

教育部 108 學年度中小學科學教育專案期中報告大綱

計畫名稱： 差異化模型本位合作學習教學模組規劃與實施—以牛頓運動第二定律為例

主持人： 鐘建坪 電子信箱： hexaphyrins@yahoo.com.tw

共同主持人： 張元馨

執行單位： 新北市立錦和高中

一、研究計畫之背景及目的

(一) 研究計畫的背景與動機

學習者的個別差異如何在課室內獲得關注與滿足是一項重要的教育議題 (Tomlinson, 2001)。課室內的學生並非單一而是多元的，其家庭背景、學習風格、興趣與需求等皆不致相同。眾多的教育專業組織與文件期待科學教師能夠確保不同興趣與能力的學生皆能夠獲得科學素養 (e.g., 教育部, 2014, 2017; AAAS, 1993)。目前一致性的課程內容與學習進程，讓學習成就高者覺得簡單，但卻令學習低成就者感到困難。差異化教學 (Differentiated Instruction) 希望可以在教學中滿足不同能力與需求的學生，讓其在課堂中皆能產生最大化的學習成效，它是一種期待教師在教學歷程中符合每位學生需求的教學策略。

12 年國民教育提出「成就每一位孩子」與「適性揚才與終身學習」等教育願景，鼓勵教師在課堂中進行差異化教學，讓學生在課堂中有效學習藉以提升素養 (教育部, 2014)。自然領綱呼應總綱強調「教學時，要因應學生的多元文化背景與特殊需求，...，提供支持性和差異化的教學...。」，期待科學教師在中、小學階段異質性大的班級中亦能適性地提供學生不同學習路徑，讓不同能力學生獲得滿足 (教育部, 2017)。雖然差異化教學提供理想的願景，然而第一線教師往往只提供一種學習路徑，讓不同能力與需求學生無法獲得滿足 (Pablico, Diack, & Lawson, 2017)。有鑒於此，教育現場需要更多實質差異化的課程規劃與實施提供教學者參考，並實際分析不同能力學習者科學概念模型的發展與轉變。

(二) 文獻探討與理論基礎

1. 心智模型與發展歷程

模型呈現出物件與物件之間的關聯性，例如：機尾、機翼與機身等物件與其關聯性形成飛機模型。模型不僅只是具體的實體物品，抽象的心智表徵亦可稱為模型，意即心智模型（mental model）。心智模型為個體內在心智表徵，它可呈現出個體對外在世界的觀點與看法的連結（Johnson-Laird, 1989; Vosnaidou, 1994）。當個體接收外在訊息時，原先既有的心智模型會進行反應與解釋，若外在訊息與內在想法相符，則能同化外在訊息。若是外在訊息與原先心智模型有所差異時，個體可能選擇忽略外在訊息或是修正既有心智模型。教師的教學期望能夠誘導學生發覺自身心智模型的解釋侷限性，進行修正與轉換成為正確的科學模型（Justi & Gilbert, 2002）。

2. 模型本位合作學習

模型本位學習提供學生如何思索自身心智模型的建立與轉變，而合作學習提供學生如何進行互動與討論。模型本位合作學習結合模型本位與合作學習，讓學生在討論互動的歷程中能夠監控自身心智模型的發展（鐘建坪，2014；Jong, 2016）。教學模組有三個步驟（見圖 1），其 1 是授課，含蓋教師教學或學生自學，主要讓學生能夠建立特定概念的心智模型，強調模型內部物件與物件之間關係的建立；其 2 是討論，含蓋師生與生生之間的互動，強調協助學生精緻與修正已建立的心智模型；其 3 是反思，藉由學生上台分享解題過程，學習反思概念建構的歷程，強調由外而內的學習動機的強化。Jong 藉由線上影片的輔助，提供有效的鷹架促進不同學習能力學生學習。然而實務教學中有些影片內容或是陳述方式並不符合教師教學期待，若由教師自行拍攝又耗費大量時間，因此務實面上如何協助教師幫助每位學生獲得成功經驗是必須再精進的課題。

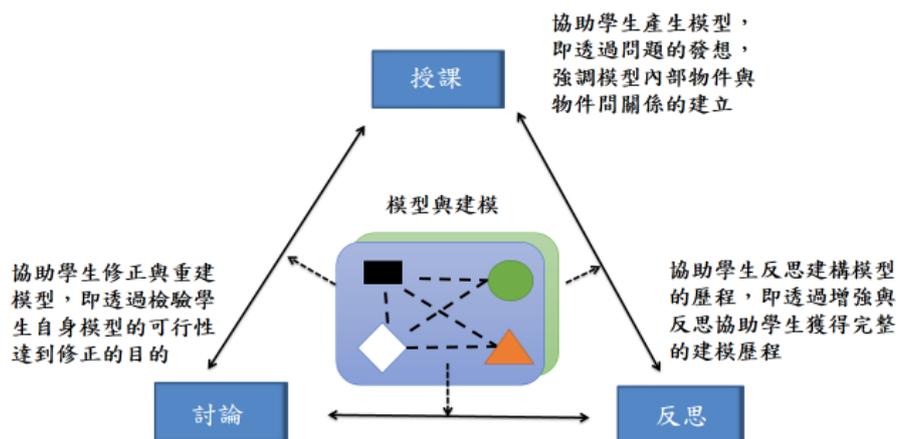


圖 1：模型本位合作學習教學模式（修改自 Jong，2016）

3. 差異化教學

差異化教學強調以學生為中心的教學，嘗試教學歷程符合學生的學習需求，重視學生學習的不同內容（content）、不同管道（process）及不同產出（product）。Tomlinson 等人提出幾項差異化教學基本原則，包含：建構多元的課程內容以符合不同學生的需求、提供不同的學生適切的學習任務、彈性適切的分組讓不同學生皆能有機會獲得學習、持續且適性的評量讓不同學生能夠掌握單元的重要概念與技能 (Tomlinson, 2001; Tomlinson et al., 2003)。

雖然差異化教學已經推行一段時間，然而國內仍然處在理念的闡述，而很少有實際的教學內容實施。張堯卿（2016）嘗試在教學前分析學生認知類型，再思索如何提供適切的教學活動，結果顯示透過投影片教學符合視覺類型而動手操作符合觸覺類型學生。雖然張堯卿提供差異化的教學實踐，但是仍未針對內容、過程以及成品做出區分，亦即如何在有限的教學時間之內實務性地協助不同的學生掌握教材內容，如何藉由不同的教學策略與學習路徑協助不同能力學生，以及如何透過評量的結果回饋學生與教師，讓學生獲得學習成就感，並讓教師思考教學的策略改進。

4. 力學相關研究

物理學上的力學概念往往與生活直覺的想法有所出入，造成學生概念學習上的困難。當學習力學概念時，學生會以自身直覺的想法進行推理，而忽略真正科學模型的解

釋內容。Vosniadou (1994) 認為學生會受到自身預設與文化因素的影響，形成對特定概念的初始模型(initial model)，若要協助學生從初始心智模型進展至科學模型(scientific model)，不僅應該提供正確的科學模型，更應該要修正學生自身對於外在世界的預設(見圖 2)。

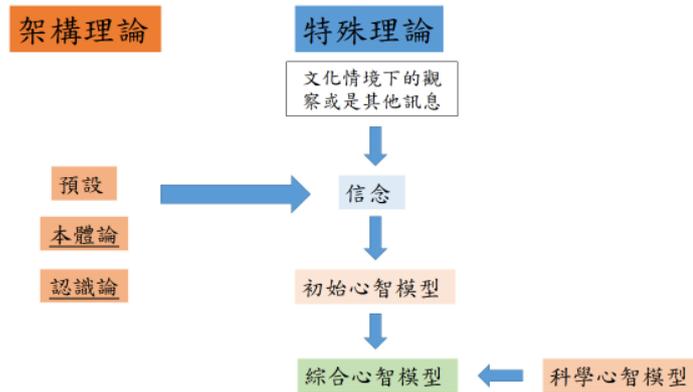


圖 2：學生的預設影響心智模型的建立 (Vosniadou, 1994)

力學中學生最常見的迷思概念即是衝量理論 (Impetus Theory)，它是指當物體受到力作用後會持續保有此力作用，直到物體受到阻力之後，衝力逐漸消耗殆盡 (e.g., Halloun & Hestenes, 1985)。例如：當物體往上拋時，學生會認為手向上拋的力仍存在於物體，上升過程中物體受到的衝力變小，下降過程中此衝力再度變大。

5. 理念與研究架構

為了顧及課堂中每位學生的需求，讓不同學習成就的學生在課堂中皆能獲得成功經驗，本研究嘗試進行差異化模型本位合作學習教學，藉由彈性地進行異質性與同質性分組，讓學生在異質性小組中能夠解決困惑，在同質性任務中能夠提升動機，並且相互討論學習獲得成長 (見圖 1)。

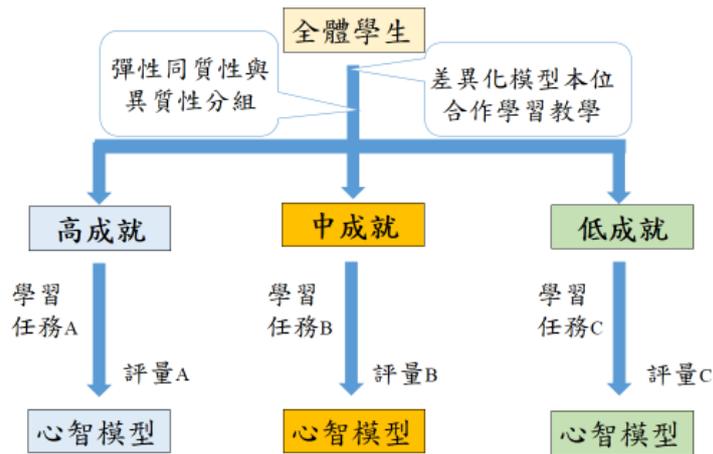


圖 3：本研究架構

基於上述文獻分析與探討，本研究的研究目的主要探討模型本位合作學習教學模組如何促進學生學習等加速度。研究問題臚列：

1. 九年級學生在「差異化模型本位合作學習教學」與「模型本位合作學習教學」前、後，其「牛頓第二運動定律」之概念成就測驗的差異為何？
2. 九年級學生在「差異化模型本位合作學習教學」與「模型本位合作學習教學」前、後，其「牛頓第二運動定律」之心智模型的轉變為何？
3. 九年級學生在「差異化模型本位合作學習教學」與「模型本位合作學習教學」的歷程中，小組成員彼此間互動的情形為何？
4. 在實施「差異化模型本位合作學習教學」時，教師如何規劃教學活動與協助學生進行概念建構？

二、執行單位對計畫支持(援)情形與參與計畫人員

本項專案研究計畫參與人員為計畫主持人以及協同主持人。行政人員協助計畫送審以及相關經費核銷事宜。行政對口單位成員包括：教務主任、教學組長、設備組長、以及相關協助行政人員。學校方面非常樂見教師能夠自主申請專案計畫進行行動研究，同時也全力配合研究方案進行。

三、研究方法

(一) 研究對象與情境

研究對象為便利取樣之新北市立某高中國中部九年級 2 個班級學生，約 60 人。其中 1 個班級學生進行差異化模型本位合作學習教學模組試驗(N = 30)，另外 1 個班級學生則進行模型本位合作學習教學模組(N = 30)。該校學生國一入學即以智力測驗成績進行常態編班，學區家長職業多以藍領為主，多數家庭經濟情況屬於小康，每個班級約有 1 名資源班學生。國中畢業升學高中與高職比約為 3：7。

(二) 教學活動設計

本研究工具主要為概念成就測驗、概念構圖以及小組互動問卷為主，並輔以課堂學習單（見圖 4）。茲分述如下：

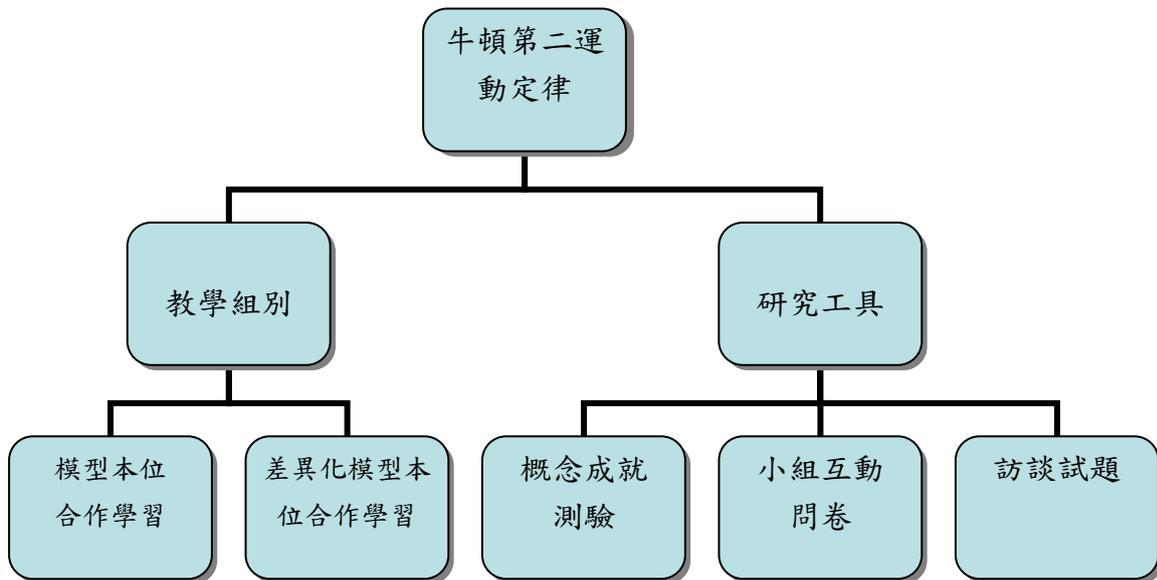


圖4 本研究之組織架構

1. 概念成就測驗

牛頓運動定律概念成就測驗主要區分為三個主要概念，分別是(1)力的作用、(2)合力為零、(3)作用力、質量與加速度的關係。相關命題陳述如表 1 所示，試題總題

數 25 題，完成初始命題之後，請專家進行審查、修正後進行施測。

表1 牛頓第二運動定律命題陳述

主要概念	命題陳述	題數
力的作用	相同物體，受定力作用，則為等加速度運動 力會對物體造成狀態改變	6
合力為零，加速度為零	合力為零，物體進行等速度運動或靜止不動 外力消失時，合力為零，物體作等速度直線運動	9
作用力=質量 x 加速度	作用力為質量與加速度的乘積 作用力相同，質量與加速度成反比 作用力=質量 x 加速度，其中作用力必須是合力 作用力=質量 x 加速度，其中質量必須是系統質量 作用力=質量 x 加速度，其中加速度=速度變化/時間 作用力=質量 x 加速度，其中加速度=位移/時間 ²	10

2. 小組互動與合作自評量表

異質性分組時，小組成員的組內互動可以讓學習成就高者與低者相互進行分享。同質性分組時，相似能力的小組成員可以相互砥礪，彼此間的學習程度相近，互動討論時能夠彼此相互激勵。在解釋說明的同時反思學生自己概念模型的正確性，也可藉由他人的提問進行反思與修正。

本研究小組互動與合作自評量表引用自鐘建坪（2016），其量表主要修改自楊致慧和黎瓊麗（2013）以及鄭景華和湯宗益（2004）之小組互動與合作問卷內容。鐘建坪改採取李克氏 7 點量表作為評分設計，並進行因素分析之後區分出三個構面，包括：「支持」、「分享」與「維持」，分數越高顯示小組成員之間互動與合作情形愈高。

3. 半結構訪談試題：衡量理論的心智模型轉變

學生的心智想法可以藉由不同表徵型態外顯化，本研究嘗試將學生在訪談中呈現概念與其因果推理視為學生的心智模型。半結構式問卷試題主要修改自 Ioannides 和 Vosniadou (2002) 力概念問卷以及 diSessa、Gillespie 和 Esterly (2004) 對相同力概念問卷額外增加的情境試題。

(三)教學設計

教學設計主要依據模型本位合作學習步驟進行，實驗組增加差異化教學，以同質性與異質性彈性分組，強調讓學生在學習歷程產生心智模型的轉變，藉以獲得相關的牛頓第二定律概念模型。教學規劃如表 2 所示。

表 2 等加速度教學模組設計

節次	差異化模型本位合作學習組	模型本位合作學習組
1	<p>● 模型與建模本質觀點</p> <p>(A)授課： 說明模型與建模的定義。</p> <p>(B)討論： 同質性：討論何種模型較為適切。 異質性：提出一種科學模型，並說明適切性</p> <p>(C)反思： 反思自己原先模型與建模的定義與目前定義的差異。</p>	<p>● 模型與建模本質觀點</p> <p>(A)授課： 說明模型與建模的定義。</p> <p>(B)討論： 同質性：討論何種模型較為適切。</p> <p>(C)反思： 反思自己原先模型與建模的定義與目前定義的差異。</p>
2	<p>● 牛頓第二運動定律實驗</p> <p>-作用力、質量與加速度關係</p> <p>(A)授課： 學生閱讀打點牛頓第二運動定律實驗。</p> <p>(B)討論： 同質性：問題情境可能有哪些變因需要探討，以及討論這些變因的可能關係。 異質性：完成牛頓第二運動定律實驗</p> <p>(C)反思： 學生完成實驗記錄與問題討論</p>	<p>● 牛頓第二運動定律實驗</p> <p>-作用力、質量與加速度關係</p> <p>(A)授課： 學生閱讀牛頓第二運動定律實驗。</p> <p>(B)討論： 同質性：問題情境可能有哪些變因需要探討，以及討論這些變因的可能關係。 同質性：完成牛頓第二運動定律實驗</p> <p>(C)反思： 學生完成實驗記錄與問題討論</p>

3

● 分析實驗數據

(A)授課：

老師示範分析理想化牛頓第二定律數據。

(B)討論：

同質性：分析理想化數據分析位移、平均速度

平均加速度，並繪製作用力與質量關係圖。

異質性：完成不同難度之學習任務

(C)反思：

學生上台發表並進行評量

● 分析實驗數據

(A)授課：

老師示範分析理想化牛頓第二定律數據。

(B)討論：

同質性：分析理想化數據分析位移、平

均速度平均加速度，並繪製作用力與質

量關係圖。

(C)反思：

學生上台發表並進行評量

4

● 分析實驗數據

(A)討論：

學生分析實驗數據：位移、平均速度平均加速

度，並繪製作用力與質量關係圖。

(B)討論：

同質性：理想化與實際實驗結果之間的差異

異質性：完成不同難度之學習任務

(C)反思：

評量與反思那些因素影響牛頓第二運動定律

● 分析實驗數據

(A)授課：

學生分析實驗數據：位移、平均速度平均

加速度，並繪製作用力與質量關係圖。

(B)討論：

同質性：理想化與實際實驗結果之間的差異

(C)反思：

評量與反思那些因素影響牛頓第二運動定律

5 ● 牛頓第二運動定律的關係式

(A)授課：

教師示範從理想化數據關係圖陳述 $y=kx$ 科學意義。

(B)討論：

異質性：學生說明自己實驗結果的關係圖陳述 $y=kx$ 科學意義

同質性：協助不同學習成就之間的困難

(C)反思：

學生上台發表並進行小組評量

● 牛頓第二運動定律的關係式

(A)授課：

教師示範從理想化數據關係圖陳述 $y=kx$ 科學意義。

(B)討論：

同質性：學生說明自己實驗結果的關係圖陳述 $y=kx$ 科學意義

(C)反思：

學生上台發表並進行小組評量

6 ● 效化牛頓第二定律關係式合理性

(A)授課：

教師舉例說明模型效化鷹架的意義

(B)討論：

同質性：透過鷹架協助學生確認所學之模型是否合理，讓學生透過推理連結符號模型與巨觀現象。

異質性：完成不同難度之學習任務

(C)反思：

讓學生發表自己的論證過程

● 效化牛頓第二定律關係式合理性

(A)授課：

教師舉例說明模型效化鷹架的意義

(B)討論：

同質性：透過鷹架協助學生確認所學之模型是否合理，讓學生透過推理連結符號模型與巨觀現象。

(C)反思：

讓學生發表自己的論證過程

7

● 類推牛頓第二運動概念

(A)授課：

教師舉例說明作用力、質量與加速度的相關試題

(B)討論：

同質性：作用力、質量與加速度的相關試題

異質性：完成不同難度之學習任務

(C)表揚：

學生發表解題歷程並進行小組評量

● 類推牛頓第二運動概念

(A)授課：

教師舉例說明作用力、質量與加速度的相關試題

(B)討論：

同質性：作用力、質量與加速度的相關試題

(C)表揚：

學生發表解題歷程並進行小組評量

8

● 不同表徵圖形意涵與差異

(A)授課：

綜合說明靜止、等速度運動以及等加速度運動

X-t 圖、V-t 圖、a-t 圖、F-m、F-a、F-t 之差異

(B)討論：

同質性：提供情境讓學生解釋靜止、等速度運

動以及等加速度運動 X-t 圖、V-t 圖、a-t 圖、

F-m、F-a、F-t 之差異

異質性：完成不同難度之學習任務

(C)反思：

學生發表解題歷程並進行小組評量

● 不同表徵圖形意涵與差異

(A)授課：

綜合說明靜止、等速度運動以及等加速度運

動 X-t 圖、V-t 圖、a-t 圖、F-m、F-a、F-t

之差異

(B)討論：

同質性：提供情境讓學生解釋靜止、等

速度運動以及等加速度運動 X-t 圖、V-t

圖、a-t 圖、F-m、F-a、F-t 之差異

(C)反思：

學生發表解題歷程並進行小組評量

9

● 自由落體與拋體運動的受力情形

(A)授課：

說明自由落體是等加速度運動的一種形式。說明運動過程中($a=\Delta V/\Delta t=9.8\text{m/S}^2=g$)與重力的關係

(B)討論：

同質性：(1)101 大樓落下一顆石頭，其運動情形(2)手垂直向上拋出一顆石頭，石頭運動情形

異質性：異質性：完成不同難度之學習任務

(C)表揚：

學生發表解題歷程並進行小組評量

● 自由落體與拋體運動的受力情形

(A)授課：

說明自由落體是等加速度運動的一種形式。說明運動過程中($a=\Delta V/\Delta t=9.8\text{m/S}^2=g$)與重力的關係

(B)討論：

同質性：(1)101 大樓落下一顆石頭，其運動情形(2)手垂直向上拋出一顆石頭，石頭運動情形

(C)表揚：

學生發表解題歷程並進行小組評量

(四) 資料編碼與分析

本研究所蒐集之資料區分為量化與質性兩個部份，其中量化資料為概念成就測驗與小組互動自評量表，而質性資料半結構訪談與課室教學錄影。量化資料以前測為共變數進行單因子共變數分析。而質性資料則收集研究對象之心智模型，再根據學生回答的想法進行分類，大致可將學生的心智模型分為初始模型、合成模型 (synthetic model) 與科學模型三類，課室錄影部分則作為教師教學、師生互動與學生小組互動情形的佐證資料，以利三角矯正。

三、 執行進度 (請評估目前完成的百分比)

本研究流程分為四個階段，第 1 階段主要搜集資料進行文獻探討，針對目前文獻中已有針對差異化教學、模型本位合作學習以及心智模型的發展等相關論點進行整理；第 2 階段發展概念成就測驗試題、半結構訪談試題以及形成性評量試題；第 3 階段實際進

行教學與質性與量化資料蒐集；第4階段為登錄所蒐集的資料並進行分析；最後，第5階段為撰寫研究報告。詳見下圖5：



圖5 本研究工作流程圖

目前本計畫完成階段1至階段3登錄學生資料部分，並正著手進行學生資料的分析，未來6個月將著重在學生資料的統計分析、成果展現以及撰寫成果報告。

四、預期成果

(一)發展差異化教學模組

本研究嘗試進行差異化教學模組設計，模組成果可作為差異化教學的實際範本，協助教學現場教師思索如何在常態編班的情形下實施差異化教學，讓學生學習獲得最大化成效。

(二)精緻化模型本位合作學習教學架構

異質性分組一段時間之後，高成就與低成就的差異性逐漸增加，若只要求高成就學生無條件協助低成就學生的學習，高成就學生有時會顯懶散或是不知該如何教導。雖然模型本位合作學習績學架構能夠基於建模教學與合作學習，若能再針對不同學習成就學生精進則能更強化此種教學模式的內涵。

(三)協助不同學習成就學生課堂學習與概念發展

知悉學生的概念發展，教師才能針對學生可能發生的迷思概念或是錯誤的心智模型進行教學，得以幫助學生進行概念改變或模型轉換。

五、檢討

(一)教師共備發展差異化課程

差異化目前仍處於理論發展階段，實際實務的教學課程尚未多見，如何設計不同學習能力學生的學習任務，達到最大的學習成效需要多位教師投入共同備課設計教學。

(二)協助學生保持課堂專注與學習

不管何種教學模式，如何讓學生專注在課堂學習是一項重要的事情。尤其概念較為抽象與複雜的牛頓力學，教師應該思索讓不同程度學生可以藉由教材、教學或是評量等不同的方式專注在學習。

(三)協助每位學生概念發展與轉變

當學生真的投入學習才能進行概念的發展、精緻、遷移與重建的歷程，也唯有知悉學生的概念發展，教師才能得知該如何協助學生進行概念衝突，進而進行概念改變。

參考資料

教育部 (2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。台北市，作者。

教育部 (2017)。十二年國民基本教育課程綱要：自然科學領域。台北市，作者。

鐘建坪 (2013)。模型本位探究策略在不同場域學習成效之研究 (未出版之博士論文)。

國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北市。

- 鐘建坪 (2014)。模型本位合作學習教學策略。 *台灣化學教育*, 1(2), 203-209。
- 鐘建坪 (2016)。 **等加速度運動之模型本位合作學習教學模組設計與教學** (未出版)。106 學年度教育部中小學科學教育專案計畫成果報告, 臺北市。
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. Oxford University Press, New York.
- diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056 – 1065.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62.
- Johnson-Laird P. N. (1989). *Mental models*. In M. I. Posner (Ed.), *From foundation of cognitive science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Jong, J. P. (2016). The effect of a blended collaborative learning environment in a small private online course (SPOC): A comparison with a lecture course. *Journal of Baltic Science Education*, 15(2), 194-203.
- Justi R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Pablico, J., Diack, M., & Lawson, A. (2017). Differentiated instruction in the high school science classroom: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 16(7), 30-54.
- Tomlinson, C. A. (2001). *How to differentiate instruction in mixed-ability classrooms* (2nd ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Tomlinson, C. A., Brighton, C., Hertzberg, H., Callahan, C. M., Moon, T. R., Brimijoin, K., et al. (2003). Differentiating instruction in response to student readiness, interest, and

learning profile in academically diverse classrooms: A review of literature. *Journal for the Education of the Gifted*, 27(2-3), 119-145.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.