

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number : PMS1120713

學門專案分類/Division : 數理

計畫年度 : 112 年度一年期 111 年度多年期

執行期間/Funding Period : 2023.08.01 - 2024.07.31

先備知識課前教程對概念理解的影響

Effects of pre-class tutorials

for prior knowledge on conceptual understanding

計畫主持人(Principal Investigator) : 黃玉林

協同主持人(Co-Principal Investigator) :

執行機構及系所(Institution/Department/Program) : 國立東華大學 / 物理系

成果報告公開日期 : 立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date) : 2024 年 7 月

# 先備知識課前教程對概念理解的影響

## 一、本文 (Content)

### 1. 研究動機與目的 (Research Motive and Purpose)

本計畫優化教學設計以促進學生的概念理解。以大二必修課程中的「牛頓動力學」為模型教程，在傳統講授法的教學設計中融入同儕教學，將自行開發的雲端介面 App 工具應用於訓練概念理解作業，實現非同步雲端互動的線上同儕教學，解決課堂時間限制的問題，藉此活化、深化學生對先備知識的理解、發掘迷思概念，並即時回饋至學生端、教師端。本研究使用先導計畫所建立的 CCMI 研究本位標準評量試題工具，提供具有專家效度、可跨學年重複使用的量化尺標，比較不同教學設計對於概念理解的教學成效影響。

### 2. 研究問題 (Research Question)

在物理系大學部課程中，學生學習物理、數學知識經常遭遇概念理解缺乏或深度不足的困難，無法領會老師或課本所傳遞知識的科學意義，只專注於容易獲得、記憶性的、可公式化操作的個別獨立知識。累積記憶性知識對於初學者有幫助，但因缺乏概念理解，許多學生停滯於規則記誦、公式套用的入門學習模式，無法深化理解形成結構化知識。概念理解困難阻礙學生學習，在大二以上專業進階課程更是顯著。

多數教師採用以講授法為主的傳統教學設計，優點是可以靈活且快速地演示解題和專家思維，以便在有限課堂時間內涵蓋高質量的課程目標，同時呈現有深度和廣度的科學視野。然而，大量文獻報導指出，被動聽講對於學生組織與消化資訊、促進理解的教學引導效能很低。教學研究發現，同儕教學(peer instruction)等新教學法藉由互動促進主動學習，可幫助學生概念理解。已發表的同儕教學法驗證大多僅限於基礎課程，例如大一普通物理、微積分。在有難度與要求理解深度的進階課程中，同儕教學等新教學法對提升理解的效能需要更多的教學現場驗證。

另一方面，教學現場經驗發現，先備知識不足阻礙進階學習。本研究利用同儕教學的互動效能優化教學引導，且協助學生活化、深化先備知識，將探討此新教學設計對學生理解成效的影響。

### 3. 文獻探討 (Literature Review)

#### 先備知識與評量

許多研究者認為先備知識(prior knowledge)對學習成效有很大影響(Bloom 1982, Dochy et al 1999, Lee Joseph Cronbach 1977)，它可以簡單界定為「學生帶進學習過程的知識、技能或能力(D. H. Jonassen 1993)。」，或如圖 1(a)右上區塊條列其屬性來定義先備知識(Hailikari 2009)。Dochy 用圖 1 (a)左圖描述涉及先備知識相關研究用語(terminology)的理論架構。如圖 1 (b)所示，Dochy & Alexander 將先備知識對學習的效果歸納成三個範疇(Filip J. R. C. Dochy 1995)：(1)先備知識直接促進學習的影響，(2)先備知識特質(不足、迷思概念、可達性、數量、可用性、結構)的影響，(3)先備知識特質與促進效果相互影響的效果。既有知識的結構(structure of the acquired knowledge)可以看成對新資訊的吸收有限制(constrain)的作用。

知識結構相關研究的重要意涵在於，幫助我們辨識使知識有所區別的認知過程(cognitive process)(Hailikari 2009)。這點對於評量很重要：應使用不同的評量方法來評量不同的類型的先備知識。例如，測度事實記憶(factual recall)傳統的評量不足以反映學生在課程開始時的理解深度。

再者，評量方法影響觀察先備知識對成效(performance)的影響。因此，組合多種評量良方法有利於較完整地掌握學生的先備知識。

如 Dochy, Segers & Buehl 指出，考慮使用何種評量方式以及在測驗題中激活哪一類型先備知識很重要(Dochy et al 1999)。另一方面，實施評量有利學生學習，一方面可提供他們自我評量的方法，可幫助他們察覺自己的先備知識，另一方面透過活化(activating)他們的既有知識來引導他們朝向課程內容(R. Martens 1997, Wratten & Hodge 1999)。為獲取改進教學設計的實用資訊，本研究將評量先備知識對學習的影響，其中特別關注 Dochy 先備知識圖式中的內容知識(content knowledge)面向，忽略先備知識的後設認知面向。

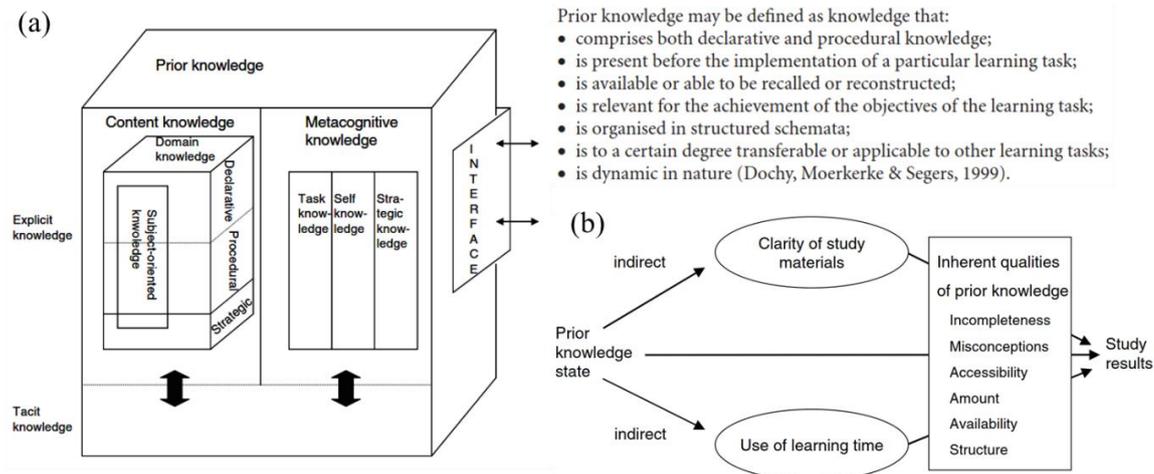


圖 1

## 互動教學法

作為傳統講授教學的改革設計，同儕教學的理念與上述建構主義學習觀點相符，具有「互動式教學」方法的特徵。在以測驗為基礎的教學方法(question-driven instruction)中(Beatty et al 2006)，也應用了類似同儕教學的問答-討論模式，此類教學設計以促進同儕之間互動來提升教學效能。

同儕教學的學習效能主要來自同儕互動，在同儕討論的互動過程中，即使原先小組互動獲得的觀念是錯的，此互動學習模式仍能使學生更加主動、投入學習過程，同時可增進概念理解，並提升解決問題的能力(Crouch & Mazur 2001)。研究發現互動教學對學習的效能極佳而令人驚奇：「即使討論群組中沒有人知道正確答案，同儕討論仍可提升理解」。(Smith et al 2009)

使用非同步線上工具(Englund et al 2021)可實施類似實體教室中的同儕教學程序：1. 學生對選擇題問題作答，並給出解釋；2. 學生參閱其他學生對此問題的答案與解釋；3. 學生在思考他人答案後，決定修改答案與解釋或不修改直接繳交送出。實驗研究發現，優化設計的線上工具可改善學生對思考答題的認真投入(Englund et al 2021)。

## 4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

本計畫以大二必修的力學(一)為配合課程，學習主題依授課次序如表 1。本課程採用課本為 Thornton & Marion 合著的“Classical Dynamics of Particles and Systems”。以此課程前半學期「牛頓動力學」的模型教程為研究範圍，涵蓋 T1、T2、T3、T4 各主題如表 1，對應課本各章標題如下：1. Matrices, Vectors, and Vector Calculus；2. Newtonian Mechanics—Single particle；

3. Oscillations; 5. Gravitation。力學(一)期中考之後的後半學期課程涵蓋第6、7章的變分法與分析力學，不納入本研究範圍。表2說明教學設計：每週課堂時間包含3小時的必修課與1小時的選修演習課。課堂活動以1/4課堂時間實施同儕教學，3/4課堂時間為教師講授。指定作業除了演算型的課本習題之外，另包含利用App工具模擬同儕教學的課後雲端互動作業，以及使用即時反饋系統(zuvio IRS)的非互動習題。雲端互動作業與zuvio習題皆為無須演算的概念題，其中zuvio習題納入針對先備知識的課前教程作業，藉此警示學生可能缺漏的基礎知識，並使教師在課前獲取學生對進階知識所需的先備知識理解程度，並利用演習課時間講解、複習多數學生有困難的問題與基礎課程中的重要觀念。

學期成績採計方式如表3所示，此設計可鼓勵同學參與課堂討論，其中出席課堂並回答同儕教學的測驗題(不計對錯)，以及課後雲端互動作業測驗題作答，均可獲得部分成績。根據文獻建議，同儕教學以採用類似上述方式的低風險計分策略為佳。

課程進度規劃如圖2。由於本校在學期中震災後採用線上授課，原訂於第十週實施的後測改為分九次(每次一題)使用zuvio線上作答，依試題配分設定施測時間為每題6-15分鐘。

表 1

主題#	物理脈絡 (phys. contexts)	數學工具/方法 (math. tools/methods)
T1	運動學 (Kinematics)	向量，曲線座標系 (Vectors, curvilinear coordinate systems)
T2	牛頓運動定律，守恆定理 (Newton's Laws, conservation theorems)	常微分方程，線積分，梯度算子，泰勒展開 (ODEs, Line integrals, Gradient operator, Taylor expansion)
T3	重力場，位能，等位面 (Gravitation, potential energy, equipotential surfaces)	面/體積分，高斯定理 (surface/volume integrals, Gauss' theorem)
T4	簡諧振子，相圖，阻尼與強迫振子，共振，非線性振盪 (simple harmonic oscillator, phase diagram, damped and driven oscillators, resonance, non-linear oscillations)	複數與常微分方程，傅立葉級數，疊加原理 (Complex numbers & ODEs, Fourier series, principle of superposition)
T5	漢米爾頓原理，拉格朗日動力學，漢米爾頓動力 (Hamilton's principle, Lagrangian dynamics, Hamiltonian dynamics)	變分法，歐拉方程與未定乘數，廣義座標 (Methods in the calculus of variations, generalized coordinates, Euler's equations and undetermined multipliers)

表 2

學習場合	教學/學習模式
課堂時間	同儕教學(1/4) + 教師講授(3/4)
課前&課後	同儕互動作業 +非互動作業(含先備知識課前教程)

表 3

習題作業	課堂討論問答	指定練習	第一次小考	期中考 (主題 T1-T4)	第二次小考	期末考 (主題 T1-T5)
0%	10%	10%	10%	30%	0%	40%

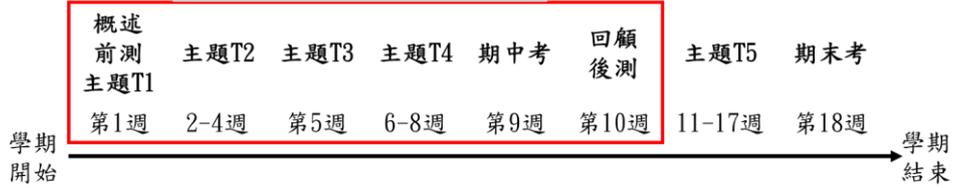


圖 2

Q no.	Pts	Short name	Description
Q1	3	Common differential equations	Context: 1D, linear, homogenous differential equations Tasks: Write the general solution to the differential equations $\ddot{x} = -A^2x$ (part a) and $dy/dt = By$ (part b). Describe a physical situation where $d^2z/dt^2 = B$ is applicable (part c)
Q2	2	Taylor approximation	Context: Gravitation Task: Given $\Delta g = GM_E/(R-d)^2 - GM_E/R^2$ , explain how you would determine an approximate formula for $\Delta g$ if $d$ is small.
Q3	5	Potential energy map	Context: Potential energy plot of a particle free to move on a 2D plane. Tasks: Where is the particle in stable equilibrium (parts a and b)? Rank the magnitude of the gradient at points on the plot (part c). Draw vectors that represent the force at those points (part d)
Q4	5	Damped harmonic oscillator	Context: Expression, $a_1\ddot{x} + a_2\dot{x} + a_3x = 0$ , and a corresponding graph for the motion of mass on a spring. Tasks: Identify the units of $a_1$ , $a_3$ (parts a and b), and resketch the solution if $a_3$ is smaller (part c). What would a $g(t)$ in lieu of "0" represent (part d)?
Q5	3	Simple harmonic oscillator	Context: Simple harmonic motion Tasks: In simple harmonic motion, what is restoring force proportional to (part a)? Write an expression for position as a function of time (part b). Draw potential energy as a function of position (part c).

Q no.	Pts	Short name	Description
Q6	6	Vector decomposition	Context: Ball sliding in the bottom of a sawed off sphere. Tasks: Draw the vectors $\vec{r}$ and $\vec{\theta}$ (part a). Express the velocity vector in the $x$ - $y$ and $r$ - $\theta$ coordinate systems (part b). Check your answer (part c).
Q7	2	Resonance	Context: Mass on a frictionless spring attached to a driving force with a small amount of friction in the system. Tasks: Sketch the amplitude of the oscillation of the mass as a function of the driving frequency.
Q8	4	Writing a differential equation	Context: Particle confined to move between two objects that attract it. Tasks: Given description of the position and forces, write down a differential equation that describes the position of the particle as a function of time.
Q9	3	Writing an integral	Context: Infinitely thin cylindrical shell with non-uniform mass per unit area. Tasks: Write down the infinitesimal area, $dA$ (part a). Write down an integral that would give you the mass of the entire shell (part b).

圖 3

**Q8.29 Central-force motion: orbital precession**

步驟1: 詳讀以下問題, 選擇妳/他的答案

Q8.29 We have discussed the two-body motion due to a central-conservative force. The angle change during the orbital motion has been derived in equation (8.17) as

$$\theta(r) = \int \frac{L^2 dr}{2\mu(r^2 - 2\mu U)}$$

FIG. 8-4 shows an example of open orbits. The blue arrow indicates  $\vec{r}$  with  $r = r_{max}$ . After a further half revolution, which of the red arrows could represent  $\vec{r}$  with  $r = r_{min}$ ?

A.  
 B.  
 C.  
 D. More than one answers.

步驟2: 請向其他同學說明你的理由和想法。(必填)

運動是順r極大到r極小就是轉半圈, 180度

請按“下一步”查看其他同學的答案, 然後你可以修改自己的答案再提交。

下一步

**Q8.5 Central-force motion: orbital precession**

Q8.29 We have discussed the two-body motion due to a central-conservative force. The angle change during the orbital motion has been derived in equation (8.17) as

$$\theta(r) = \int \frac{L^2 dr}{2\mu(r^2 - 2\mu U)}$$

FIG. 8-4 shows an example of open orbits. The blue arrow indicates  $\vec{r}$  with  $r = r_{max}$ . After a further half revolution, which of the red arrows could represent  $\vec{r}$  with  $r = r_{min}$ ?

A.  
B.  
C.  
D. More than one answers.

步驟3: 參考以下同學答案, 跟妳/你自己的答案比較。

選項: C  
解釋: 運動是順時針方向

步驟4: 有需要的話可以修改妳/你的答案。確認後按“下一步”提交後可以看見正確解答, 不得再修改。

A.  B.  C.  D.

請向其他同學說明你的理由和想法。(必填)

r極大到r極小就是轉半圈, 180度

下一步

**Q8.5 Central-force motion: orbital precession**

Q8.29 We have discussed the two-body motion due to a central-conservative force. The angle change during the orbital motion has been derived in equation (8.17) as

$$\theta(r) = \int \frac{L^2 dr}{2\mu(r^2 - 2\mu U)}$$

FIG. 8-4 shows an example of open orbits. The blue arrow indicates  $\vec{r}$  with  $r = r_{max}$ . After a further half revolution, which of the red arrows could represent  $\vec{r}$  with  $r = r_{min}$ ?

A.  
B.  
C.  
D. More than one answers.

步驟5: 理解以下正確答案, 跟妳/你自己的答案比較。

選項: C  
解釋: FIG. 8-4(Marion課本295頁)的軌道運動顯然是順時針方向, 所以每當向量, 從遠日點沿著軌道到下一個近日點(r極大到r極小正好“轉半圈”), 近似橢圓軌道的長軸方向就(順時針)轉了180度再多一些, 這是所謂的進動。

妳/你的答案:  
 A.  B.  C.  D.

r極大到r極小就是轉半圈, 180度

上一題 結束 下一題

圖 4

## 5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

本計畫採用準實驗研究設計中, 以教學法為自變項, 以理解成效、解題、參與、對話、反思、學生反饋為依變項, 進行關聯性觀察, 其中控制變項的課程形式可採用實體或線上教學。實驗組、兩控制組的課堂都採用結合講授與同儕教學的授課方式, 課後活動含雲端互動同儕教學、非互動作業、課前教程, 兩組區別在於實驗組作業納入先備知識的課前教程。

採用高度驗證的CCMI工具試題(Caballero et al 2017)作為評量學生理解成效的標準化試題, 且使用108年度計畫建立、驗證課程適用性的CCMI工具試題中文版, 以避免英文理解困難干擾觀察學生理解成效(黃玉林 2019, 黃玉林 2020, 黃玉林 2022)。CCMI共有11試題, 本研究使用其中非

選擇題 Q1-Q9 的開放式問題圖 3 (Caballero et al 2017)，其中 Q3、Q5、Q9 三題為該文獻建議的前測試題，評量範圍符合本研究的模型教程。圖 4 為筆者自行開發雲端互動 App 的範例畫面，模擬非同步互動的同儕教學實施步驟。以本研究教學法班級為實驗組，先前學年的班級為對照組。

## 6. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

### (1) 教學過程與成果

實驗組教學進度如圖 2 與表 1 所示。第一週簡介課程內容，包含學期成績採計方式。詳細說明同儕教學的目的與實施方式可讓學生理解課程設計，認同增進理解概念成效的目的，減少學生因不適應創新教學方法或因不習慣使用新的科技工具來學習，而對課程安排有排斥心理。藉由練習題實際操作，確認學生均能夠使用個人帳號登入 zuvio 順利作答。此外，也讓學生練習使用雲端互動 App 作答，若有技術困難可請同學互助，或由助教協助。課程簡介之後即以圖 5 的腳踏車問題為例，說明課堂同儕教學流程以及課後雲端互動學習的作答方式。本課程每學年第一堂均課使用圖 5 的腳踏車問題，作為初次演練同儕教學的概念題，學生皆熱烈回應，顯示 1. 此類生活化的問題極受學生歡迎，2. 課堂實施同儕教學若使用適當的概念題，可藉此提升學生學習興趣與專注。

108、109 年度先導計畫研究中發現，符合眾多文獻報導的經驗數據所顯示，同儕教學確實對提升學生概念理解有顯著的高效能，反映在可客觀觀察的學習增益上。然而許多文獻報導也指出，同儕教學的實施法對成效有明顯影響。筆者經驗發現，學期初第一堂課向學生完整、詳細說明課程中採用的非傳統教學設計很重要，包含學習評量方式，以及相較於傳統教學的優點。如此可減少學生因不熟悉上課方式或誤解學習目標而所造成的不安，提升學生對新教學法的信心。

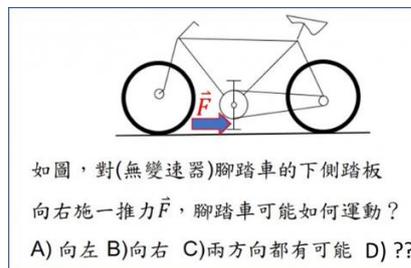


圖 5

本研究的教學設計中，課堂時間大約 1/4 應用於同儕教學，大量且多樣、契合課程內容主題的概念題庫方便教師靈活選擇在課堂使用，課堂時間不足時將題庫用於課前課後作業，使用 zuvio 或雲端互動 App 工具，可擴展學生的訓練時間和範圍。針對先備知識設計的課前作業有利於學生生活化既有知識、認知個人理解不足的主題，亦有助於教師講授進階知識時組織可幫助學生連繫既有知識的重點脈絡。然而，課堂上若使用過多時間加強、深化先備知識理解，可能阻礙預定進度，且使學生低估學習目標的挑戰，無法激發甚至弱化績優學生深入該知識領域的追求熱情；反之，若忽略先備知識缺乏與不成熟/深入所致的理解困難，將使多數學生面對有理解深度的知識即使有心學習也不得其門而入，甚至因長期挫折而失去學習的興趣。一般而言，進階的必修課程班級中學生的基本學科能力光譜極寬，教師須適當掌握在理解上有深度、挑戰性的新知識為目標的課程進度，適當包含先備知識的活化、深化的教學引導設計有利於提升學生理解與教學效能。

本計畫的教學實踐目標之一為針對課程內容與相關先備知識發展概念題庫，累積、更新改進概念試題設計。開發概念題庫成果如附件所示，包含雲端 App 工具線上同儕教學題庫，以及針對模型教程各單元主題與相關先備知識等題庫。

以下使用標準試題評量的結果來檢討教學成效，評估本研究的新教學設計對於提升學生理解的效能。本報告中所有對於實驗組、對照組的統計分析，均以完整參與標準試題 Q3/Q5/Q9 前、後測的大二學生為取用成績數據的範圍。符合此條件的實驗組大二學生共 38 人。排除大一與大三以上學生，以使觀察對象的先修課程經驗一致。不同於實驗組的前測以及對照組的前、後測，為了因應 0403 震災後全校實施線上授課，實驗組的後測改成在九次線上課堂中使用標準試題 Q1-Q9 單題施測，使用 zivio IRS 線上作答。以下統計分析忽略不同施測方式對評量結果的影響。實驗組與對照組的教學法設計差異如下。

組別	學年度	教學法
實驗組	112	講授+同儕教學+雲端互動+先備知識課前教程
對照組 A	111	講授+同儕教學+雲端互動
對照組 B	109	講授+同儕教學
對照組 C	108	講授

首先，針對標準試題 Q3/Q5/Q9 的前、後測評量結果，分析實驗組與對照組之教學成效。標準試題 Q3/Q5/Q9 評量的教學目標涵蓋課程整體範圍，反映學生對於課程相關知識的基本素養。這裡採用學習增益(learning gain)作為量化指標：

$$c = \begin{cases} \frac{\text{post-pre}}{100 - \text{pre}} & \text{post} > \text{pre} \\ \text{drop} & \text{post} = \text{pre} = 100 \text{ or } 0 \\ 0 & \text{post} = \text{pre} \\ \frac{\text{post} - \text{pre}}{\text{pre}} & \text{post} < \text{pre} \end{cases}$$

表 4 標準試題 Q3、Q5、Q9 前後、測成對樣本統計：

1. 各欄顯示該班級前測平均總成績 | 後測平均總成績，以及學習增益平均值  $\langle c \rangle$  [有效樣本數]。
2. 採用符合學習增益  $c$  定義的有效樣本範圍，即排除 “drop” 的極端數據。

組別 \ 題號	總成績(Q3+Q5+Q9)	Q3 得分	Q5 得分	Q9 得分
實驗組	19   40 0.22 [38]	11   24 0.08 [25]	16   54 0.42 [37]	36   52 0.25 [30]
對照組 A	21   32 0.08 [43]	16   20 0.01 [23]	24   33 0.04 [37]	26   52 0.41 [30]
對照組 B	20   41 0.23 [36]	13   33 0.30 [28]	26   40 0.12 [31]	26   56 0.31 [30]
對照組 C	20   34 0.10 [34]	5   16 0.13 [16]	26   45 0.22 [31]	34   50 0.24 [22]

A. 虛無假設  $H_0$ ：實驗組與對照組學生在教學前的前測 Q3/Q5/Q9 總成績無顯著差異。

對實驗組與對照組的前測 Q3/Q5/Q9 總成績進行獨立樣本 t 檢定，顯著水準假設為 0.05。

組別	人數	總得分平均	標準差	t	顯著性(雙尾) P	檢定結果
實驗組	38	19.2	19.8			
對照組 A	52	19.6	19.2	-0.088	0.930	無法拒絕 H0
對照組 B	40	20.4	22.8	-0.235	0.815	無法拒絕 H0
對照組 C	35	18.2	14.2	0.249	0.801	無法拒絕 H0

B. 虛無假設 H0：實驗組與對照組學生在教學後的後測 Q3/Q5/Q9 總成績無顯著差異。

對實驗組與對照組的後測 Q3/Q5/Q9 總成績進行獨立樣本 t 檢定，顯著水準假設為 0.05。

組別	人數	總得分平均	標準差	t	顯著性(雙尾) P	檢定結果
實驗組	38	39.7	22.8			
對照組 A	52	27.9	23.7	2.369	0.020	<b>應拒絕 H0</b>
對照組 B	40	38.1	27.5	0.277	0.783	無法拒絕 H0
對照組 C	35	33.0	22.1	1.266	0.210	無法拒絕 H0

標準試題 Q1-Q9 同樣涵蓋課程整體範圍，相較於 Q3/Q5/Q9 的素養評量，完整的標準試題 Q1-Q9 更進一步評量學生的綜合性知識能力，反映對於課程相關知識的理解深度、廣度。

根據 B 檢定結果延伸 A，假設實驗組與對照組學生在教學前的綜合性知識能力表現無顯著差異，以下針對全部標準試題 Q1-Q9 的綜合評量範圍的評量結果，比較不同教學法對提升學生綜合性知識理解的效能。

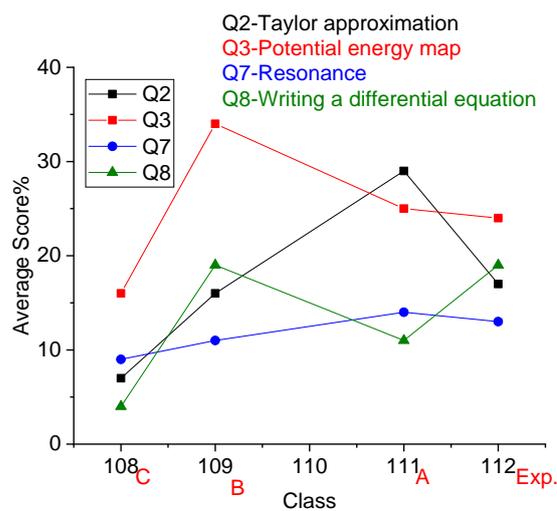
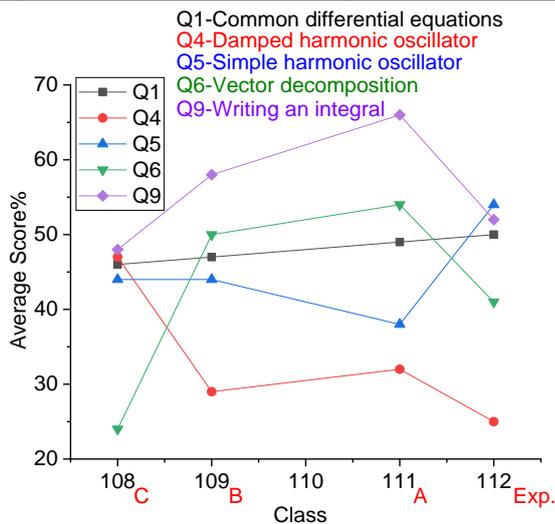
C. 虛無假設 H0：實驗組與對照組學生在教學後的後測 Q1-Q9 總成績無顯著差異。

對實驗組與對照組的後測 Q1-Q9 總成績進行獨立樣本 t 檢定，顯著水準假設為 0.05。

組別	人數	總得分平均	標準差	t	顯著性(雙尾) P	檢定結果
實驗組	19	35.8	15.5			
對照組 A	52	25.8	24.4	1.654	0.103	無法拒絕 H0
對照組 B	40	32.0	22.8	0.647	0.520	無法拒絕 H0
對照組 C	35	28.0	16.5	1.686	0.098	無法拒絕 H0

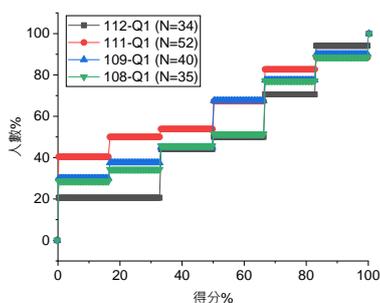
根據 B 檢定結果延伸 A，假設實驗組與對照組學生在教學前的個別相關領域知識能力表現無顯著差異，以下針對標準試題 Q1-Q9 各題評量結果，比較不同教學法對於提升學生在該相關領域的知識理解的效能。符合 B 檢定前後測數據範圍，以下比較後測 Q1-Q9 各題評量的平均成績，以 100 代表該題滿分，僅取用參與前、後測的學生成績，即前後測成對數據的樣本。表中各欄顯示後測各題平均得分與該題[作答人數]。

題號	112 實驗組 [人數]	111 對照組 A [52 人]	109 對照組 B [40 人]	108 對照組 C [35 人]
Q1	50 [34]	49	47	46
Q2	17 [35]	29	16	7
Q3	24 [24]	25	34	16
Q4	25 [26]	32	47	29
Q5	54 [38]	38	44	44
Q6	41 [34]	54	50	24
Q7	13 [27]	14	11	9
Q8	19 [35]	11	19	4
Q9	52 [38]	66	58	48

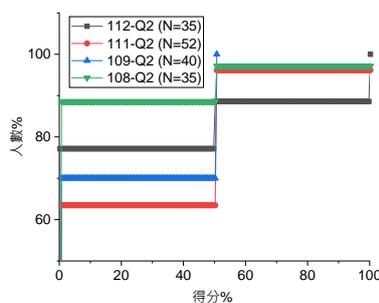


各題得分累積分佈(Cumulative Distribution)如下。

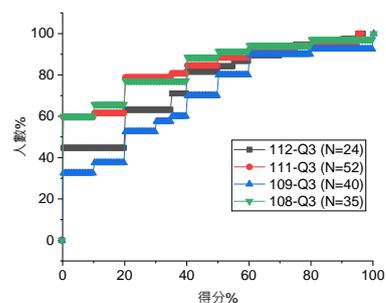
Q1



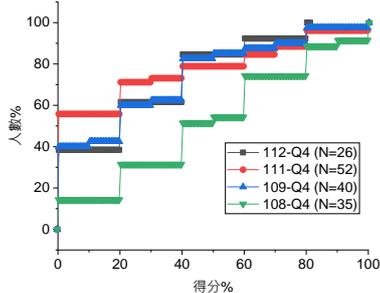
Q2



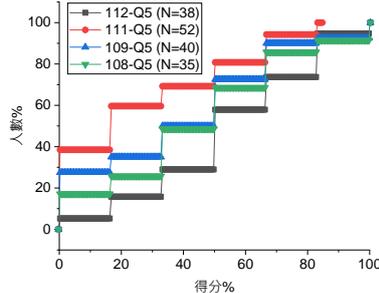
Q3



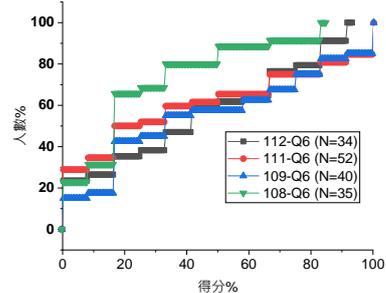
Q4



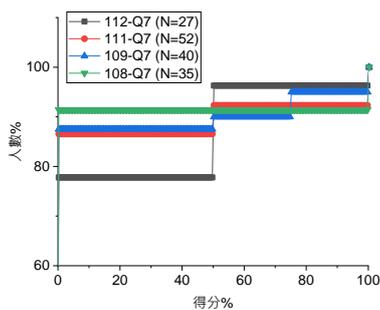
Q5



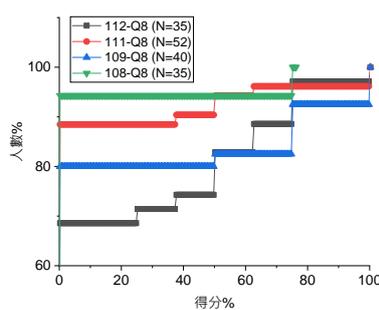
Q6



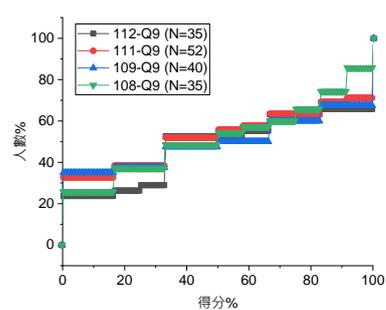
Q7



Q8



Q9



## (2) 教師教學反思

1. 如上節成果所示，相較於使用傳統講授法的對照組 C 的各題平均得分，引進同儕教學法的對照組 A、B 與實驗組的在大多數問題的平均得分較高，反映融合講授與同儕教學的新教學設計對於提升學生理解有較佳教學引導效能。

2. 承接 1，問題 Q4(damped harmonic oscillator)的得分跨年度比較結果不如預期，採用新教學法後學生的理解表現有相對弱化的趨勢，應檢討教材內容與講授策略，調整、拓展相關的概念題庫，或應用新 App 工具以雲端同儕教學加強針對該主題的理解訓練(參考以下 3.)。

3. 對照組 A、B 與實驗組均使用融合講授與同儕教學的方法，跨年度比較各題平均得分仍有明顯差異或相對消長，反映各年度教學設計中新元素的影響。例如，即使對照組 A 的 Q1-Q9 總分平均在所有四個年度中最低(0.08)，甚至低於使用傳統講授法的對照組 C(0.10)。然而，若比較各組 Q2、Q6、Q7、Q9 四題的各題平均得分，對照組 A 卻是四年度中最高，其中 Q2 得分的累積分佈顯示，近四成學生至少獲得部分分數，優於其他年度超過七成學生獲得零分的結果；可歸因於使用新 App 工具的雲端同儕教學針對該主題(Taylor approximation)的訓練。此結果符合開發雲端 App 工具的研究目的，亦即針對特定主題或高挑戰度的概念，以課外作業方式將理解訓練延伸至課後的線上同儕教學。

4. 承接 3。實驗組的 Q1-Q9 總分平均在所有四個年度中最高，在 5%顯著水準尚無法呈現優於所有對照組 A、B、C 的顯著性。然而從各題得分分佈可見，實驗組得分 50%以下低分區段(該主題理解表現屬於中後段的學生)在許多題屬於中上表現，在 Q5、Q7、Q8 三題則屬最佳。這個結果可歸因於實驗組教學納入先備知識課前教程，對於幫助中後段學生提升理解有實質助益。

## (3) 學生學習回饋

1. 本校教務系統的教學評量得分為 4.25，反映學生對新教學法接受度高。
2. 雲端介面 App 模擬同儕教學作業中，許多數學生在解釋其選擇題作答的理由說明中，投入相當心力與時間闡釋其想法，可視為對此教學工具與方法的肯定。應注意者，兩次作答內容(選擇題答案以及解釋其作答理由的說明文字)完全一樣，兩次作答之間的時間間隔大多在 0.5-2 分鐘，反映學生在獲得同儕答案與解釋的資訊後投入第二次作答前的「反思」強度，此觀察可提供教師優化概念題內容與提示評估參考。
3. 本課程納入先備知識課前教程為課後作業，讓學生使用 zuvio 作答，以選擇題形式的概念題協助學生生活化、消化先備知識，搭建學習進階知識必要的鷹架。此作業佔學期成績 10%(表 3 中的「指定練習」)，以上傳答案為計分基礎，不計對錯。此設計符合為教學研究文獻中建議的低風險評量策略，可減少學生因必修課及格壓力或追求高分企圖心而抄襲的誘因。因此，學生完成作業所使用的時間反映其自主投入學習的強度，可評估學生對教學法、教材的接受度。以下列表統

計總共七個練習(#1-#7)的題數、作答人數、調查填表人數、該練習使用的作答時間分佈、未參與作業者的態度分佈。大多數學生在各週練習作業上投入 10-60 分鐘時間，顯示這些概念題對多數學生有些挑戰性，在不計對錯的低風險評量規則下，大多數學生在自主學習作業中仍願意投入相當時間思考、學習，可視為學生認同先備知識課前教程設計的正面回饋。

表 5

練習# (題數) 作答人數/ 填表人數	< 10 分鐘	10-30 分鐘	30-60 分鐘	> 60 分鐘			我想要作答，但已逾 期無法作答。	我沒打算 要作答。
				1-2 小時	2-3 小時	> 3 小時		
#1 (6 題) 答 68/填 68	6	33	17	8			4	0
#2 (15 題) 答 64/填 61	2	15	20	17	2	3	2	0
#3 (26 題) 答 63/填 66	2	12	23	17	6	3	3	0
#4 (15 題) 答 67/填 62	1	11	25	13	5	3	4	0
#5 (15 題) 答 60/填 56	0	18	24	6	5	1	2	0
#6 (8 題) 答 59/填 40	1	14	17	4	2	2	0	0
#7 (18 題) 答 57/填 39	0	11	14	9	1	2	1	1

## 7. 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

1. 納入先備知識課前教程尤其可幫助中後段學生消化、活化已學過的概念，加強理解深度。學生自主投入作業的強度(時間)顯示對此教法有高接受度。標準試題評量結果顯示，此教學設計新元素顯著提升班級平均學習增益。
2. 如表 5 所示，大多數學生對於不計對錯的作業願意投入相當時間思考、學習，可視正面回饋。同時我們也看到，作業都是概念性選擇題(無需演算)，專家可以在兩分鐘內完成作答，大多數學生卻需時超過十分鐘，顯見這些先備知識基本概念的理解對於初學者仍有相當大的挑戰，亟需活化。
3. 成果發表會上委員提醒，應考慮先前年度學生高中時期因疫情遭遇線上學習的影響。此影響未顯示於前測結果比較中(t-檢測差異不顯著)，可能因為進入大學經過一年半學習之後已經沒有明顯效果。筆者在此特別感謝委員們提供的省思問題，並且提供可理解本研究結果的合理解釋。我們經常相信，學生在中學與大一基礎課程學習的學習成效對進階課程學習有重大影響，上述結果符合 109 年度計畫的統計分析結論：進階課程學習成效與基礎課程(微積分、普通物理)成績確實有相關，但其相關性僅屬中度偏低(相關係數  $< 0.5$ )。欲理解這些觀察，不應忽略學生在學習歷程(甚至假期)中不斷累積新知識與學習經驗、調整學習態度，以及遺忘已學知識等因素綜合影響。
4. 協助學生活化先備知識與深化其理解可提升進階課程教學成效。本研究將同儕教學強調概念理解的訓練模式延伸應用至課前、課後作業，建議優化作業設計可採用以下策略：
  - (a) zivio IRS 適用於大量選擇題題庫。

(b) 雲端互動 App 介面工具可針對較難的概念設計選擇題、問答的混和式概念題，有助於訓練學生邏輯論述能力，同時提供高效率蒐集迷思概念資訊管道。藉由適當置入引導問題，亦可從學生作答中讀取其解題的心得與學習回饋。

5. 視課程設計需求，部分選擇題式的概念題涉及較高難度、有理解深度的概念(尤如 CCMI 試題 Q2、Q7、Q8)，教師在教學訓練中應辨識出難題的挑戰度，在課堂或作業中適量使用，配合教師說明解釋以提升引導成效。另一方面，學生對生活化的問題表現極高的興趣，尤其是看似簡單多數人卻答錯的概念題，如推腳踏車踏板問題(圖 5)。建議教師適當運用生活化問題於概念題設計可提高學習誘因，也有助於活絡有時沉悶的課堂氛圍。

## 二、參考文獻 (References)

- Beatty ID, Leonard WJ, Gerace WJ, Dufresne RJ. 2006. *Question Driven Instruction: Teaching Science (Well) with an Audience Response System*.
- Bloom BS. 1982. Human characteristics and school learning. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Caballero MD, Doughty L, Turnbull AM, Pepper RE, Pollock SJ. 2017. Assessing learning outcomes in middle-division classical mechanics: The Colorado Classical Mechanics and Math Methods Instrument. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 13: 12
- Crouch CH, Mazur E. 2001. Peer Instruction: Ten years of experience and results. *Am. J. Phys.* 69: 970-77
- D. H. Jonassen BLG. 1993. Handbook of individual differences learning, and instruction. Prior knowledge., Part VII.
- Dochy F, Segers M, Buehl MM. 1999. The relation between assessment practices and outcomes of studies: The case of research on prior knowledge. *Review of Educational Research* 69: 145-86
- Englund L, Moosvi F, Roll I. 2021. Interface and interaction design for an online, asynchronous peer instruction tool. *Interactive Learning Environments*: 1-21
- Filip J. R. C. Dochy PAA. 1995. Mapping prior knowledge: A framework for discussion among researchers. *European Journal of Psychology of Education* 10: 225-42
- Hailikari T. 2009. Assessing University Students' Prior Knowledge - Implications for Theory and Practice. *UNIVERSITY OF HELSINKI DEPARTMENT OF EDUCATION RESEARCH REPORT 227*
- Lee Joseph Cronbach RES. 1977. Aptitudes and Instructional Methods: A Handbook for Research on Interactions. New York: McGraw-Hill Book Company.
- R. Martens FJRCD. 1997. Assessment and feedback as student support devices. *Studies in Educational Evaluation*: 21-48
- Smith MK, Wood WB, Adams WK, Wieman C, Knight JK, et al. 2009. Why Peer Discussion Improves Student Performance on In-Class Concept Questions. *Science* 323: 122-24
- Wratten SD, Hodge S. 1999. The use and value of prior knowledge assessments in in ecology curriculum design. *Journal of Biological Education* 33: 201-03
- 黃玉林. 2019. 108 年度教育部教學實踐研究計畫成果報告(PMS1080028)：「應用獨立評量工具辨識學生困難」.
- 黃玉林. 2020. 109 年度教育部教學實踐研究計畫成果報告(PMS1090165)：「傳統授課結合同儕教學以增進概念理解」.
- 黃玉林. 2022. 111 年度教育部教學實踐研究計畫成果報告(PMS1110012)：「線上互動學習對力學與數學概念理解的影響」.