科學教育學刊
2011, 第十九卷第三期, 257-282

Chinese Journal of Science Education
2011, 19(3), 257-282

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

顧炳宏[1]　**陳瓊森**[2]　**溫嫩純**[1、*]

[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　物理學系

(投稿日期：民國99年9月9日，修訂日期：民國100年5月18日，接受日期：民國100年6月1日)

摘要：本研究目的在發展一介於探究教學和食譜式實驗之間，可作為折衷方案的教學方式——引導發現式教學。研究採準實驗研究設計，針對四個班、總人數135位的八年級學生，以質性、量化資料收集與分析方法並行的方式，探討前述三種不同教學方式對學生的學習成效影響有何差異，並從學生的觀點了解其對於不同教學方式的知覺為何。本研究藉由「密度概念診斷測驗」及「理化教室氣氛問卷」為工具，以前、後測方式收集量的資料並採ANCOVA統計分析，以探討不同開放程度的探究教學策略對學生不同面向上之學習成效與差異；接之以問卷統計結果為基礎，挑選學生與之晤談以收集質性資料，以瞭解學生對於不同教學方式的感受和看法；綜合質與量的資料檢視不同開放程度探究教學之效益和效率。研究結果發現，在概念學習成效上，引導發現式的教學在密度概念學習成效上優於探究教學以及食譜式實驗教學。其次，在學生探究能力培養上，相較於探究教學，引導發現式教學能提供同等的機會和成效且較具引導性。最後，引導發現式教學較可符合教師在現實課室環境中的需求，並作為協助教師改變教學之有效適應性方案。

關鍵詞：引導發現式教學、物理教學、密度概念、探究教學

壹、前言

過去五十年來，「探究」一直是科學教育社群主要關心的議題之一(DeBoer, 1991)。探究除了被理論學者、政策制訂者，以及教學實務工作者視為主要目標之一(教育部，2003；American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1990, 1993; Anderson, 2002; Committee on the Development of an Addendum to the

*通訊作者：溫嫩純

National Science Education Standards on Scientific Inquiry & National Research Council [NRC], 2000; National Committee on Science Education Standards and Assessment & NRC, 1996)，也是有效教學和有效學習的代名詞(Anderson & Helms, 2001)。然而，探究教學長期以來並無法取代傳統食譜式實驗的教學形式而成為普遍存在的課室現象(Abd-El-Khalick et al., 2004; Champagne & Klopfer, 1977; DeBoer; Roehrig & Luft, 2004; Welch, Klopfer, Aikenhead, & Robinson, 1981)。

造成探究教學無法普遍施行的主要原因在於探究教學在實務施行上會遭遇到許多困難(Abd-El-Khalick et al., 2004; Anderson, 2002; Anderson & Helms, 2001; Jeanpierre, Oberhauser, & Freeman, 2005)，其中較根本的為學生能力不足和隨之引起的教學掌控問題。在Lawson (2002)以及Welch等(1981)的研究中提到，探究對大多數學生而言是困難的、會引起困惑的，並使得教師因難以控制教室秩序和預定的教學程序而放棄使用探究教學。

透過文獻探討和分析(詳述於後節)，上述探究教學困難的成因乃源自於實施探究教學時，所使用之諸多科學探究活動要素對學生而言可能是難以掌握的，這種狀況會驅使教師退守到較單純、易執行但成效卻相當有限(Roth, 2006)的食譜式實驗教學。簡言之，教師在嘗試使用探究教學而遇到困難時，由於沒有其他可以作為折衷策略的教學模式可供運用，通常只能選擇回到較為傳統的食譜式實驗；又或者可以說，探究教學和食譜式實驗教學中間存在的鴻溝太大，在缺乏踏腳石的情況下使得教師無法輕易跨越。因此，如何在探究式教學和傳統課室教學兩者之間發展一較為可行且有效的折衷教學方案便是一個重要的課題(Abd-El-Khalick et al., 2004; Anderson, 2002; Anderson & Helms, 2001)。此外，鑑於探究式教學之成效尚無定論(Blanchard et al., 2010)，因此不同教學型態對學生學習上之影響的比較仍待持續的研究。

根據上述，本研究目的在發展一介於探究教學和食譜式實驗之間，可作為折衷方案的教學方式——引導發現式教學，探討探究教學、引導發現式教學和食譜式實驗教學三種不同教學方式，以及，對照傳統講述式教學，對學生的概念學習成效有何差異，並從學生的觀點了解不同的教學方式對學習會產生何種影響以及它們之間的差異會是如何。

本研究擬以密度概念為教學單元，以上述三種不同教學方式設計教學活動，蒐集相關資料以探討如下待答問題：

一、探究教學、引導發現式教學和食譜式實驗教學三種不同教學方式，對照傳統講述式教學，對學生在密度概念學習成效之影響和差異為何？

二、學生對於不同型態的教學活動，其感受與看法有何差異？

貳、文獻探討

一、探究教學

(一)探究教學和科學探究要素

探究教學建基於建構主義之上，強調學習者經由問題解決的過程主動建構個人的知識、能力和興趣(Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry & NRC, 2000)。方法上，許多學者建議可透過不同科學探究活動歷程讓學生參與、體驗並了解科學知識建構的歷程(Dewey, 1933; Herron, 1971; Martin-Hansen, 2002; Schwab &

Brandwein, 1962; Trowbridge & Bybee, 1986)。雖然科學探究方法相當多元，科學研究亦沒有固定的科學方法，但學者仍提出一些較為簡化的過程以利教學上的應用，整理學者的看法可發現共同的科學探究要素(如表1)。

除了學者的看法外，官方文件如美國國家科學教育標準(National Science Education Standards; National Committee on Science Education Standards and Assessment & NRC, 1996)和探究與美國國家科學教育標準(Inquiry and the National Science Education Standards; Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry & NRC, 2000)對於進行探究活動時所經歷的各項科學探究要素均提出類似的看法，包括形成問題、建立假設、設計實驗、蒐集和分析資料、解釋資料……等，讓學生從中模擬並體驗科學家的探究過程，藉此使學生能真正投入並了解科學知識建構的歷程。這些要素也對下述探究活動開放層次之分類方式，有著一定程度的影響。

(二)科學探究要素和探究活動的層次分類

Schwab與Brandwein (1962)最早將科學探究活動區分為開放式探究(open inquiry)和引導式探究(guided inquiry)，Herron (1971)依Schwab & Brandwein的分類再加上另一個層次——零層次(見表2)，即問題、方法、步驟和答案均提供給學生，學生只是驗證已知的結果而已。

Hegarty-Hazel (1986)加以精緻了Herron (1971)的分類方式，在分類項目上進一步加入了「實驗器材」一項，將層次2再分為二個層次(2a, 2b)；差別在於實驗；差別在於實驗器材的提供與否。各層次整理如表3。

表1：不同學者所提出的科學探究要素及其共同交集

科學探究要素	學者				
	Dewey (1933)	Schwab (1962)	Herron (1971)	Trowbridge & Bybee (1986)	Martin-Hansen (2002)
定義和確立問題	◎	◎	◎	◎	◎
建立假設	◎		◎	◎	
設計或選擇實驗方法			◎	◎	◎
蒐集、分析資料	◎	◎	◎	◎	◎
解釋資料		◎	◎		◎
考驗假設	◎			◎	◎
陳述結論或形成知識	◎	◎	◎	◎	◎

註：◎表示學者所認為科學探究應包含之過程活動要素。

表2：Herron (1971)探究活動開放程度分類表

層次	問題	方法	答案	型式名稱
0	提供	提供	提供	驗證式實驗
1	提供	提供	開放	結構式探究
2	提供	開放	開放	引導式探究
3	開放	開放	開放	開放式探究

註：Colburn (2004)認為結構式探究易演變成食譜式實驗，因此與層次0的驗證式實驗相似。

表3：Hegarty-Hazel (1986)探究活動開放程度分類表

層次	問題	實驗器材	方法	答案	型式名稱
0	提供	提供	提供	提供	驗證式實驗
1	提供	提供	提供	開放	引導式探究
2a	提供	提供	開放	開放	開放引導式探究
2b	提供	開放	開放	開放	開放引導式探究
3	開放	開放	開放	開放	開放式探究

探究與國家科學教育標準(Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry & NRC, 2000, p. 29)對於探究的開放程度有一較正式的界定，根據探究教學的五項基本要素：(一)問題的來源，(二)證據的收集，(三)根據證據形成解釋，(四)將證據與科學知識作連結，以及(五)傳達與證明解釋，將探究教學劃分成四種不同的開放程度。

總結上述關於科學探究要素和探究層次分類的討論中可以了解，學者建議可透過科學探究活動讓學生主動建構屬於自己的科學知識，這些科學探究要素如形成問題、建立假設、設計實驗、蒐集資料以驗證假設等自然成為探究教學中的主要核心活動。因之，探究活動開放層次的分類依據，即來自於針對這些核心活動的思考。表4之雙向對照表即呈現出探究層次分類所依據之向度和科學探究要素兩者之間的關係。

二、發現式教學

發現式教學法指的是，教師在學生學習概念和原理時，不是將教材的最後形式直接提供給學生，而是提供學生一種問題情境，只是給學生一些事實(例)和問題，讓學生積極思考、研究，自行發現並掌握教材的知識結構的一種方法(Bruner, 1960, 1961)。不過Skinner (1968)批評有些發現式教學法給予學生太少的引導，學生在這樣的教學過程中，不止極為耗費時間且「真正的發現相當的少」，因而提倡教師引導發現(guided-discovery)。

引導發現式教學指的是在學生進行探索前或探索的過程中給予指示和引導，將教材組織為有用的形式，以提問的方式與學生互動，鼓勵學生主動參與學習，經由觀察、操作、討論、推理、歸納和綜合等學習活動，讓學生在探索的過程中發現原理原則。許多研究顯示引導發現式教學成效優於純發現式教學(Craig, 1956; Gagné & Brown, 1961)，

表4：探究活動分類依據向度和科學探究要素雙向對照表

探究活動分類依據向度	科學探究要素
問題	發現問題 定義和確立問題
方法	建立假設 設計實驗或選擇實驗方法 蒐集、分析資料
答案	解釋資料 陳述結論或形成知識

Collette與Chiappetta (1989)認為，引導發現式教學可增進學習成效和節省教學時間。

三、探究式教學v.s.發現式教學

探究式教學為一種讓學生從發現及解決問題的過程中學習知識和技能的教學方法；在探究的過程中，學生經由發現問題，認清問題的所在，提出可能的假設，擬定可行的解決方案，驗證假設並獲致結論(張清濱，2000；張靜儀，1995；劉宏文，2004)。

探究式教學和發現式教學有何不同呢？Trowbridge與Bybee (1986)指出，發現是一種理解概念或原理的過程，它包括了觀察、分類、測量……等；而探究則是用各種方法去解開與問題相關之各因素之間的相互關係，它是一種定義及研究問題的過程，包含了形成問題、構思假設、設計解決方法等。探究乃包含了發現的過程，發現則是探究歷程的一部分，如圖1。

此外，根據Bruner最初的原意，發現學習並非指發現前所未見之事物，而是指個體本身去發現。所謂「發現」是指重新安排或轉換既定的事實，使產生一種新的領悟(Bruner, 1960, 1961)，因此發現學習中學生掌握的知識大多是學習者未知而他人已知的知識；也就是說，教師會以學生將要學習的教材作為提問的依據，讓學生在探索的過程中發現既定的原理原則。相對而言，探究學習中待探究的結果是開放的，可能是已知的也可能是未知的，可能有一個結果也可能有多個，因此往往可以學到全新的東西。

本研究因涉及不同形式之教學，茲將發現式教學和探究教學之相關名詞釋義整理如表5。

四、不同教學法對學生學習成效之影響

由於探究教學和發現式教學之間的界線和區別並不那樣明顯，兩者無法截然區分，加之以探究的定義與其在教學上所扮演的角色不明(Anderson, 2007; Minner, Levy, & Century, 2010)，因此在討論不同教學法對學生學習成效上的影響時，研究報告常會有將兩者混合使用的情況。

Klahr與Nigam (2004)比較了探究教學和直接教學兩者的教學成效，研究結果發現直接教學比探究教學更具成效；接受直接教學的學生在概念學習、科學判斷及實驗設計上都學到更多。不過Klahr與Nigam將其所使用的探究導向教學稱之為發現式教學，屬最開放形式的開放式探究教學。Mayer (2004a)評論了1950-1980年代關於發現式教學的文獻報告，提出了發現式教學成效不彰的結論。Mayer (2004b)引述Kittel在1957年以純發現

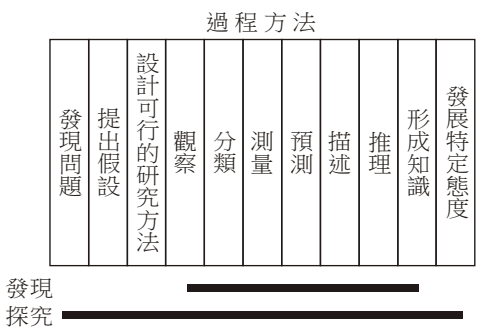

圖1：探究與發現之過程比較圖

表5：發現式教學、探究教學相關名詞釋義表

發現式教學 以學生將要學習的教材作為提問的依據，提供學生一些事實(例)和問題情境，讓學生積極思考、探索，自行發現並掌握教材的知識結構的一種方法。發現學習中學生掌握的知識指的是學習者未知而他人已知的知識。	引導發現式教學	在學生進行探索前或探索的過程中給予指示和引導，以提問的方式與學生互動，鼓勵學生主動參與學習，經由觀察、操作、實驗、討論、推理、歸納和綜合等學習活動，將教材組織為有用的形式，讓學生在探索的過程中發現原理原則。
探究教學 為一種讓學生從發現及解決問題的過程中學習知識和技能的教學方法；過程中，學生經由發現問題，認清問題的所在，提出可能的假設，擬定可行的解決方案，選擇合適的方案，驗證假設並獲致結論。在探究學習中，有待探究的結果可能是已知的也可能是未知的。	引導式探究教學	一種與開放性探究相比層次較低的探究教學形式，可以是Herron (1971)分類法中的第2層次(問題給定、方法和答案則不提供予學生)，也可以是Hegarty-Hazel (1986)分類法中的第1層次(問題、器材和方法均給定，答案則不提供予學生)。
	開放引導式探究教學	一種與開放性探究相比層次較低的探究教學形式，屬於Hegarty-Hazel (1986)分類法中的2a層次(問題、器材給定，方法和答案則不提供予學生)，或2b層次(問題給定，器材、方法和答案則不提供予學生)。

式、引導發現式和說明式教學所進行的研究，引導發現式教學對於學生訊息的延存和學習遷移上都有明顯較好的效果。Blanchard等(2010)比較引導式探究教學(層次2)和驗證式實驗教學兩種不同教學模式對學生之影響，結果顯示接受引導探究式教學的學生在概念知識、程序性知識和科學本質方面都有較好的學習效果。

總的來說，雖然有學者認為探究式教學或發現式教學能促進學生較好的學習成效(Colburn, 2000)，但其成效仍舊是未定論的(Blanchard et al., 2010)，因而不同教學之間的比較仍待持續的研究。

五、物理概念教學

不論是探究教學或是學者建議之科學探究要素，均被期望可應用於各自然學門的學科教學方式。不過就物理學科而言，由於其具有特殊的本質，因此在探討物理概念的教學時應先對物理本質有所了解後，才能進一步討論適合此種本質的物理概念教學策略。

(一)物理本質

McComas (1998)認為，從科學哲學和歷史的發展看來，物理學具有高度的抽象性與理想化的本質特性，此即所謂物理本質(nature of physics)。抽象性指的是物理所描述的許多概念如力、電場、磁場非實際存在，或者像原子、電子等非可直接觸摸或觀察到的形體，乃是科學家創造出來的思維產物。理想化指的則是物理學在解釋複雜的現象時會盡可能將影響較小因素忽略，如摩擦力、空氣阻力、將物體視為質點或剛體……等，以便使得解釋和預測成為可能。

由於抽象性，物理學原理乃源於眾多科學家思維所產出的假設性理論，藉以重構自然世界的規則，這些原理並無法憑藉學生單純直觀的觀察而取得(Duit, Niedderer, & Schecker, 2007)，因之對學生而言物理概念並不容易想像。由於理想化，對學生來說，

要從複雜且訊息眾多的外在環境現象中揀選出有用的資訊並捨棄無關或影響甚小的因素，並非是一件容易的事情(Roth, 2006)。

正因為物理學有這樣的本質存在，學習物理的困難不只在於其相當抽象與複雜，還在於其常違背直覺或直觀使得學生通常難以理解，而研究結果亦顯示學生的先備概念經常與物理學的觀點相矛盾(Driver, Squires, Rushworth, & Wood-Robinson, 1994; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994)。

(二)物理教學模式

由於前述物理本質之故，造成學生物理概念學習上的困難。在談論到物理教學時，為了讓物理學抽象的理論轉變成容易理解的概念，可使用Johnstone (1991)所提出的三角架構(如圖2)作為規劃物理教學的基本原則(De Jong & Taber, 2007; Gabel, 1999; Hitt, 2005)，讓學生可同時從巨觀(macroscopic)、微觀(submicroscopic)以及符號化(symbolic)這三個層次了解物理概念。

首先，巨觀層次指的是可直接觀察或體驗到的物質或現象，此層次因單純涉及感官體驗，因此對學生而言相對較為簡單。微觀層次指的是諸如原子、電子、質子、電壓、電流等無法直接觀察到的微小粒子或模型。最後，符號化層次指的則是關於可描述概念的數學公式或方程式，此層次對學生而言最為抽象而困難。此三個不同的概念層次彼此相互關連，且每個層次對於概念的精熟來說都同等重要(De Jong & Taber, 2007; Gabel, 1999; Hitt, 2005)。

六、當探究應用於物理概念的教學

從探究教學的角度來看，學者建議讓學生藉由完整的科學探究過程建構屬於自己的物理知識。一方面，若學生可以自行形成問題、建構假設、設計實驗方法……等，這樣的探究型態在開放程度分類法中就會被列為最高級而受到推薦。另一方面，若考量物理本質，那麼希望學生可以根據問題形成假設、設計實驗方法、分析與解釋資料等則似乎過於理想。以Johnstone (1991)三角架構中的微觀層次為例，探究教學希望讓學生有機會建立並測試自己的假說以獲得諸如電壓、電流或莫耳的概念。然而從物理本質的角度而言，抽象粒子觀點並非源於直觀的觀察，這些概念乃是科學家思維下的產物，那麼學生能否建立出與科學家相同的假說則有待商榷。根據建構主義理論，在越開放的探究型態中，學生主動參與、投入學習的程度理應越大，也較能達到深度的學習；然而就考量物理本質的物理教學而言，越開放的探究活動，學生陷入歧途和混亂的可能性也越大。

依照學者(Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry & NRC, 2000; Hegarty-Hazel, 1986; Herron,

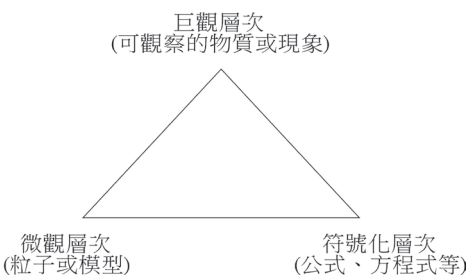

圖2：概念教學三角架構(修改自Gabel, 1999)

1971)所提出的探究活動開放程度分類表，當教師欲採用較為開放的探究教學活動時，實驗方法需開放予學生試驗，或者學生需提出假設和測試假設，但就前述物理概念本質而言，這些作法亦可能讓學生陷入混亂致使教師無法掌控班級教學的整體狀況。然而當教師再退一步採取較保守的作法，即問題、器材和方法等均提供予學生時，這樣的活動則會被視為食譜式實驗(Colburn, 2004)。

上述的討論旨在點出，當探究的方式欲應用在物理概念的教學時，很自然地會產生一些執行上的問題，但在解決策略上教師似乎又只能選擇回到成效並不突出的食譜式實驗教學方式，這也可以解釋何以目前課室教學仍然是以傳統食譜式實驗的教學為主的現況。因此，發展一個介於探究式教學和傳統課室教學兩者之間，且適用於如物理抽象概念的折衷教學方案，便是一個重要且值得探討的課題。

參、研究方法

本研究採用準實驗研究法，以質性、量化資料收集與分析方法並行。量化資料主要以「密度概念診斷測驗」和「理化教室氣氛問卷」為蒐集工具，再輔以學生晤談收集質性資料。本研究以學生「密度概念診斷測驗」之結果作為回答待答問題(一)之主要依據；而學生在「理化教室氣氛問卷」作答之分析結果和隨後進行之晤談資料，則作為回答待答問題(二)之根據。以下即針對研究設計、對象、工具、資料收集與分析，及各組教學活動設計與理念加以說明。

一、研究設計與研究對象

本研究參與者為中部某國民中學一位王姓自然科理化教師。王老師畢業於中部某國立大學物理系，具有五年以上教學資歷，且在某大學科學教育相關碩士班進修，因此除了在物理教學有所專精外，對於探究教學亦有一定程度的理解。

本研究以王老師任教的四個常態班級學生為研究對象，每班學生人數34-36人。將四個班級隨機分配為實驗組A、B、C和對照組D，其中「實驗組A」採用的是考量物理本質並參考Johnstone (1991)教學三角架構所設計的引導發現式教學活動；「實驗組B」採用如Hegarty-Hazel (1986)分類中層次2b(問題給定，器材、方法等均開放)的開放引導式探究教學；「實驗組C」採用修改自教科書版本的食譜式實驗活動；「對照組D」則採用傳統講述方式為主的教學。各組教學活動編排主要差異整理如表6，實驗組A、B、C詳細教學設計參見後節。

本研究各班教學總時數均控制為五節，每節45分鐘，合計225分鐘。將教學時數控制在一般正常教學時數的範圍內，乃是為

表6：各組教學活動編排主要差異簡表

實驗組A (引導發現式教學)	實驗組B (開放引導式探究教學)	實驗組C (食譜式實驗教學)	對照組D (講述教學)
先導活動： 從巨觀層次出發(1-2節)	先導活動： 基本測量(1節)	先導活動： 基本測量(1節)	核心活動： 密度概念講解(2節)
延伸活動： 進入微觀層次(1-2節)	核心活動： 探究活動(3節)	核心活動： 密度概念講解(1-2節)	延伸活動： 解題練習與測驗(3節)
擴展活動： 實驗操作(1-2節)	擴展活動： 密度概念引介(1節)	延伸活動： 食譜式實驗操作(2節)	

了呼應學者所說(Abd-El-Khalick et al., 2004; Anderson & Helms, 2001)，現階段相關研究焦點應著重在探討探究教學在現實的條件下如何可以發生，以及其效益和效率會是如何。

參與本研究的樣本學生均為剛升上八年級且未學習過「密度」此單元。研究進行前，先對學生以「密度概念診斷測驗」進行前測，連同學生的自然科和數學科期末考之成績，以*F*檢定比較四組學生在這三項成績上的表現，發現四組學生彼此之間均無顯著差異($F_{密度} = 1.26$，$p = .280$；$F_{自然} = 0.31$，$p = .820$；$F_{數學} = 1.33$，$p = .270$)，顯示四組學生在整體學業程度和密度概念成就上均無明顯差異。

二、資料收集與分析

本研究同時收集了量和質的資料，量的工具為「密度概念診斷測驗」以及「理化教室氣氛問卷」，探討不同教學策略對學生學習「密度」單元時不同面向上的成效與差異。接之以問卷分析結果為基礎，與學生晤談獲取質性資料，了解學生對於不同教學方式的評價與看法，以檢視不同教學策略之效益和效率。

(一)密度概念診斷測驗

密度概念診斷測驗原由李昌汶(1996)所開發。考慮到本研究樣本學生尚未學習過重量、溫度相關性、浮力以及氣體密度等部分概念，因此將此部分的命題刪除；另外，文獻(Hawkes, 2004; Hitt, 2005)指出密度概念具有「粒子排列疏密度」的重要意義，但原測驗並沒有包含此類命題，因此加入「疏密度圖像思考」的概念命題。試題經由三位物理教育專家(一位大學物理系物理教育專長教授和兩位任教年資五年以上之國中理化教師)協助審核以取得專家效度。完成之密度概念診斷測驗共包含了質量守恆、體積守恆、密度定義、密度比較、質量與密度、體積概念、體積與密度、密度恆定、比例關係、疏密度圖像思考等十個主要概念，共計29題。本測驗為單選題，計分方式為答對者計得一分，答錯則計為零分，滿分29分。試題經212位國中八年級學生進行預試並分析，結果顯示測驗各命題之難度大多介於0.3-0.7，鑑別度則大部分均大於0.3；信度方面其庫李信度達0.82，效度方面則以學生段考成績作為效標關聯效度，亦達高度相關($r = 0.784$，$p < .010$)。除了上述預試結果，經本研究樣本學生正式施測之結果其信度亦達0.79，顯示本密度概念診斷測驗具有不錯的信效度。

本研究四組學生均在教學前、後分別接受前測和後測，並以共變數分析檢視不同型態的教學對學生概念學習上的影響。

(二)理化教室氣氛問卷

除了使用評量工具從外部評定學生的表現以判斷教師的教學成效外，直接探查學生對於教室氣氛的感受則是另外一種評斷教學成效的方式。Fraser (1998)指出，教室環境或氣氛對學生的學習具有決定性的影響，學生在鼓勵自我建構知識的教室環境中，其學習成效會優於處於傳統灌輸導向的教學環境。因此，瞭解學生對於教室氣氛的知覺便可預測其處於該環境下的學習成效。黃台珠、Aldridge與Fraser (1998)也指出，測量教室環境氣氛可以讓研究者從內部參與者(而非外部觀察者)的角度來獲得對於教室環境的了解，且測量教室氣氛也可以反映出典範教師的教學策略與措施。

理化教室氣氛問卷修改自黃台珠等(1998)經臺澳合作效化過程的科學教室環境

量表(What Is Happening In this Class, WIHIC)量表。原量表含七個向度：同學的親和關係、教師支持、學生參與、探究、工作取向、合作及平等，量表信度(Cronbach's Alpha)介於 .90- .96之間，開發時已達理想值。

雖然WIHIC量表中的「探究」向度有利於了解教師課室中實施探究導向教學的狀況，但因本研究希望進一步了解學生是否會因探究過程太過開放而感受到無所適從或產生學習困難，所以另外加入「學生對探究活動的感受」此一向度命題(見表7)，由兩位專家學者協助審核與修改以取得專家效度。此外，考慮到問卷題數不宜過多、「工作取向」與本研究主題「探究教學」較無相關，「平等」與「教師支持」有相當程度的同質性等因素，因此將「工作取向」和「平等」兩部分的命題刪除。綜合以上，理化教室氣氛問卷共含六個向度，分別為同學的親和關係(student cohesiveness)，編碼為SC、教師支持(teacher support)，編碼為TS、學生參與(student involvement)，編碼為IN、探究(investigation)，編碼為IV、合作(cooperation)，編碼為CO、及對探究活動的感受(perception of inquiry)，編碼為PI，共計50個命題。

理化教室氣氛問卷經105位國中八年級學生預試並分析，總量表Cronbach's Alpha值為 .84，各分向度Cronbach's Alpha值均達 .70以上；對本研究樣本學生正式施測結果進行分析，全量表Cronbach's Alpha達 .92，各分向度Cronbach's Alpha值則分別為α_{SC} = .88、α_{TS} = .77、α_{IN} = .74、α_{IV} = .84、α_{CO} = .85、α_{PI} = .80，顯示理化教室氣氛問卷具有良好之信效度。

本研究各組學生在教學後均接收理化教室氣氛問卷施測，並以單因子變異數分析了解學生對不同型態的教學活動的感受和差異。

(三)學生之晤談紀錄

研究者在教學結束之後均對教師及各組學生進行半結構式晤談，了解教師與學生對於不同開放程度探究活動的看法。教師晤談編碼方式為「教師晤談—年—月—日」，例如「教師晤談-980914」意指於民國98年9月14日與教師進行晤談之記錄；學生晤談編碼方式為「晤談—年—月—日—實驗組別座號」，例如「晤談-980903-C03」意指於民國98年9月3日與實驗組C座號3號學生進行晤談之記錄。因本文著重在從學生的觀點了解其對於不同教學方式的感受和看法，教師

表7：理化教室氣氛問卷「對探究活動的感受」命題內容

對探究活動的感受
1. 理化課堂的活動很難，讓我無所適從。(反向題)
2. 理化課堂的活動循序漸進，不會讓我感到學得很吃力。
3. 理化課堂活動的說明不很清楚，讓我不知所措。(反向題)
4. 不管我多努力，就是很難弄懂理化課堂上活動要我們做些什麼。(反向題)
5. 當我們從實驗結果推導出定律或規則時，我們感到很興奮。
6. 理化課堂的上的問題很難，我不是放棄就是只做簡單的部分。(反向題)
7. 理化課堂的活動能刺激我的思考。
8. 理化課堂上活動讓我們有發現的樂趣。
9. 理化老師在教新的內容時，會從我們熟悉的事物或學過的內容出發。
10. 理化課堂用工作單來配合實驗活動的進行，讓我們學得很充實。

觀點的部分僅在某些地方簡略呈現以輔證本文的論點，詳細研究結果規劃以另文發表。在學生晤談的部分，先以「理化教室氣氛問卷」之分析結果為基礎，各教學組均挑選4位學生(成績表現較高和較低各兩位)進行晤談；晤談前先以問卷內容為綱要列出問題，針對學生在教學活動實施時對於活動本身的掌握度、學習難易度的感受、學習上的效益，以及對教學活動整體的看法等加以了解。

三、各組教學設計與理念

(一)引導發現式教學活動設計

引導發現式教學保有發現式教學的一些主要特徵，如強調讓學生自己發現教材內容的結構、結論和規律、讓學生有獨立思考的空間以及更重要的要培養學生發現的喜悅感(Bruner, 1960, 1961)。但考慮到物理概念本質，為了不讓學生因知識背景不足的因素陷入迷惘或混亂，Mayer (2004a)認為，教師在引導發現式教學的情境中必須提供許多提示、方向、指導和回饋，務使學生保持在學習的軌道上，且這個軌道指向一個明確的目標。

除了上述引導發現式教學的一般性原則外，此組密度概念的教學活動設計也一併參考了Johnstone (1991)的三角架構模型，以下為部分具代表性的活動設計示例：

1. 先導活動——從巨觀層次出發

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，使它們從外觀上看不出太大的差異。讓學生先用手掂量並感覺其質量的差異，接著預測並實際測量這些物體的質量。

接著老師可提問：「想像一下鋁箔紙內部的狀況。為什麼這些體積相同的物體，它們的質量卻不同？」藉此引發學生思考與討論物體內部可能的樣子。

最後，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，亦即，將不同材質和不同大小的物體一併排列。教師可以提問：「當1cm^{3}的鐵塊和1cm^{3}的木塊變成和大鐵塊、大木塊一樣體積時，它們的質量會如何？」這樣的活動一則可引介密度概念的定義，一則可讓學生對於比例概念有所了解和體會。

藉由呈現多種體積相同但質量不同的物體，引導學生「發現」密度所代表的物理意義，讓學生在觀察、觸摸的過程中在巨觀層次上有充分的體驗與感受。呈現1cm^{3}的物體有助於學生了解密度的定義和比例概念。以鋁箔紙包覆物體並且提出適當的問題，可以促使學生在無法分辨外觀差異的情況下，思考、討論並想像和推論物體內部的狀況，藉此稍稍進入微觀層次的想像世界。

2. 延伸活動——進入微觀層次

在兩杯有相同水量的燒杯中分別加入不同量的藍色硫酸銅晶體，請學生觀察一下兩杯溶解之後的狀況。此時教師可提問：「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啊」那麼教師可進一步提問：「為什麼加了比較多的硫酸銅顏色就會比較深？」同樣藉由現象觀察和提問引導學生思考和討論。

接著準備兩張由藍色顆粒所組成的色紙，如圖3。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。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



圖3：由藍色顆粒所組成的色紙

密集度不同所致。教師可適時的提問：「顏色的深淺與什麼因素有關？」、「這些藍色小點在顏色深淺上有差別嗎？」或「藍色小點的分佈和色紙看起來的顏色深淺有什麼關係？」等，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。整體活動可促使學生逐漸從巨觀層次的觀察進入到微觀層次的思考與想像，將巨觀現象與微觀世界之間的落差盡可能的彌補起來。

3. 擴展活動——實驗操作

此部分教學活動主要是讓學生進行對水以及飽和食鹽水的密度測量實驗活動。

在水的密度測量過程中，教師可以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、以及是否可以密度做為物質的特性之一等問題進行討論，這些均屬於符號層次的活動。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，也同樣包含了許多思考、討論和辯證的機會。

接著繼續讓學生進行飽和食鹽水的密度測量實驗，並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，亦即，引導學生「發現」密度與粒子疏密度之間的連結觀念。也就是說，藉由兼具巨觀層次和符號層次的密度測量實驗，再回饋到微觀層次的粒子疏密度圖像概念，三個層次齊備的教學活動協助學生建立較完整的密度概念。如同學者(De Jong & Taber, 2007; Gabel, 1999; Hitt, 2005)所建議，若能將三角架構的三個層面融入到教學活動中並且使其相互連結，那麼學生對於抽象概念就能有較佳的理解。

(二)開放引導式探究教學活動設計

此組教學活動係根據Hegarty-Hazel (1986)分類中層次2b(問題給定，器材、方法等均開放)之開放層次所設計。此組的教學活動設計部分，基本上是由教師給定一個具開放性的問題，明確設定需達成的目標，過程中引導學生討論以形成適當的假設，並擬定實驗方法及收集特定數據，藉由解釋數據的過程檢驗先前之假設。

1. 先導活動——基本測量

此部分活動主要在讓學生熟悉質量和體積的意義，及相關測量的方法與技巧。

準備多種質量不同的物體，先讓學生以手掂量感受其質量的差異，並從討論的過程中了解純粹倚靠感官要準確的衡量質量大小並不容易，從而介紹可精確測量質量的儀器和相關的測量方法與技巧。接著介紹測量體積的方法與相關儀器，可運用測量體積的方法有哪些，例如測量不規則形狀固體或者液體的體積可用排水法，以及相關的測量技巧。最後發給學生不同的樣本物體讓學生實際操作與演練。

2. 核心活動——探究活動

在學習過基本的測量方法後，提供一個開放性問題和明確須完成的目標，引導學生開始正式的探究活動：

> 大自然中存在著許多不同的物質，每種物質都有其獨特且穩定的性質。人們可以使用不同的方式量測這些性質，以辨別出某未知物是由何種物質所構成。例如說，常溫常壓下，水的沸點為100℃，酒精的沸點則為78℃，我們便可利用物質沸點固定的原理，藉由量測液體沸點的方式區別出哪種液體是水或酒精。所以，本次實驗目的在於利用已學過的知識、方法與技巧，找出某種「性質」，而這種性質可以用來區別出不同的物質。

確定問題和目標後，學生先經由小組討論的過程形成假設、擬定實驗方法和計畫欲收集的數據。實驗開始前，教師先提供一些基本的材料如銅塊、鋁塊作為學生思考的素材，再讓學生挑選適當的器材和工具。另外，學生也必須與老師討論實驗的整體構想，確認其可行後方可正式進行實驗。實驗結束之後有一個整班討論的時間，各小組須對他們所測量的數據及對數據的分析進行解釋與說明，並回答其他小組的提問和交互討論。無論是實驗假設、實驗設計或者是整班討論與提問等階段，教師均採引導但不過度介入的方式協助學生進行活動。

3. 擴展活動——密度概念介紹

經由前面的探究活動，學生對於「固定的性質」有基本的了解之後，教師再正式引入密度的概念，並且接著讓學生測量不同液體的密度如水、酒精等。在此部分的活動中，學生同樣需經過討論擬定實驗方法，以決定如何準確的測量液體的體積和質量，並透過分析作圖檢驗密度大小是否為定值。

(三)食譜式實驗活動設計

此組實驗活動設計乃根據目前主要教科書版本：南一(郭重吉，2009)、康軒(林英智、李清勝、黃能堂、張永達、蔡尚芳，2009)、翰林(姚珩、許貫中、方崇雄、陳世煌、李通藝，2009)。三版本皆循以下內容順序編排：1.介紹質量和體積的測量方法與相關測量工具或儀器；2.直接陳述密度之概念、定義和數學公式；3.給定明確的器材與實驗步驟，實際測量不同物體的質量與體積，並計算其密度。因此本組教學活動亦遵照上述程序設計，密度測量方面則安排水和金屬之密度測量實驗。

肆、研究結果與討論

一、不同教學活動對學生其密度概念學習上之成效與差異

為了解不同教學方式對學生在密度概念的學習上所造成之成效與差異，以共變數分析各組在密度概念測驗的後測分數，敘述統計請參考表8，共變數分析與事後比較結果如表9。結果顯示，三組實驗組的後測

表8：密度概念測驗前後測分數之敘述統計

組別	人數	前測		後測	
		平均	標準差	平均	標準差
實驗組A	36	10.31	4.31	16.47	3.98
實驗組B	32	9.56	4.38	14.19	4.66
實驗組C	35	9.63	4.95	14.26	4.51
對照組D	34	9.24	3.89	12.06	4.34

表9：密度概念測驗後測分數的共變數分析和事後比較結果

來源	SS	df	MS	*F*檢定	事後比較
組別	272.579	3	90.860	5.693*	A > B, A > C, A > D, B > D, C > D
誤差	2106.812	132	15.961		

註：A為引導發現式教學，B為開放引導式探究教學，C為食譜式實驗教學，D為傳統講述式教學。
*$p < .050$

成績相對於對照組D均有顯著差異，而實驗組A在後測分數上顯著優於實驗組B, C ($p < .050$)，實驗組B和C之間並無顯著差異。

上述結果表示，不論是引導發現式、開放引導式探究或食譜式實驗教學，對密度概念之整體學習效果均優於講述式教學。若進一步比較不同實驗組之間的差異，引導發現式教學在概念學習成效上優於開放引導式探究及食譜式實驗教學，而開放引導式探究教學和食譜式實驗教學兩者對整體概念學習成效則無明顯差異。

除了整體密度概念的學習成效外，為進一步探討各組不同型態的教學活動在密度概念測驗中「疏密度圖像思考」此一子概念的學習是否有差異，繼續以共變數分析各組在此子概念的後測分數，分析結果如表10。結果顯示，實驗組A在「疏密度圖像思考」此子概念之後測分數上相對於其餘三組均有顯著差異($p < .050$)，而其餘三組之間並無顯著差異。

上述結果表示，對粒子疏密度圖像思考此部分之概念而言，引導發現式教學在學習成效上優於開放引導式探究、食譜式實驗及講述式教學；而開放引導式探究教學、食譜式實驗教學和講述式教學三者對於學習粒子疏密度圖像概念之學習成效則無明顯差別。

密度單元看似單純，但其概念網絡中包含許多如質量恆定、體積概念、密度恆定、比例關係及粒子疏密度圖像等重要的次概念。由於開放引導式的探究教學方式鼓勵讓學生形成假設並設計實驗以檢驗假設，因此活動過程中著重在讓學生找出物質所含質量和體積之間的關係式以代表物質的特性(即質量／體積為一定值)。然而從課室觀察中發現，因為總教學時數限制的緣故，在學生完成此一開放程度相對較高的探究活動後，約僅剩一堂課的時間讓教師講解其餘概念。王老師亦表達出類似的看法：

> 這樣的活動可以讓學生很深入的探索某一個概念，但是所花的時間實在太多。我在上課的時候會提示學生試著從質量和體積的方向去思考，但即使是這樣，他們還是花了非常多的時間在構思和試驗他們的假設；而且每一組的速度都不太一樣，要掌控整班的進度並不容易。如果每個概念都要這樣做的話，那麼一般課堂上的時間實際上應該是不夠用的。(教師晤

表10：「疏密度圖像思考」子概念後測分數的共變數分析和事後比較結果

來源	SS	df	MS	*F*檢定	事後比較
組別	37.155	3	12.385	4.962*	A > B, A > C, A > D
誤差	329.450	132	2.496		

註：A為引導發現式教學，B為開放引導式探究教學，C為食譜式實驗教學，D為傳統講述式教學。
*$p < .050$

談-980914)

雖然開放引導式探究可以讓學生深入的探討密度概念，但所耗費時間太多，在本研究教學時數有限之條件下，教師不易完成既定的教學進度，因此一得一失之間，便是開放引導式探究在概念教學效果上並不優於食譜式實驗的可能原因。

文獻探討中提到，探究教學會讓學生感到困惑而增加摸索的時間(Lawson, 2002; Welch et al., 1981)。一方面，一個完整的探究包括了構思假設、執行探究、紀錄、分析、解釋……等活動，要在有限課程時間內完成這些活動的可能性微乎其微(Lunetta, 1998)；另一方面，學校課程均有安排既定的進度，對教師而言忽略這些進度而投注過多的時間在探究活動上是有困難的(Anderson, 2002; Anderson & Helms, 2001)。這些都是使得教師對於使用探究教學會感到怯步的原因。

相對來說，王老師認為引導發現式教學在時間運用上相對較有效率：

> (引導發現式教學)大多數的活動都是希望引導學生發現某些特定的現象，因為這些現象是老師事先設計、安排好讓學生看見，所以雖然學生同樣還是需要動手做實驗或活動以及相互討論，但是因為開放性沒那麼大，學生犯錯或整個走岔掉的機會可以降低很多。在時間有限的情況下，這樣的教學方式似乎比較可以讓學生既可以做實驗和討論，又不會遺漏該學的概念。因為教學進度在學校還是很重要的。(教師晤談-980914)

此外，先前提到諸如電學或莫耳等概念太過抽象，學生不容易倚靠自身的先備知識形成這些涉及微觀粒子現象的假設，因而在學習關於微觀粒子相關的概念時則需要仰賴特定的作法。由於引導發現式教學包含了Johnstone (1991)架構中的微觀層次，因此在處理密度單元中「粒子疏密度圖像」的概念相對於開放引導式探究和食譜式實驗教學較為有利。

以上可解釋引導發現式教學對於密度整體概念，以及「粒子疏密度圖像」此微觀概念之學習成效上優於開放引導式探究及食譜式實驗教學的原因。

二、學生對於不同型態之教學活動的感受和看法

為了解學生對不同型態的教學活動的感受和差異，以單因子變異數分析各組學生在理化教室氣氛問卷中的作答情形，並以Scheffé法進行事後比較。各組於問卷中各向度平均得分之敘述統計和單因子變異數分析結果如表11。其中，除了「同學間的親和關係」(SC)此向度外，其餘向度之F值均達顯著水準，顯示組間有顯著差異，以下即針對不同向度上事後比較結果進行描述。

(一)學生參與、探究及合作

事後比較結果顯示，在學生參與(IN)、探究(IV)和合作(CO)三個向度上，實驗組A和B的平均分數均顯著高於實驗組C和對照組D，而實驗組A和B之間則無差異。另外，在IV和CO向度上實驗組C分數均顯著高於對照組D，但在IN向度上兩組無差異。

上述結果表示，不論是引導發現式及開放引導式探究教學，學生的參與度都高於食譜式實驗和講述式教學，且在學生探究能力及合作行為的培養上效果亦較佳。而實驗組A和B之間無明顯差異，表示引導發現式教

表11：理化教室氣氛問卷各向度分數之敘述統計、單因子變異數分析和事後比較結果

組別		向度					
		SC	TS	IN	IV	CO	PI
實驗組A (N = 35)	平均數	3.56	3.72	3.58	3.80	3.90	4.00
	標準差	.92	.50	.43	.53	.37	.47
實驗組B (N = 32)	平均數	4.02	3.68	3.51	3.77	3.96	2.98
	標準差	.59	.57	.48	.41	.41	.52
實驗組C (N = 34)	平均數	4.01	3.58	2.70	3.28	3.55	3.58
	標準差	.68	.47	.40	.44	.43	.41
對照組D (N = 34)	平均數	3.71	2.56	2.58	2.14	1.88	3.01
	標準差	.61	.31	.52	.39	.32	.51
*F*檢定		3.38	47.33*	44.30*	101.35*	218.19*	35.54*
事後比較			A > D B > D C > D	A > C A > D B > C B > D	A > C A > D B > C B > D C > D	A > C A > D B > C B > D C > D	A > B A > C A > D C > B C > D

*p < .050

學和開放引導式探究教學，除了均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提供同等的機會和成效。

由於食譜式實驗主要目的在驗證課本內容中的科學概念，教師必須先以講述的方式傳輸這些概念或理論，學生則是在將這些理論視為確定無誤的情況下，根據老師所提供之明確的器材和實驗步驟將結果複製出來。簡言之，學生不只已預知實驗結果，也預期到只要遵照操作步驟進行實驗就能導致這樣的結果。在這樣的情境下，探究應具備的元素或精神多已流失，學生也會因為已預知實驗結果而降低了其參與討論與合作學習的意願。我們從實驗組C學生的晤談中也得到類似的訊息：

研究者：為什麼你會覺得這樣的上課方式無法讓你從其他同學身上學到理化概念？

佑：因為老師在做實驗之前就會先把講義的內容講完，所以就變成老師說什麼我們就學什麼，這樣就好像不太需要再跟同學問什麼；而且實驗步驟老師也都講得很清楚了，大家就是照著做就可以了，所以就覺得不太需要再跟同學討論。

研究者：所以你覺得上課做實驗不有趣？

佑：不會啊，做實驗還蠻有趣的啊，比起只是坐在那邊聽要來的好多了。只是說，因為很多東西老師都已經先告訴我們了，然後要做什麼或怎麼做好像也都規定死了，會覺得少了一些「探險」的感覺。(晤談-980903-C03)

相對來說，開放引導式探究組的學生只被告知一開放性的問題及須達成的目標，其餘如構思假設、設計實驗、檢驗假設等複雜

任務則需要與同學不斷的討論和合作才能完成。實驗組B的學生是這麼說的：

研究者：在「我對老師所提的問題，會用探究的方式來找出答案」這一題中，可以請你說明一下你填答時的想法嗎？

嘉：那時候老師是給我們一個問題，然後要我們找出一個可以區別不同物質的方式，用之前學過的東西，像排水法還是天平之類的。一開始的時候我們要先跟自己組的同學討論看要怎麼做，討論好了以後再去跟老師說明，老師覺得可以就讓我們開始做。中間遇到問題會先討論一下，覺得沒辦法再去問老師。後來失敗了幾次才成功。這樣應該是「探究」的意思吧。(晤談-980904-B01)

萱：因為老師要我們自己想出一個方式去區別不同的東西啊。那時候只學過測量體積和質量的方法，一開始我實在想不太出來，後來因為老師有給一些提示，我們這一組的就有人說不然試試看每種東西每1克體積是不是會不一樣，但是就有人說：「可是你又不能剛好把一個東西切到只有1克，這樣要怎麼辦？」，我們想了很久才有人說：「不然就用除的啊，你就先不要管它質量是不是1克，測出來如果是10克再除以10就好了啊」。後來做了很久，真的發現好像不同東西每1克的體積真的大小會不一樣。(晤談-980907-B19)

從學生的回答可以發現，這樣的情境能營造出更多讓學生彼此參與討論與合作學習的機會，也解釋了本組學生在探究能力、參與討論和與人合作三面向上能有較優異表現的原因。

至於實驗組A的部分，雖然不如開放引導式探究組般要求學生解決開放性的問題，引導發現式教學卻是以不同的方式讓學生進行探究活動。將各種大小相同的物體以鋁箔紙包覆起來，是為了引發學生討論它們內部可能的情況，並透過發表分享彼此的想法。不同密集度藍點組成的色紙的例子也是如此，測量水與飽和食鹽水的密度實驗亦然，引導發現式的教學可藉由呈現某些特定現象的活動或實驗製造出許多讓學生互相討論和解釋想法的機會。實驗組A學生晤談資料如下：

研究者：你覺得這樣的上課方式有趣嗎？你印象最深刻的活動有哪些？

翔：我覺得還蠻有趣的啊。我覺得印象深刻的是老師拿了好多個一樣大的東西，然後是用鋁箔紙包起來的，剛開始還在想這些是什麼？為什麼要把它們包起來？用手拿起來才發現竟然每種東西重量都不一樣。後來才知道原來這些是老師用來跟我們解釋密度的意思的。

研究者：你還記得當時是怎麼做的嗎？

翔：我記得老師叫我們把那些東西依照重量大小排好，先不要把鋁箔紙撕開，然後叫我們想一想，為什麼一樣大的東西，重量會差這麼多？鋁箔紙裡面可能會怎麼

樣？後來我們討論了一下，有同學說因為它們是不同的材質，所以重量就不同；也有同學說因為它們裡面裝的東西不一樣多，所以重量才會不一樣。後來我們覺得後面這個答案比較好，最後報告的時候就用這個答案。(晤談-980910-A08)

鳳：我覺得印象最深刻的是老師拿了兩張紙要我們看看有什麼差別，本來一看覺得只是顏色深淺不一樣，一張深藍色，一張淺藍色，結果沒想到近看才發現原來上面有一堆藍色顆粒，而且顏色深的是因為那些藍色顆粒比較密，藍色顆粒沒那麼密的看起來就比較淺。然後老師就要我們想想看，這個跟那兩杯藍色硫酸銅溶液有什麼關係。我們其實很快就討論出來應該是因為藍色硫酸銅顆粒的密集度的關係。我才知道原來顏色的深淺和小顆粒的密集度是有關的。(晤談-980911-A25)

國家科學教育標準(National Committee on Science Education Standards and Assessment & NRC, 1996)重新詮釋了探究教學的意涵與改變，其指出探究教學已逐漸蛻變為不強調「示範和驗證科學內容的活動」，而是更強調「探查和分析科學問題的活動」；不強調「作為研究和實驗的科學」，而是更強調「作為論證和解釋的科學」；不強調「學生只將想法和結論告訴教師」，而是更強調「將想法和結論與同學交流」(National Committee on Science Education Standards and Assessment & NRC)。換句話說，探究教學的重點在於培養學生收集與分析訊息的能力，並從解釋這些資料以及相互對話的過程中主動建構科學知識，而未必非要進行大幅度定量的實驗測量不可。

引導發現式教學和開放引導式探究教學的不同在於，雖然引導發現式教學不強調讓學生進行大幅度的探究活動如形成假設、驗證假設等，但是卻相當重視讓學生在得到充分資訊的基礎下，透過討論、解釋資料和意見交流等方式逐步形成科學知識，並藉以培養學生對於探究的理解、批判思考、分析解釋等能力，這也可以說明為何引導發現式教學和開放引導式探究相比，在探究、參與以及合作三面向能提供相同成效的原因。

(二)對探究活動的感受

本研究透過分析對探究活動的感受(PI)此一向度的得分情形，了解學生是否會因探究的過程太過開放而感受到無所適從或產生學習困難。事後比較結果顯示，實驗組A的平均分數高於實驗組C (達顯著差異)，實驗組C高於實驗組B (達顯著差異)，實驗組B和對照組D之間則無顯著差異。

上述結果表示，開放引導式探究和講述式教學較容易讓學生感到無所適從或產生學習困難。相較之下，引導發現式和食譜式實驗教學較具引導性或讓學生感覺到有明確的程序可以遵循。

先前文獻探討中提到，物理概念的教學需考量物理本質，如抽象性、複雜與違背直覺等特性，若要將實驗方法開放予學生試驗，甚至進一步提出假設和測試假設，那麼學生可能在缺乏基礎知識的情況下感到迷惘或不知所措。從實驗組B學生的晤談中也探查到這樣的感受：

研究者：為什麼你會覺得「不管我多

努力，就是很難弄懂理化課堂上要我們做些什麼」？什麼時候會這樣？

哲：喔，就是要我們設計實驗的時候。就像講義上面寫的，老師要我們找出一種方式，可以區別不同的東西，他要我們先討論要怎麼做然後再跟他報告，他覺得可以才讓我們做。可是其實我們不太知道他到底要我們做什麼。他只是一直提示我們要應用之前學過的東西，可是我們之前只學過用測質量和體積的方法，就不知道跟這些方法有什麼關係。我們這組想了很久，我看其他組好像也差不多，最後還是老師提示我們想想看「質量和體積的比例」，我們才想到的。

研究者：你們大概花了多久的時間才完成？

哲：嗯，好像有三四節課喔。(晤談-980908-B03)

嘉：就是在老師要我們找出一個可以區別不同物質的方式的時候啊。

研究者：可是你剛才不是說你們有成功？

嘉：對啊，但是那是做了很久以後。剛開始我們其實也想不到什麼東西，有同學說用質量的大小來區別，說木頭比較輕，鐵比較重，可是其實不行，因為木頭多一點就會比鐵重了。後來也是老師一直提示我們，弄了很久才想到的。

研究者：老師怎麼提示你們？

嘉：好像是說「質量和體積的比例」之類的。

研究者：所以你們大概花了多久的時間才完成？

嘉：嗯，蠻久的喔，好像有好幾節課，每節課都在做同樣的事情，都是沒什麼結果然後就下課了，下次來還是一樣，覺得有點奇怪。(晤談-980904-B01)

由上述對話可以發現，雖然學生經歷了一個完整探究的過程，但多數時間仍處於摸索的狀態，需要教師不斷給予提示方能順利完成。

學生在開放性的探究活動中會感到迷惘與不知所措的原因，除了物理概念本質的因素之外，還與認知負荷過載有關。相關的研究指出，過於開放的探究對於新手學習者來說可能造成工作記憶的過載(Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2004; Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Sweller, 1988)，以致其學習過程中除了耗費過量時間外，甚至可能產生學習困難。從學生晤談時多提及「不知道到底要做些什麼」、「不知道有什麼關係」、「花了很多時間」等可看出，進行較開放之探究活動時，若不慎重考量物理概念本質以及認知原理的因素，則恐有事倍功半之疑慮。

相對來說，引導發現式教學活動提供了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。這樣的設計乃是為了避免學生在構思假設和設計實驗時，因為物理概念本質而引起的認知負荷或學習

困難的問題，所採取的一種較為折衷的方式。在前一小節實驗組A學生的晤談(見晤談-980910-A08和晤談-980911-A25)以及問卷分析資料也顯示，接受引導發現式教學的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。

伍、結論與建議

本研究旨在探討探究教學、引導發現式教學和食譜式實驗教學三種不同教學方式對於學生學習之影響及其差異，並討論引導發現式教學是否可作為探究教學和食譜式實驗教學之間的折衷方案，擔當一踏腳石的角色以促進課室探究教學之施行。研究發現，整體而言，在三種不同教學方式中，引導發現式教學在各方面成效上或可達到同等的效果，或則甚至優於其餘兩種教學方式。以下為本研究所獲致之結論。

一、引導發現式教學對學生密度概念學習之成效較為優異

經密度概念診斷測驗結果發現，接受開放引導式探究和食譜式實驗教學的兩組學生在整體密度概念學習成效上並無差異，而接受引導發現式教學的學生在密度概念學習成效上則優於前述兩組。

教師在晤談中表示因開放引導式探究教學耗費過多教學時數，使得教學活動無法完整含括密度相關的概念。另外，學生也以「花了不少時間」或「摸索了很久」表示其學習過程中所感受到的困頓與迷惘，這些都是導致此組學生在概念學習上並無特別優異表現的原因。

二、食譜式實驗教學對學生各項學習成效有限

雖然接受食譜式實驗教學的學生在密度概念學習成效上優於傳統講述式教學，也認為操作實驗比純粹聽講要來的有趣，但因實驗步驟與程序均已固定，且實驗前學生已學過相關的密度概念，而呈現出不需相互合作和討論的傾向。另外，教師在晤談中也表示食譜式實驗目的在於驗證理論，學生在實驗前可期待結果甚至已知道結果會是什麼(教師晤談-980914)。上述原因使得此組學生在「參與」、「合作」及「探究」等面向表現不如引導發現式和開放引導式探究教學組之學生。

三、開放引導式探究教學仍然是過於「開放」的

接受開放引導式探究教學的學生在「探究」、「參與」與「合作」等面向上的表現雖優於食譜式實驗和講述教學組的學生，不過此組學生卻更容易感受到無所適從或產生學習困難。教師根據觀察學生的上課情形也表示，雖然較為開放的探究教學可以培養學生更為廣泛的科學方法技能，但是學生在形成假設時卻可能遭遇到理論負載或偏離學習軌道的問題，繼而耗費大量的教學時間而影響教學進度(教師晤談-980914)。

總的來說，開放引導式探究教學在培養學生探究相關技能上可提供較佳的效果，不過亦可能引發學生學習時產生認知過載或偏離學習軌道的問題，同時對教師而言則會面臨教學時數不足甚至教學效率不彰的問題。

四、引導發現式教學整體成效上較為優異，可平衡理想和現實之間的張力

引導發現式教學雖然不如開放引導式探究教學般讓學生進行大幅度的探究實驗，但由於活動設計能兼顧符合學生程度和探索的本質，使得此組學生在「探究」、「參與」

與「合作」等面向上的表現並不比開放引導式探究教學組的學生遜色。

在引導方面，學生也以「討論了一下就……」或「很快就討論出來……」表現出其並未在學習過程中遭遇到太大的困難；同時，教師也表示，引導發現式教學活動除了可促使學生積極參與並引發其探索的動機，相較於開放引導式探究教學來說它也較容易讓學生感覺到有明確的程序可以依循而不致浪費有限的教學時間(教師晤談-980914)。

大體而言，引導發現式教學包含一定程度的探究活動，培養學生基本的實驗探究技能，亦可讓教師兼顧現實課室環境中的需求，如教學目標以概念學習為主，探究能力培養為輔、時間運用上面較有效率，得以兼顧教學進度以及高利害關係評量。對教師而言是較可接受的教學方案。從提升教師教學專業成長之角度而言，引導發現式教學應可勝任踏腳石之角色，作為教師從一般驗證式的食譜式實驗教學提升至探究導向教學之有效適應性方案。

五、建議

(一)教學建議

本研究結果顯示，開放引導式探究教學除了可能引發學生學習困難，也過於耗費教師的教學時間，因此造成現今探究教學無法普遍施行的情況。相較之下，引導發現式教學可以減輕這樣的問題，因此建議教師可將其作為未來欲發展探究教學前的適應性教學方式。此外，建議教師在設計引導發現式教學活動時，可先查詢該概念單元常見的教學實驗或活動，並以Johnstone (1991)的三角架構為基礎，配合設計適當之可連結巨觀、微觀和符號層次的活動，以利引導發現式教學的進行。

(二)未來研究建議

Abd-El-Khalick等(2004)以及Anderson與Helms (2001)均表示，目前科學教育對於探究教學之研究得到的是偏向於「理想狀態」的結果，而不易解決現實執行的問題。因此，他們認為現今應進一步探討如何讓探究教學同樣可以在一般、非理想的狀態底下也能產生。

雖然本研究的教學主題「密度概念」對初學者而言有些抽象，然而國中理化科中尚有許多概念比密度概念更為複雜且抽象。舉例來說，原子、分子、電壓、電流、電阻等概念乃是屬於微觀層次的抽象，速度、加速度概念則偏屬動態快速變化層面的抽象，大氣壓力概念則是因其普遍存在反而不容易察覺而顯得抽象。與上述概念相較之下，密度概念則又顯得具體許多，因此在未來研究方面，有必要持續探討較開放的探究教學對於學習更為抽象的概念時其成效會是如何，以及，引導發現式教學對於學習更為抽象的概念時其學習成效上是否仍能保持較為優異的表現。

另外，本研究結果表明引導發現式教學雖開放程度較小，但其仍保有相當程度的探究元素，從探究教學的角度觀之，本研究之設計亦可視為是對不同開放程度之探究教學成效的比較探討。本質上來說，引導發現式教學和食譜式實驗是不同的。雖然學生是依照老師的指示進行活動，但是引導發現式教學仍然保有重要的探究要素，且不是驗證式的；然而，從學者對於探究活動的分類方式來看(表2、表3)，由於引導發現式教學提供學生問題和方法，就會被歸類成層次1的活動，而被視為等同於食譜式實驗(Colburn, 2004; Martin-Hansen, 2002)。這也暗示著目前的探究開放程度分類方式可能是需要修

正的。

六、研究限制

本研究具有以下研究限制，因而研究結果不宜做過度推論：

1. 「理化教室氣氛問卷」乃是將原問卷之「工作取向」和「平等」兩部分的命題刪除，並加入「對教學活動的感受」之命題而形成。雖經專家審核及信度檢驗，但並未另外施以因素分析，未來欲使用此問卷的研究者需多加留意。
2. 本研究因人力與時間限制，每組僅挑選4位學生進行晤談以瞭解學生對於不同教學方式的想法，質性資料可能無法推論至母群體。
3. 文中對於學生探究能力之評定乃是透過學生在「理化教室氣氛問卷」中「探究」向度的自我知覺而定。「探究」向度中各命題符合多數學者對探究活動特徵的描述(見表1)，雖然透過學生自評來評斷探究的能力仍為一種評量的方式，建議未來研究者除了如本研究以內部學生自我評量的方式外，仍可以外部評量的方式評定學生的探究能力。

誌謝

本研究的完成要感謝國科會專題研究計畫的經費補助(NSC96-2511-S-018-007-MY3)，審稿委員的詳細審閱與建議，以及個案教師及參與學生的全力配合。

參考文獻

1. 李昌汶(1996)。**國中學生密度概念的診斷與探討**。未出版之碩士論文，國立臺灣師範大學化學系，臺北市。
2. 林英智、李清勝、黃能堂、張永達、蔡尚芳編(2009)。**國民中學自然與生活科技(第三冊)**。臺北縣：康軒文教。
3. 姚珩、許貫中、方崇雄、陳世煌、李通藝編(2009)。**國民中學自然與生活科技(第三冊)**。臺南市：翰林。
4. 張清濱(2000)。探究教學法。**師友**，**395**，45-49。
5. 張靜儀(1995)。自然科學探究教學法。**屏師科學教育**，**1**，36-45。
6. 教育部(2003)。**國民中小學九年一貫課程綱要**。臺北市：作者。
7. 郭重吉編(2009)。**國民中學自然與生活科技(第三冊)**。臺南市：南一書局。
8. 黃台珠、Aldridge, J. M., & Fraser, B. (1998)。台灣和西澳科學教室環境的跨國研究：結合質性與量的研究方法。**科學教育學刊**，**6**(4)，343-362。
9. 劉宏文(2001)。**高中學生進行開放式科學探究活動之個案研究**。未出版之博士論文，國立彰化師範大學科學教育研究所，彰化縣。
10. Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., et al. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, *88*(3), 397-419.
11. American Association for the Advancement of Science. (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
12. American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
13. Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, *13*(1), 1-12.
14. Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an orga-

nizing theme for science curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 807-830). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

15. Anderson, R. D., & Helms, J. V. (2001). The ideal of standards and the reality of schools: Needed research. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*(1), 3-16.
16. Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, *94*(4), 577-616.
17. Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
18. Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, *31*, 21-32.
19. Champagne, A. B., & Klopfer, L. E. (1977). A sixty-year perspective on three issues in science education: I. Whose ideas are dominant? II. Representation of women. III. Reflective thinking and problem solving. *Science Education*, *61*(4), 431-452.
20. Colburn, A. (2000, January). *What teacher educators need to know about inquiry-based instruction*. Paper presented at the annual meeting of the Association for the Education of Teachers in Science. Akron, OH.
21. Colburn, A. (2004). Inquiring scientists want to know. *Educational Leadership*, *62*(1), 63-66.
22. Collette, A. T., & Chiappetta, E. L. (1989). *Science instruction in the middle and secondary schools* (2nd ed.). Columbus, OH: Merrill.
23. Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry., & National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
24. Craig, R. C. (1956). Directed versus independent discovery of established relations. *Journal of Educational Psychology*, *47*(4), 223-234.
25. De Jong, O., & Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 631-652). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
26. DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education: Implications for practice*. New York: Teachers College Press.
27. Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. Lexington, MA: D.C. Heath and Company.
28. Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. London: Routledge.
29. Duit, R., Niedderer, H., & Schecker, H. (2007). Teaching physics. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 599-629). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

30. Fraser, B. J. (1998). Science learning environments: Assessment, effects, and determinants. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 527-564). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
31. Gabel, D. L. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, *76*(4), 548-554.
32. Gagné, R. M., & Brown, L. T. (1961). Some factors in the programming of conceptual learning. *Journal of Experimental Psychology*, *62*(4), 313-321.
33. Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*, *32*(1-2), 33-58.
34. Hawkes, S. J. (2004). The concept of density. *Journal of Chemical Education*, *81*(1), 14-15.
35. Hegarty-Hazel, E. (1986). *Lab work. SET: Research information for teachers, number one*. Canberra, Australia: Australian Council for Education Research.
36. Herron, M. D. (1971). The nature of science enquiry. *The School Review*, *79*(2), 171-212.
37. 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.
38. Jeanpierre, B., Oberhauser, K., & Freeman, C. (2005). Characteristics of professional development that effect change in secondary science teachers' classroom practices. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(6), 668-690.
39. Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Leaning*, *7*(2), 75-83.
40. Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, *41*(2), 75-86.
41. Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, *15*(10), 661-667.
42. Lawson, A. E. (2002). *Science teaching and development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth.
43. Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspective and context for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 249-262). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
44. Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, *69*(2), 34-37.
45. Mayer, R. E. (2004a). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, *59*(1), 14-19.
46. Mayer, R. E. (2004b). Teaching of subject matter. *Annual Review of Psychology*,

55(1), 715-745.

47. McComas, W. F. (Ed.). (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
48. Minner, D. D., Levy, A. L., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction – What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(4), 474-496.
49. National Committee on Science Education Standards and Assessment., & National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
50. Roehrig, G. H., & Luft, J. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, *26*(1), 3-24.
51. Roth, W.-M. (2006). *Learning science: A singular plural perspective*. Rotterdam, The Netherlands: Sense.
52. Schwab, J. J., & Brandwein, P. F. (1962). The teaching of science: *The teaching of science as enquiry*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
53. Skinner, B. F. (1968). *The technology of teaching*. New York: Prentice Hall College Div.
54. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitivel Science*, *12*(2), 257-285.
55. Trowbridge. L. W., & Bybee, R. W. (1986). *Becoming a secondary school science teacher*. Columbus, OH: Merrill.
56. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: McMillan.
57. Welch, W. W., Klopfer, L. E., Aikenhead, G. S., & Robinson, J. T. (1981). The role of inquiry in science education: Analysis and recommendations. *Science Education*, *65*(1), 33-50.

科學教育學刊
2011, 第十九卷第三期, 257-282

Chinese Journal of Science Education
2011, 19(3), 257-282

Exploring the Effect of Guided Discovery Teaching as a Mediated Way to Put Inquiry into Classroom Practice – From Students' Perspectives

Bing-Hong Ku[1], Chyong-Sun Chen[2] and Meichun Lydia Wen[1,*]

[1]Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education
[2]Department of Physics, National Changhua University of Education

Abstract

This article intends to explore whether guided discovery teaching can serve as a mediated teaching approach to progress the instruction from traditional recipe style experiment to inquiry teaching. The development of guided discovery teaching for the density concept was described. A quasi-experimental method was employed in this study to explore the influences of three different teaching styles – inquiry teaching, guided discovery teaching, and the recipe style experiment – on learning from the students' perspectives. Through both quantitative and qualitative data analyses it was firstly founded that guided discovery teaching provided significantly better effects than inquiry teaching did on facilitating students' learning of the density concept. Secondly, it was founded that compared with inquiry teaching, guided discovery teaching produced equivalent result on developing students' inquiry skills. Finally, it was founded that guided discovery teaching could better meet the demands in practical classroom environment. Hence, we concluded that the guided discovery teaching might successfully perform the role as a mediated teaching approach which is feasible and effective to fill the gap between inquiry teaching and the traditional recipe style experiment.

Key words: Guided Discovery Teaching, Physics Teaching, Density Concept, Inquiry Teaching

* Corresponding author: Meichun Lydia Wen