的提問方式，例如：「為什麼體積相同的銅塊和鋁塊，但是可包含的質量卻有這麼大的差別呢？」的問題來做提問，讓學生想像一下物體內部的狀況，明確的引導學生體會並瞭解密度概念所指「固定體積中所含質量」的意涵，同時為後面介紹「密集度」概念之活動(參見活動三)埋下重要的伏筆。整個活動的過程透過探索、思考、實際量測與接觸，都會讓學生留下很深刻的印象，而且能清楚直觀的對現象做正確的解釋，對概念是清晰的理解而非記憶背誦。

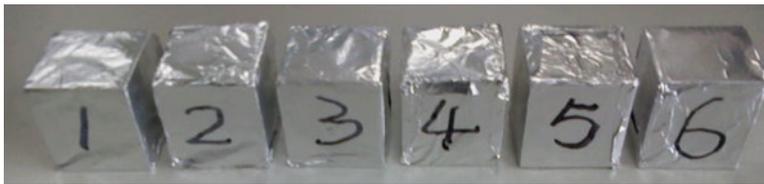


圖 1、以鋁箔紙包覆住數個體積相同但材質不同的物體

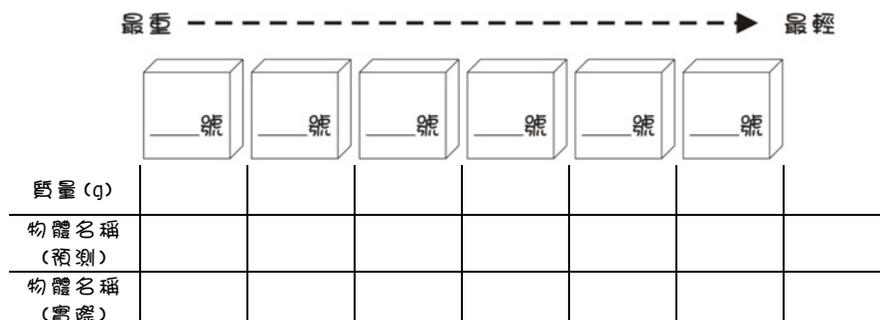


圖 2、讓學生依質量大小排列並預測各物體的材質

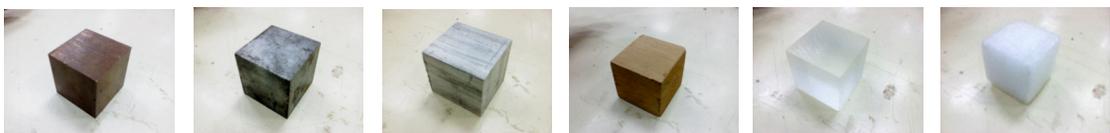


圖 3、排列依序為銅、鐵、鋁、木、壓克力、泡棉

活動二：原來如此

(一) 教學活動流程：

1. 接續活動一，先讓學生測量一下銅塊、鋁塊和木塊的體積，並計算一下它們的質量體積比值，然後讓學生討論此數值的意思，引導學生瞭解此數值指的是「一立方公分有幾克」。
2. 準備並呈現數個與前述大立方體材質相同的邊長 1 公分的小立方體(如圖 4、圖 5、圖 6)，亦即，將不同材質和不同大小的物體一併呈現，並且同樣讓學生把玩一下，感受其差異。
3. 請學生比較一下同材質的大小質量塊之間體積與重量的關係，引導學生體會大小兩質量塊的質量與體積為等比例放大或縮小的關係。
4. 以「一立方公分有幾克」以及大小兩質量塊質量與體積為等比例放大或縮小為基礎，教師引介出密度的公式，即 M/V 。

(二) 教學引導說明：

本活動先讓學生先計算活動一中大質量塊的質量體積比值，當呈現出同材質之邊長 1 公分的小立方體時，此時教師可藉由提問：「你覺得這一立方公分的銅塊、鋁塊和木塊的質量應該會有幾克？」，讓學生體會到先前所計算之大質量塊的質量體積比值，指的便是小質量塊的質量。

從感受個別和不同大物體塊的質量、計算大物體塊的質量體積比值、

看到 1cm^3 小物體塊、感受個別和不同小物體塊的質量、到以大物體塊的質量體積比值去推測 1cm^3 小物體塊的質量，一方面學生可以深刻的理解比例概念，一方面也有助於學生對於接下來密度定義的了解。

此外，教師也可以經由提問：「你覺得當 1cm^3 的銅塊、鋁塊和木塊，變成大銅塊、大鋁塊、大木塊一樣體積時，它們的質量會是如何？」，讓學生對於比例概念有更進一步的了解和體會。

在經過一連串的引導探索的步驟，確立學生學習密度概念的基礎架構後，最後便可將密度此一概念引介給學生了解，並統整重要的概念與公式，使學生在活動中學習到的概念得以整合在一起。

在本活動中，學生可真實的體驗到不同材質的物體等比例放大或縮小的情形，感受到體積與質量的相對大小關係，從而瞭解密度概念中重要的比例觀念；觀察和感受 1cm^3 小物體塊的體積和質量則可讓學生對密度的定義，即 $D = M/V$ 有相當具體的體會。

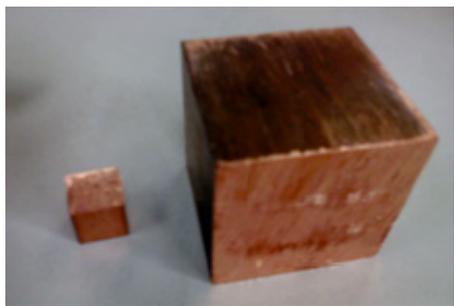


圖 4、大小銅塊



圖 5、大小鋁塊



圖 6、大小木塊

活動三：當我們「擠」在一起

(一) 教學活動流程：

1. 準備兩個相同的燒杯並加入相同的水量，在兩燒杯中分別加入一匙和三匙的藍色硫酸銅晶體(如圖 7)，讓學生觀察硫酸銅溶解之後兩杯溶液顏色的差別(如圖 8)。
2. 準備兩張由藍色顆粒所組成的色紙(如圖 9)。讓同學先從遠處觀察這兩張紙顏色有何不同，之後才將這兩張色紙發送給學生由近處觀察它們之間的異同。
3. 教師提問問題以引導學生發現藍點分佈密集度和硫酸銅顏色深淺之間的關係。

(二) 教學引導說明：

密度指的不僅僅是數學式上的質

量和密度的比值，它還包含了另一重要的「粒子分佈密集度」概念(Hawkes, 2004; Hitt, 2005)。由於此階段學生尚未學習過原子、分子等抽象粒子概念，因之教師不宜直接就以原子或分子結構等科學名詞「告訴」學生粒子分佈密集度的知識，一方面學生並無法僅藉由教師的講述就能想像此抽象的圖像，另一方面這樣的作法也違反了學習者知識建構的原則。

但是，如果我們不能直接以講述的方式，傳授學生粒子分佈密集度這樣的概念，那麼還能用什麼樣的方法呢？活動三的設計便是要解決這樣的困難。本活動設計以硫酸銅溶液的顏色深淺，描述粒子在溶液中的分布情形，藉粒子排列形式的密集或者稀疏，也就是所謂的密集度來解釋密度的概念，其中要如何引進較為抽象的粒子概念，在教學過程中是一個非常重要的問題。

一開始，當學生觀察到兩杯硫酸銅溶液顏色深淺不同時，教師在此時可以先提問：「你覺得為什麼兩杯顏色的深淺會不一樣呢？」若學生僅單純的回答：「因為其中一杯加了比較多的硫酸銅阿」那麼教師可再進一步提問：「為什麼加了比較多的硫酸銅顏色就會比較深？」，藉由現象觀察和提問引導學生思考和討論。

接著，當學生從遠近不同的距離去觀察藍點色紙的不同時便會發現，

從遠處觀看這兩張色紙時，肉眼可輕易分辨出其顏色有深淺之不同，但是拉近到眼前觀察時，即可「發現」顏色深淺的差異其實是由於顆粒密集度不同所致。教師可利用適當的提問引導學生發現此一現象，比如「你覺得顏色的深淺與什麼因素有關？」、「你覺得個別藍色小點在顏色深淺上有差別嗎？」或「你覺得藍色小點的分佈和色紙看起來的顏色深淺有什麼關係？」等，這些都可以引發學生具深度的思考與學習。

最後，回到先前兩杯顏色深淺不同的藍色硫酸銅溶液，讓學生重新思考先前的問題，可以適當的提問：「硫酸銅溶解後變成了什麼呢？」、「所以你覺得硫酸銅溶液的顏色深淺與小顆粒的數量有沒有關係呢？」經過問題的引導，讓學生了解硫酸銅溶液顏色深淺和硫酸銅晶體粒子之間的關係，引導學生「發現」溶液顏色的深淺和溶解在水中粒子的疏密度有關。

本活動藉由濃度的概念讓學生瞭解粒子疏密的概念；濃度概念看似與密度概念並無相關，但其實兩者本質上皆屬於一種比例關係的概念，且本活動以學生甚為熟悉的顏色深淺(即濃度)觀念為基礎，再以藍色顆粒色紙作為連結點，可順利的讓學生體會「粒子密集度」此種抽象的概念。

對於學生來說，因為其生活觀察多以巨觀現象為主體，能夠看到的、

摸到的東西，對學生來說才是真實的，因此粒子的微觀概念對學生而言是抽象而難以理解和想像的。要讓初學理化的學生進入抽象的思維，仍然需要實驗現象的輔助，透過溶解的過程，學生會比較容易達到抽象的思考，能夠理解粒子微小的程度是可以到肉眼不可見的地步，巨觀的現象可能是因為微小的機制所造成。

對於密度概念的教學來說，重要的是讓學生的學習能夠從巨觀層面進入到微觀的層次，現象的觀察到抽象的思考，本活動目的在讓學生初步接觸「粒子密集度」的觀念，並為之後活動五「食鹽水的奧秘」整合「密度」和「粒子密集度」兩概念埋下一個重要的伏筆。

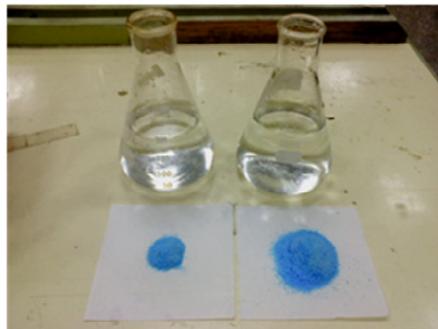


圖 7、相同水量加入不同量的硫酸銅晶體

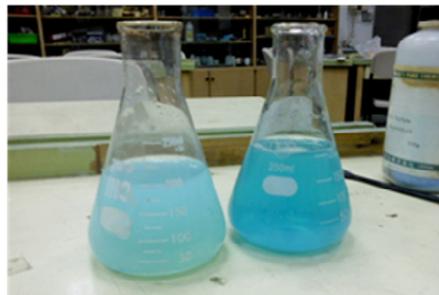


圖 8、硫酸銅溶解之後的狀況



圖 9、由藍色顆粒所組成的色紙

活動四：動手測密度

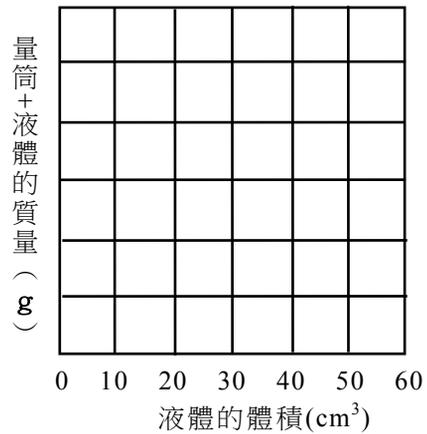
(一) 教學活動流程：

1. 讓學生以量筒和天平測量水的體積和質量，量取五至六組數據後，依據密度的定義依數據計算出水的密度，並求取平均值。
2. 讓學生將所得數據繪製成質量和體積的座標圖(如圖 10)。
3. 引導學生針對水密度測量值和理想值之間的誤差、座標圖中斜直線所代表的意義、兩座標圖之間的不同、以及 A 圖中的截距所代表的意義等問題進行討論。
4. 請學生繼續以同樣的實驗操作方式，測量酒精和飽和食鹽水兩種液體的密度。
5. 同樣讓學生將酒精和飽和食鹽水的數據記錄下來，並且用不同顏色的筆，將酒精和飽和食鹽水的數據一起標誌在圖 10 的 B 座標圖上，如圖 11。
6. 引導學生比較並討論不同物質在座標圖上的差異和關連。

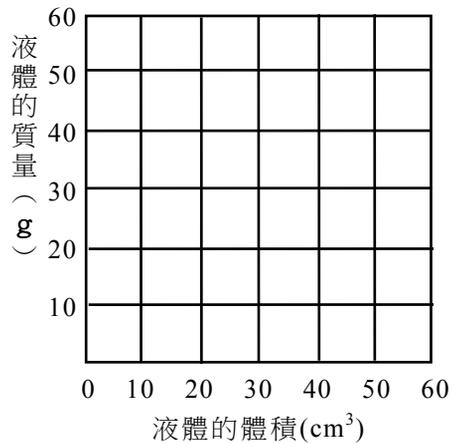
(二) 教學引導說明：

在學生完成大多數的學習活動，並且對於密度的定義及概念有基本的認識後，此部分教學活動主要是讓

學生實際動手測量液體的密度，並訓練學生實驗操作的能力。本活動先從水的密度測量出發，再逐步進展到其他液體密度的測量，如酒精和飽和食鹽水，並比較它們之間的差異。



A 圖



B 圖

圖 10、液體質量—體積座標圖

在水的密度測量部分，目前主要教科書均編有此部分之活動，教師可自行參閱相關實施細則。當學生測量完畢時，會發現大家所量測到的水密

度值大約是相同的，此時教師便可引導學生討論並引介出「密度可作為物質的特性」的概念。

接下來，讓學生將所得數據繪製成體積－質量的座標圖，不僅僅將密度的概念量化，同時也以圖像化的方式加強學生學習的記憶，並加強學生對於圖表的理解能力與熟練度。在此典型的實驗活動操作過程中，除了科學過程技能的訓練外，透過適當的提問教師也可創造出許多讓學生思考、討論和辯證的機會。

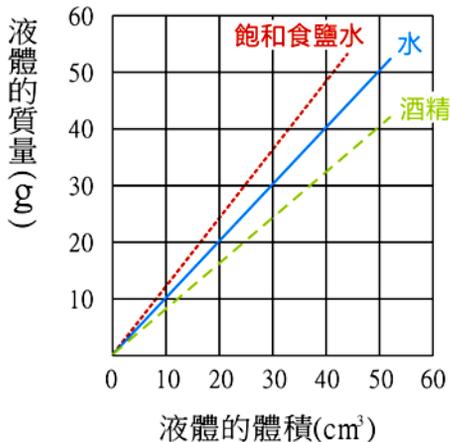


圖 11、三種不同液體密度座標圖之比較

在學生對於水的密度測量方法和技巧有相當程度的練習後，接著便可讓學生以同樣的實驗操作方式，測量酒精和飽和食鹽水這兩種液體的密度。當學生將三種不同液體的實驗數據同時標誌在座標圖上時，很直接就能發現水、酒精及飽和食鹽水三種不同液體密度的曲線圖之間的差異，

此時教師便可引導學生討論為何三條曲線在座標圖中所呈現的斜率則會不一樣、斜率所代表的意義和密度有何關連等問題，從圖表中了解不同物質密度的特性以及達到比較的功用，更能清楚的呈現實驗的效果。此外，教師也可藉由適當的提問讓學生思考食鹽水之密度為何會比水大的原因，為接下來的活動預作準備。

活動五：食鹽水的奧秘

(一) 教學活動流程：

1. 準備兩個各裝有 100ml 水的量筒，稱為甲杯和乙杯。
2. 在乙杯中加入 4g 的食鹽，讓學生仔細的觀察食鹽溶解的過程，提醒學生注意觀察體積的變化，並將溶解前和溶解後的體積變化畫下來，如圖 12。
3. 教師利用適當的提問讓學生體會並了解溶解現象、密度以及粒子分佈密集度三者之間的關係，並整合先前所學概念。

(二) 教學引導說明：

完成不同液體的密度測量和討論後，最後本活動主要讓學生觀察食鹽溶解在水中時，溶液體積變化和密度之間的關係，同時本活動也要將密度的相關概念做一個整合，學生必須將先前所學概念應用於此活動中，因此在整體教學活動設計方案上具有最後統整之關鍵且重要的地位。

首先，一開始在乙杯加入 4g 的食鹽，食鹽尚未溶解前，食鹽的體積會排開水量，使得乙杯水水位上升；食鹽開始溶解的過程中，水位會慢慢下降，最後食鹽完全溶解掉時，水位則會回到原本 100ml 的位置，詳細現象變化如圖 13。

活動至此階段老師便可以提問：「為什麼剛加入食鹽的時候體積上升，但溶解的過程體積卻下降了昵？」、「溶解後的食鹽跑到那裡去了昵？」引導學生推測食鹽的小顆粒已塞進去水的縫隙裡面，並在圖 14 中畫下自己的想法。

此時先前的活動三濃度實驗的粒子分佈密集度概念就成為學生很重要的先備概念；由於先前粒子分佈密集度概念的建立，學生便能夠理解將食鹽溶解後變成為微小粒子分佈在水中，反之，若沒有先建立好微觀粒子的概念，學生則不易在圖中畫出食鹽粒子的分佈，在教學的過程中，

就較難去幫助學生學習密集度的概念，這也是為什麼在先前一定要插入一個看似不相關的濃度實驗之原因。

當學生能夠在圖中畫出食鹽粒子分佈狀況的時候，圖像便會很明顯表現出疏密度的不同，相當程度上也會與濃度實驗的疏密度做連結，以此為重要的基礎，搭配活動四食鹽水密度測量測結果，讓學生討論「為什麼食鹽水的密度會比水來的大？」、「你覺得是什麼因素使密度改變了呢？」，藉此讓學生清楚的將疏密度與密度之間的關係完整的連結，並且讓學生能夠用自己的意思表達解釋。

最後，將硫酸銅溶液與食鹽水溶液作圖像式的連結，如圖 15，讓學生清楚的了解密度與顏色深淺所隱含的粒子分佈密集度的概念，也就是粒子分佈密集度可表現在密度的量值上，也可表現在溶液顏色的深淺度上，並統整完整的觀念。

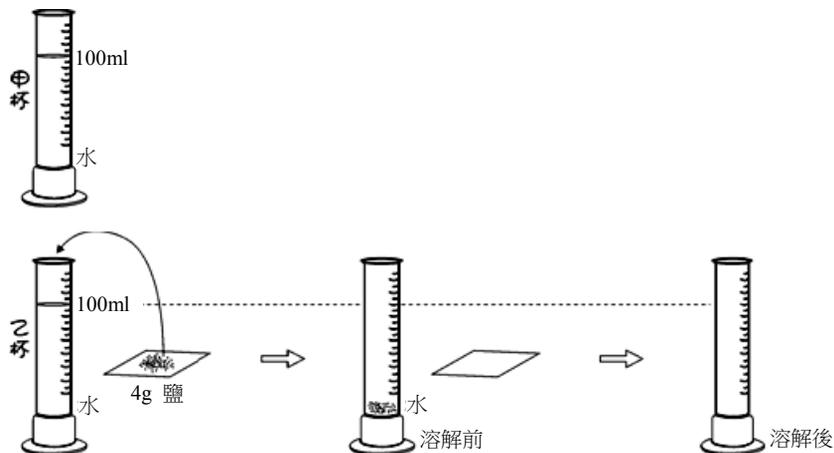


圖 12、水加入食鹽後體積變化記錄圖

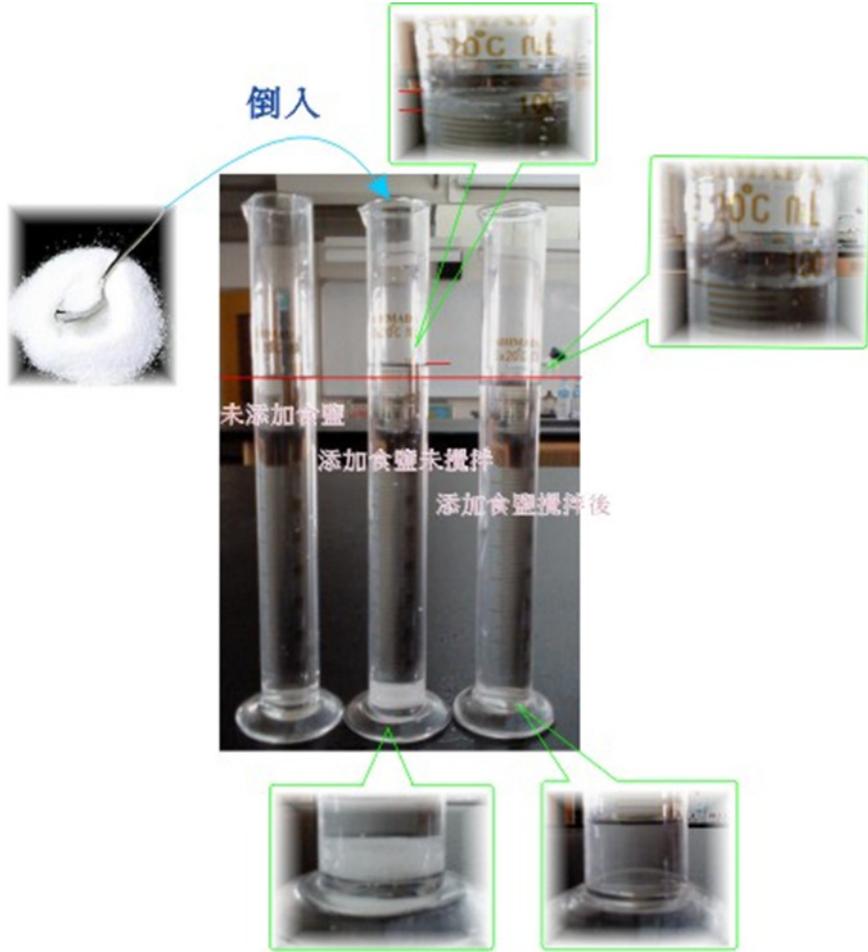


圖 13、水加入食鹽後體積變化示意圖

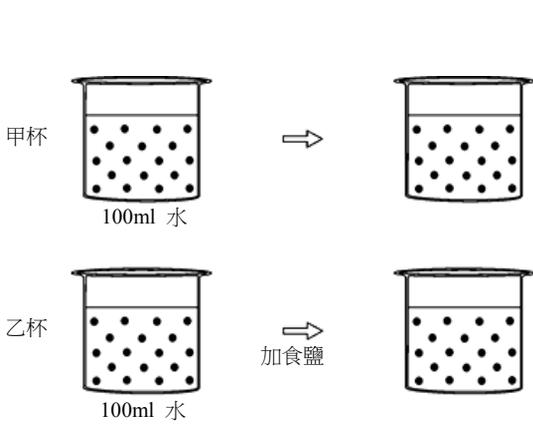


圖 14、食鹽溶入水中後粒子分佈變化記錄圖

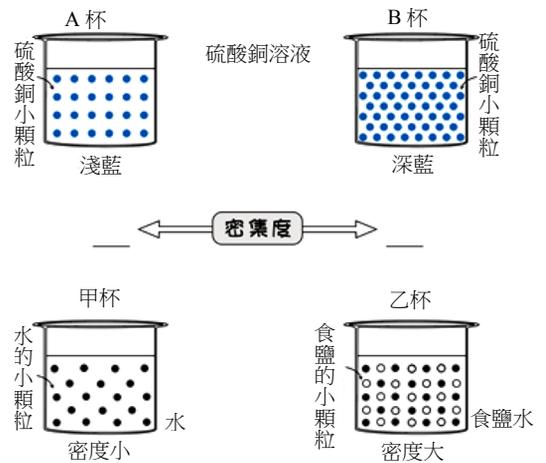


圖 15、密度與顏色深淺所隱含之粒子分佈密集度圖像概念示意圖

如前所述，本活動在整體教學活動設計方案上具有統合先前所有活動及整合所學概念之地位，學生需要應用先前各個活動所學概念，以解釋本活動之現象及其背後所隱含之原理和概念，因之本活動乃屬於學習環中的概念應用層次。除此之外，本活動也具有將巨觀現象以及微觀圖像兩種不同概念層次整合之功能，教師若能藉此活動順利引導學生瞭解密度在不同層次上的涵意，將可協助學生建立更完整的密度概念。

參、試教結果

作者以準實驗研究法探討本密度概念教學活動設計之教學成效結果顯示，學生在密度概念學習成果上具有相當優良之成效，且學生對於粒子疏密度概念也有較佳的理解；另根據學生在教室氣氛問卷中的填答分析結果，本教學活動設計除了可促使學生積極參與外，對學生探究能力以及合作行為的培養上亦能達到優良之成效。此外，根據學生的晤談資料分析顯示，本教學活動設計可提供明確的程序和足夠的認知基礎，例如，將不同物體切成同樣的體積大小並且刻意以鋁箔紙包覆，以引導學生了解密度的意義；或者以不同藍點密度的色紙暗示溶液顏色深淺與粒子疏密度的關係等。學生除了可以明確知道教師希望他們做些什麼，也可以在獲得足夠的引導和提示下，經由同儕討論和解釋逐步地形成科學知識；問卷分析資料也顯示，學生可以順利的完成這些探究活動，並從中

發現教師希望他們了解的概念。

使用過本教學活動的老師也認為，只要能適時的給予學生提示或提問等引導策略，學生確實大多均能透過討論而獨力對一連串的現象做出適當的解釋，亦從中學習到正確的科學概念；不論是在實驗或討論的過程，透過小組合作的方式，學生在各項社會技能上面都有明顯而長足的進步。詳細教學研究結果請參見作者刊載於科學教育學刊之文章（顧炳宏、陳瓊森和溫熾純，2011）。

以下即另外就本教學設計中各個活動教學提出相關建議：

活動一、二：

由於活動的進行需要數種材質的大小質塊，金屬質塊可至金屬材料工廠或金屬器材行購買，教師可選購截面積為正方形之金屬條，並請工廠師傅以適當長度協助裁切；木塊可至木材行購買；至於壓克力則可至壓克力材料行或看板設計工廠詢問。此外，一般線切割工廠均提供物品切割之服務，教師可將購買到之材料委託其代為處理，可更為精準的掌握切割尺寸。

當老師提問：「你覺得為什麼這些體積相同的物體，它們的質量卻不同？」時，學生可能會回答：「因為裡面材質不同」或「因為密度不同」，這時教師可進一步再提問：「你怎麼知道這裡面材質不同，它看起來都一樣阿」或「那麼密度是什麼意思呢？」主要在於讓學生盡量就觀察物體本身去思考，而盡量不是以個人先入為主的想法做

直接的反應。另外，建議教師應盡量準備有泡棉或保麗龍材質之質量塊，讓學生能意會到「空心程度」是影響質量大小的重要因素。

活動三：

教師可以紅色色素「紅花米」粉末(顧炳宏, 2007) 替代硫酸銅粉末，亦可達到同樣之效果且無需製造重金屬廢液，惟需將色紙中的藍色顆粒改為紅色顆粒。

活動中所使用的色紙遠看若要很輕易便讓學生可分辨出顏色的深淺，那麼淺色紙中的顆粒組成便要稀疏，但若太稀疏卻可能讓學生看出點狀而非整片的藍色，因之若要達到教學效果，色紙中顆粒的疏密度需要仔細的考量。作者經多次嘗試，歸納出三種較為適合之疏密度，可在一般教室長度下即可達到不錯的效果，讀者如有需要可另外向作者索取圖檔自行複印。

活動四：

在測量水的密度前，教師可先詢問學生相關的實驗方法、設計和原理，例如：「同學，既然我們已經知道密度的公式是質量除以體積，那麼請問你要如何測量水的密度呢？」讓此次實驗活動免於流於單純食譜式的實驗，同時，也可提醒學生需要先量測量筒之質量，以便完成實驗之後相關數據的計算。

在實驗測量技巧方面，教師可讓學生使用電子天平以加快實驗之速度。另外，學生在測量液體密度時，通常第一組數據

(10ml) 誤差較大，這是因為當液體量少時，些微質量上的差距對液體總質量會有較大之影響，因此除了量筒本身需保持乾燥外，教師也需提醒學生注意滴管的使用，以及量筒中的液量需細心估量。

肆、討論與結論

本教學設計的每個活動，均著重於如何將密度概念由抽象的描述轉為具體的感受，讓學生從實際動手做、觀察和體會的過程中理解關於密度概念不同面向上的意義。

前述提到，密度概念常見的兩種教學方式效果並不高，除了可能造成學生的迷思之外，也往往容易流於老師向學生解釋現象的單向教學。為了避免這樣的問題，除了設計適當的實驗活動之外，將這些教學活動做有效的組織與安排，使學生可以在其能力範圍內進行適當的探究與討論，亦為本教學活動設計的重要考量。教師在實施本密度概念教學活動設計前，應先瞭解學習環教學模式之原理原則，讓學生從探索和討論中進行概念的建構，同時培養學生觀察、組織、歸納…等科學過程技能；詳閱本文所附相關之參考文獻也可讓教師更瞭解本教學活動設計之內涵，並更能掌握密度概念教學之重點。

參考文獻

- 教育部 (2003)。國民中小學九年一貫課程綱要。臺北市：作者。
- 顧炳宏 (2007)。粒子觀點之引導探究式教學活動設計。物理教育學刊, 8 (1),

49-62。

顧炳宏、陳瓊森和溫嫩純 (2011)。從學生的表現與觀點探討引導發現式教學作為發展探究教學之折衷方案角色的成效—以密度概念為例。《科學教育學刊》，19 (3)，257-282。

DeMeo, S. (2001). Beyond density: An inquiry-based activity involving students searching for relationships. *Journal of Chemical Education*, 78(2), 201-203.

Eisenkraft, A., & Anthes-Washburn, M. (2008). Assessment of investigations. In J. Coffey, R. Douglas, & C. Stearns (Eds.), *Assessing science learning* (pp.

145-165). Arlington, VA: NSTA Press.

Hawkes, S. J. (2004). The concept of density. *Journal of Chemical Education*, 81(1), 14-15.

Hitt, A. M. (2005). Attacking a dense problem: A learner-centered approach to teaching density. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 42(1), 25-29.

National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

附錄、密度概念工作單

活動一：它不重，它是……

- 桌上放了好幾塊用鋁箔紙包起來、體積一樣的物體(編號 1、2、3、4…號)。只能用手掂掂看，不可以將鋁箔紙撕開，猜猜看哪一塊比較重？先將預測的結果依序排下來，填在下表「預測」的欄位中。

質量順序 (預測)	___號							
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------

- 終於要宣佈答案囉！先秤秤看各物體的質量(但是還不能打開鋁箔紙喔！)，將物體按照質量由重到輕的順序排列，再把編號依序填在下圖的方塊中，並將數值記錄下來。並且猜看看各個物質的名稱。

最重 -----> 最輕

	___號						
質量 (g)							
物體名稱 (預測)							
物體名稱 (實際)							

3. 因為每個物體外觀看起來都相同，讓我們想像一下鋁箔紙內部的狀況。為什麼每張鋁箔紙包起來的體積大小都相同，但是可以包含的質量大小卻不同？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

4. 請同學把鋁箔紙拆開，在上表寫下它們的名稱，並跟之前預測的結果比較一下。感覺一下，現在你覺得為什麼 1 號和 2 號的質量會相差這麼多呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

活動二：原來如此

1. 測量一下 1 號和 2 號物體的體積(V_1)大約是_____立方公分，然後用計算機算出兩物體，其質量除以體積各是多少?(寫到小數點後兩位)

小隊討論
1 號是_____，質量(M_1)是_____ g， $M_1/V_1 =$ _____ $\frac{g}{cm^3}$
2 號是_____，質量(M_2)是_____ g， $M_2/V_1 =$ _____ $\frac{g}{cm^3}$

2. 老師現在給大家一個 1 cm^3 的銅塊和一個 1 cm^3 的鋁塊，把不同大小的銅塊和鋁塊擺在一起，觀察比較一下，並將結果畫下來。

銅塊

鋁塊

繪圖區

3. 你覺得這 1 cm^3 的銅塊和一個 1 cm^3 的木塊的質量分別應該是多少？如果它們都放大到和 1 號、2 號一樣大的時候，你認為它們會變如何？

我的想法	小隊討論	老師講解
1 cm^3 銅塊質量應該是__g	1 cm^3 銅塊質量應該是__g	
1 cm^3 木塊質量應該是__g	1 cm^3 木塊質量應該是__g	
放大時：	放大時：	

統整 1 我們把物質每單位體積所含有的質量，叫做該物質的_____。

它們的關係式如下：



$$\text{密度()} = \frac{\text{物質的質量()}}{\text{物質佔有的體積()}}$$

$$= \text{物質每單位體積所含有的質量}$$

體積相同的物體，質量越大，密度就越_____。例如體積相同的木塊和銅塊相比較，銅塊的質量比較_____，所以銅塊的密度就比木塊還要_____。

統整 2 密度的單位，我們通常都用『g/cm³』(也就是每立方公分有多少公克)。

例如銅塊的密度是_____g/cm³，就表示每立方公分的鐵就有_____公克重；木塊的密度是_____g/cm³，就表示每立方公分的木塊就有_____公克重。

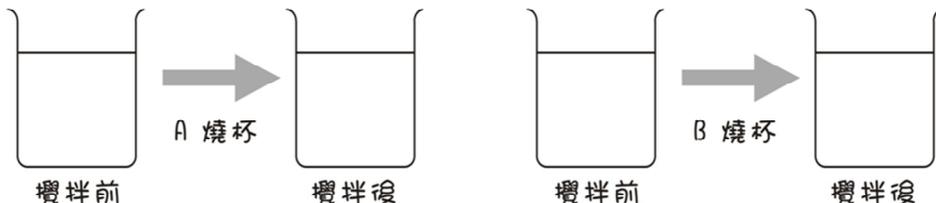
統整 3 對同一種物質而言，即使它的體積大小不同，_____(會或不會)改變該物質的密度。所以我們知道，把銅塊切一半，這半塊的銅塊的密度_____(會或不會)改變。

活動三：當我們「擠」在一起

- 現在桌上有四個同體積的物體，分別是鐵塊、木塊、保利龍塊、海綿塊。試著切切看，並觀察一下每個物體內部的樣子。你覺得，為什麼體積相同的東西，質量會不同呢？

我的想法	小隊討論	老師講解

- 現在有 A、B 兩燒杯(相同水量)，在 A 燒杯加入一匙藍色硫酸銅晶體，在 B 燒杯加入三匙藍色硫酸銅晶體。攪拌之後仔細觀察兩燒杯內溶液的情形，將攪拌前後的狀況畫下來。



- 你覺得為什麼最後 B 燒杯的顏色會比較深？

我的想法	小隊討論

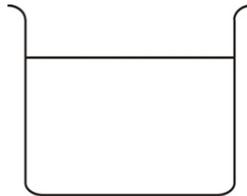
4. 現在老師準備了兩張藍色的紙，遠遠的看你可以看的出這兩張紙有什麼區別嗎？

ANS : _____

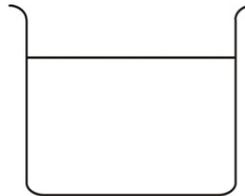
5. 老師現在把這兩張紙發下去，你發現了什麼？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

6. 現在你覺得，為何兩杯硫酸銅溶液試管的顏色會有深淺的差別。請你把它畫下來。



A 燒杯的情況



B 燒杯的情況



統整 1 硫酸銅溶解在水中會變成許多小小顆的_____。含較多硫酸銅的溶液，因為藍色小顆粒的分佈較為_____所以顏色較深；含較少硫酸銅的溶液，因為藍色小顆粒的分佈較為_____所以顏色較淡。

但是兩杯溶液中，個別單顆硫酸銅小顆粒的顏色則是_____的。

統整 2 「密度」的意義不只是 $D = \frac{m}{V}$ ，它還帶有_____的意思，也就一固定_____內可以塞進多少的_____。密度較大的物體，其內部會比較_____或有較_____的空隙；密度較小的物體，其內部會比較_____或有較_____的空隙。

在同一體積下，密度越大的物體，所含_____越多，或_____越濃。

密度越小的物體，所含_____越多，或_____越淡。

7. 桌上有兩個質量相同的鐵塊和木塊，觀察一下他們在外觀上有什麼不同並畫下來。

繪圖區

8. 請你運用密度的觀念解釋看看，你覺得為什麼質量一樣的東西，體積卻會不同？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

統整 3 在同一體積下，密度越大的物體，所含_____越多，或_____越濃。

密度越小的物體，所含_____越多，或_____越淡。

在同一質量下，密度越大的物體，其體積越_____。

密度越小的物體，其體積越_____。

活動四：水的密度

1. 學完密度的基本觀念，我們要來測測看水的密度是多少囉！不過，先考你一下，你覺得水的密度要怎麼測呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

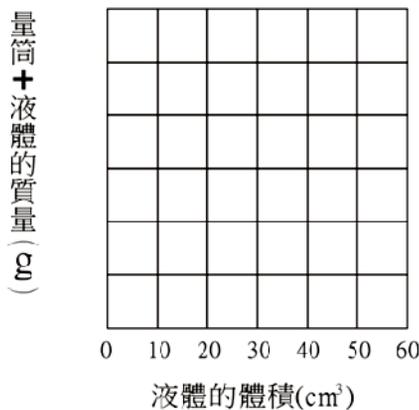
2. 把水注入量筒內到 10mL 的刻度（現在水的體積就是 10 cm³），再測量現在量筒與水的總質量，將數據填入下表中。
3. 重複上一個步驟，每次增加 10mL 的水，直到量筒內的水達 50mL。



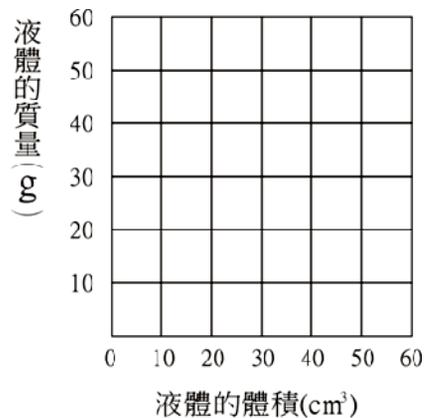
量筒的質量 = _____ g				
實驗次數	水的體積 V (cm ³)	(量筒+水) 的質量 (g)	水的質量 M (g)	水的密度 $d = \frac{M}{V} (g/cm^3)$
1				
2				
3				
4				
5				

水的密度平均值是 _____

4. 請同學根據上面的數據，完成下面兩個圖。
- A. 以（量筒+液體）的質量為縱座標、液體的體積為橫座標。
- B. 以液體的質量為縱座標、體積為橫座標。



A



B

5. 實驗中所使用的水是從不同地方取來的，但根據大家實驗數據所算出水的密度是否相同？可不可以把密度當成水的特性之一呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

6. 在 B 圖中，所描的點最接近什麼圖形(直線、拋物線或…)？這樣的圖形代表著什麼意思呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

活動五：再接再厲！

1. 完成了水的密度測量，接下來我們再試試看「酒精」和「飽和食鹽水」吧

<u>酒精</u> 量筒的質量 = _____ g				
	體積 (cm^3)	質量 (量筒+液) (g)	液體質量 (g)	液體密度 ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)
1				
2				
3				
4				
5				

<u>飽和食鹽水</u> 量筒的質量 = _____ g				
	體積 (cm^3)	質量 (量筒+液) (g)	液體質量 (g)	液體密度 ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)
1				
2				
3				
4				
5				

2. 用不同顏色的筆，在 B 圖上將酒精和飽和食鹽水的實驗數據標註上去。比較一下，水、酒精、飽和食鹽水這三者的曲線圖有何不同？從這樣的圖中可以得到什麼樣的結論？

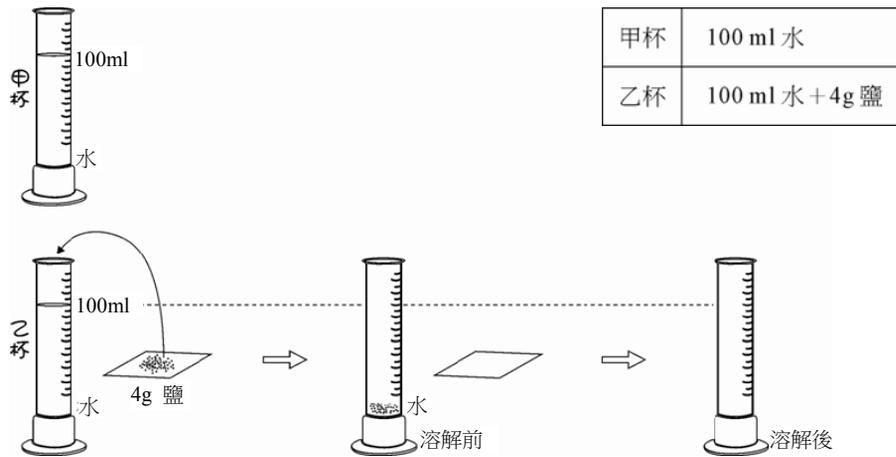
我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

統整 1 在相同溫度下，物質的密度是_____，也可以說，_____是物質的特性之一。

統整 2 在常溫下，水的密度大約是_____；酒精的密度大約是_____；油的密度大約是_____。

活動六：猜猜誰最「重」！

1. 桌上有三種不同的溶液組合如右表。請將其溶解前和溶解後總質量和總體積的變化記錄下來。



2. 從上面的實驗中，計算一下兩杯溶液的密度各是多少？

甲杯 水的密度 = _____ g/cm³ 乙杯

3. 為什麼食鹽溶解完之後，水位又會回復到原本 100ml 的位置，食鹽跑去哪裡了呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

4. 拿出你的鉛筆，畫畫看食鹽跑到哪裡去了

5. 經過上面的討論，你覺得為什麼食鹽水的密度會比水來的大？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

6. 你覺得水和食鹽混合之後密度會改變嗎？如果會，你覺得是甚麼因素使密度改變了呢？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

7. 還記得之前的實驗，兩杯硫酸銅溶液的顏色有深藍和淺藍的差別，是因為『密集度』的不同。想一想，水與食鹽水的實驗中，甲、乙兩杯密度的不同與密集度有關連嗎？

我的想法	小隊討論	老師講解
------	------	------

統整 密度的意義包含了物質被裝起來的『_____』。

深藍色硫酸銅溶液中，所含硫酸銅較____，硫酸銅顆粒分佈密集度較____。

水與食鹽水的例子中，食鹽水溶液中物質分佈密集度較____，所以密度較____。

活動七：動腦時間～～

動腦時間 1 想一想，我們自己的密度大概是多少呢？要怎麼測呢？每個人的密度都一樣嗎？為什麼？

動腦時間 2 1 公斤的鐵塊與 1 公斤的棉花，哪個質量大？哪個體積大？哪個密度大？

活動八：密度大觀園

學過了密度的概念，以下有幾個關於不同物質密度的有趣問題，請藉由書籍或網路查詢相關資料，整理成簡單的報告。

1. 水的密度為何是 1g/cm^3 ？
2. 金的密度為多少？如果一個皮箱中($40\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 10\text{ cm}$)裝滿了金塊，你提的動嗎？
3. 密度最大的液體是？同體積的水銀和同體積的水質量差別多少(以 30 cm^3 為例)？
4. 請你查詢一下「碳纖維」、「金鋼石(鑽石)」以及「石墨」的密度各是多少？為什麼它們的強韌度會差這麼多呢？
5. 近來科學家製作出了一個密度最小的固體：氣凝膠，請問它的特性和應用性為何？
6. 恐龍滅絕的原因有很多種解釋，其中一種是外來的隕石撞擊地球，使得地球產生巨大的環境改變以致恐龍無法適應而滅亡。請問，科學家是如何知道這件事的？

補充資料(有趣的科學小故事)



◎為什麼水的密度會大約為 1g/cm^3 呢？

很久以前，世界各國通行種類繁多的長度單位，對商品的流通造成許多麻煩。一直到 1791 年，法國決定採用「通過巴黎的地球子午線的四分之一的千萬分之一」定為 1 公尺(米)。從 1792 年開始，法國天文學家便開始測量通過巴黎的子午線，並根據測量的結果製成了米的鉑銥原器，從此統一了所有的長度的計量。

而最初的千克質量單位就是根據法國採用的長度單位「米」推導而來的，也就是先將 1 公升(1000cm^3)純水在最大密度(溫度約為 4°C)時的質量定為 1000 克。1799 年法國在製鉑質米原器的同時，再根據此製成了「鉑銥合金圓柱」的千克基準，保存在巴黎國際度量衡局裡。這也就是水的密度為何會大約為 1g/cm^3 的原因。

◎金的密度

◎密度最大的液體：汞(水銀)

◎密度最小的固體：氣凝膠

◎密度最大的金屬：鈹