

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：PMS1110012

學門專案分類/Division：數理

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2023.07.31

(計畫名稱/Title of the Project)

線上互動學習對力學與數學概念理解的影響

(配合課程名稱/Course Name)

力學(一)

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（統一於 2025 年 7 月 31 日公開）

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 9 月 17 日

(計畫名稱/Title of the Project)

線上互動學習對力學與數學概念理解的影響

一. 本文 Content

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

教學的主要目的是引導學習，幫助學生達成提升技能與知識理解的學習目標。教師採用的教學方法與教學活動設計將決定引導效能。在以講授為主的傳統教學設計中，課堂活動以教師為焦點，其優點是可以高效率地「傳遞資訊」(transmitting information)。許多近來發展的創新教學方法則是以學生學習為核心關注，強調教學活動中的「互動」，藉此促進學生吸收資訊 (assimilating information)。後者顯然是各種新穎教學法實現較高引導效能的關鍵。根據筆者的教學經驗，增加師生之間與同儕之間的互動確實有許多正面效果，例如使課堂氛圍變得活潑，提升學生參與、學習專注與投入等等。先前兩年度教學實踐研究計畫中結合講授法與同儕教學(peer instruction)，新教學設計增加課堂互動，確實觀察到學生理解成效有顯著提升。這個觀察支持 Smith 等人觀察所得的結論：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)。另一方面，筆者發現以下困難：

1. 同儕教學每一單元需時約 8-15 分鐘，有限的課堂時間僅能涵蓋少部分主題。
2. 使用有難度的概念題時，尤其當涉及數學工具的進階應用(例如泰勒展開求近似、以微分方程式描述運動等)，熱情投入學習的學生經常要求延長思考與討論時間，然而也有許多學生對討論缺乏興趣，被動地等待老師講解，使同儕教學時段失去互動學習效能，形同課堂學習的空窗。

在設計同儕教學實施方法時，這些侷限教學效能的問題是普遍可預期的，也是引導者應關注的挑戰。著眼於上述困難，本計畫提出有別於傳統的同儕教學實施方案，發展雲端互動 App 作為創新教學引導設計的科技工具，在課後作業中實現線上互動學習，可突破課堂時間的限制。當班級中學生先備知能分布極端或個人答題思考反應時間有落差時，非同步互動的作業設計可避免傳統同儕教學中可能出現的學習「空窗」，尤其適合用於較高難度的概念題。當疫情升高時，雲端互動 App 亦可應用於線上課程，支持遠距互動學習的課堂引導設計。

2. 研究問題 Research Question

文獻中較少關於開發雲端互動科技工具並應用於同儕教學的研究報導，與實施方法優化需要更多研究投入，並評估新設計的引導效能。本研究以物理系大二必修力學(一)為模型課程進行教學實踐，探討以下問題：

- (1) 雲端互動 App 的功能設計與操作介面是否充分、適當？例如支持課堂演練線上非同步同儕教學、執行課後雲端互動作業、收集研究所需資料等。
- (2) 教學設計是否吸引學生參與互動作業，並投入解題與反思？
- (3) 新教學設計對提升學生概念理解有何影響？

3. 文獻探討 Literature Review

教學活動的效能決定於在活動中激活的特定認知過程，而無關於是在傳統(講授為主的)教室還是翻轉教室(flipped classroom)進行此活動(DeLozier & Rhodes, 2017)。從相關文獻回顧我們可以發現，主動學習、翻轉教學等教育觀念都強調教學活動中的「互動」要素，同儕教學等創新教學法所倡議的「以學習者為中心」也是如此。

主動學習、翻轉教學

學習是建構知識的主動過程，必須在認知上投入學習材料，或者身體有所活化(physically active)，或者兩者皆有。結果是，學生能夠學到知識的程度受到他們的先備知識(prior knowledge)影響，其中先備知識可能包含迷思概念。研究已發現，講授教學對於迷思概念的處理與長期知識的建構缺乏效能。這不代表講授教學沒有好處，引導者不應採用，而是應該避免以講授法為唯一的教學方法。有些情況下，講授法可能是最有效率傳達資訊的方法。然而一個有效能的教師通常會混用不同的教學策略與方法，以最佳地符合教學情境(National Research Council, 2000, 2012, 2013; Schwartz & Bransford, 1998)。

九0年代的教育研究提倡「主動學習」(active leaning)(Bonwell & Eison, 1991)，這種引導取向(active instructional approaches)可溯源至源於六0年代的建構主義學習理論：當獲得新資訊時，我們將設法根據我們已有的觀念和經驗來理解它(National Research Council, 2000)。這個主流觀念符合 Swann 教授在五0年代已經提出的對科學教育的反思：學習的關鍵在於學習者必須自己去達成的心智過程(Swann, 1951)。近來愈來愈多教師嘗試「翻轉學習」(flipped learning)的教學設計，例如計劃導向(project-based)與問題導向(problem-based)教學法、同儕教學(peer instruction)等。計劃導向與問題導向教學預設較高的基本知能，最常應用於醫學相關課程，近來也應用到理工學科的實驗與實作課程的創新教學。翻轉學習可理解為主動學習(active learning)促進方案的一種典型。筆者在本文中不嚴格區分「主動學習」與「翻轉學習」的意思，都用來指涉以學習者為中心的學習過程，對比於傳統教學設計中，以教師為中心的傳遞資訊(transmitting information)活動的傳統學習觀念。就課堂活動設計而言，所謂翻轉是倒轉「課堂講課，課後寫作業」的傳統教學流程，改成讓學生在課前、課後自主學習或線上聽講，課堂不再只是「老師講、學生聽」，而是規劃更多元且「以學習者為中心」的活動，引導學生完成習題或解決實際問題，或更深入討論。許多教學研究宣稱，以翻轉學習為設計核心的創新教學法，比傳統講授教學更具成效。簡單的理解的是，學習瓶頸不在於資訊傳遞過程，更重要的是消化資訊，學習者必須自己重新組織資訊來完成這個內化過程，也就是「自己完成自己的學習」。翻轉教學藉由激勵或協助學習者完成這個學習瓶頸過程，因此有較高引導效能(Mestre & Docktor, 2020; Stelzer, Brookes, Gladding, & Mestre, 2010)。

同儕教學、研究本位實施法

在以掌握概念、深化理解為目的的物理專業課程中，較常採用來促進主動學習的教學模式是「同儕教學」(peer instruction)，文獻上可溯源至 1980 年代提出的形成性評量(formative assessment)，或稱為獨立思考-交流對話-群體分享(Think-Pair-Share)教學法(Keeley, 2008; Lyman, 1981)。各種促進主動學習的研究本位教學法中，「同儕教學」最適合與傳統講授教學併用，於 1991 年由美國哈佛大學物理系 Eric Mazur 教授首先提出(Crouch & Mazur, 2001)，強調概念理解學習。課堂中，教師在講授教材的一個段落後，要求學生個別回答一個概念問題(conceptual question)，且用標示牌或一般稱為「課堂表決器」(clicker)的個人回應系統(personal response system)給出自己的答案。若大部分學生答錯，教師接著要求學生互相討論說服鄰座

同學接受自己的答案是正確的。經過同儕討論後，學生必須再給出一次自己的答案。最後，教師解釋正確與不正確的答案。許多基礎課程的教學研究已證實同儕教學具有良好成效，其優勢在於引導者可以綜觀整個班級想法匿名呈現的全貌，而不是只根據少數幾個學生口頭回答問題來推論學生是否理解。因此，教學設計能更貼近學生需求。對學生的好處是，他們在課堂中會更投入，而且可以即時獲知他們對課程內容的理解程度(Mestre & Docktor, 2020)。

實務上，實施同儕教學將縮減傳統講授的可用時間，因此，引導者必須決定是否僅討論一部分課程內容，要求學生自己藉由研讀、演習課、作業來學習課堂未討論的內容；或者減少課程涵蓋的主題數量(Crouch & Mazur, 2001)。根據 Eric Mazur 提出的研究本位實施法(research-based implementation)架構，(Vickrey, Rosploch, Rahmanian, Pilarz, & Stains, 2015)同儕教學進行大致如下步驟：1.教師講授(7-10 分鐘)；2.提問；3.學生個別思考此問題；4.作答投票(記錄個別思考的答案)；5.教師檢視結果且/或公佈答案統計分佈；6.同儕討論(1-2 分鐘)；7.重新作答投票(學生記錄同儕討論後的個人修正答案)。教師根據結果決定是否加強講解此問題與答案，或繼續進行下一個概念或主題的教學。步驟 2-7 大約需時 5-8 分鐘，所以一個同儕教學單元需要 15 分鐘，一小時的課堂時間大約可分成三至四個同儕教學單元(Vickrey et al., 2015)。

近來大學推動科學、技術、工程、數學(STEM: science, technology, engineering, mathematics)領域課程的教學改革，致力於鼓勵 STEM 教師採用實證本位教學法(evidence-based instructional practices)。這些教學法已展示對於學生學習與態度的提升效能。然而，研究報導指出，教師通常是修改(adapt)、採納而非直接採用(adopt)某種教學法，可能無意識地限縮了方法的潛在效能。為了優化教學效能，引導者與研究者必須認知、注意這些教學設計的研究本位實施法(research-based implementation)，詳實記錄實施修改細節，最後才可能描繪出以這些教學法為基礎的改革努力對學習的真實影響(Vickrey et al., 2015)。以同儕教學作為實證本位教學法的範例，採納此方法的教學設計應注意以下建議與可能影響成效的實施細節(Vickrey et al., 2015)：

- 學期成績採記的影響。
- 啟動同儕討論最佳時機。教師可視情況決定是否啟動或略過同儕討論的步驟，Mazur 教授建議的判準是作答正確率介於 35%與 70%之間。
- 學生對此教學法是否有正面態度。
- 使用較具挑戰性的問題優於記憶性問題。
- 個別思考步驟有助改善學習經驗。
- 尤其在提出難度較低的問題時，投票率達 80%即倒數計時警示結束表決。
- 自攜科技工具可能分散學生注意力、影響學習。

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，不納入本研究討論。表 2 說明教學設計：以 1/4 課堂時間實施同儕教學，保留 3/4

課堂時間由教師講授。學期成績採計方式如表 3。課程進度規劃如圖 1。

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	同儕互動學習

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 T5)
0%	10%	10%	10%	30%	10%	30%

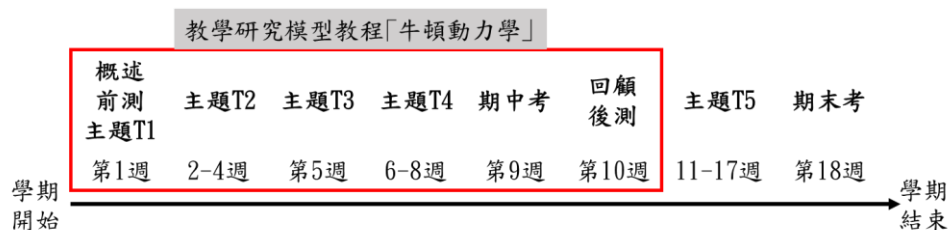


圖 1

5. 研究設計與執行方法 Research Methodology

本計畫採用準實驗研究設計，以教學法為自變項，以理解成效、解題能力、互動參與、對話、反思、學生反饋為依變項，進行關聯性觀察，其中作為控制變項的課程形式可配合疫情需求，採用實體或線上教學。本計畫採用高度驗證的CCMI工具試題(Caballero, Doughty, Turnbull, Pepper, & Pollock, 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, 2020)。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 2 (Caballero et al., 2017), 符合模型教程範圍。圖 3 為本計畫自行開發雲端互動 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, 先前兩學年班級分別為對照組 A、對照組 B, 教學實踐研究的實施流程如圖 4。

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 Δg 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_2, 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 \hat{r} and $\hat{\theta}$ (part a). Express the velocity vector in the x - y and r - θ 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 2

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

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

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)

進動是順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

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

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: 進動是順時針方向

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

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

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)的軌道進動顯然是順時針方向, 所以每當向量 r 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 3

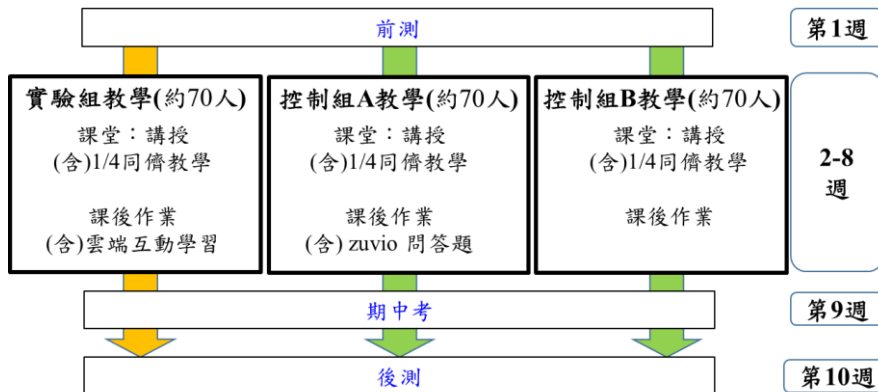


圖 4

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

(1) 教學過程與成果

教學實踐研究的實施流程如圖 4。實驗組教學與對照組 A 採用相同的課堂教學方式，以 1/4 課堂時間實施同儕教學，保留 3/4 課堂時間由教師講授，對照組 B 的課堂教學完全使用講授法。實驗組與對照組 A 教學的差別在於課後作業設計，實驗組的課後作業包含使用雲端互動工具 App 的非同步互動學習，與此對應，對照組 A 與對照組 B 的課後作業包含使用傳統(無互動)的 zuvio 問答題。後測採用先前研究建立的 CCMI 中文版標準試題 Q1-Q9 共九題，前測僅使用其中 Q3、Q5、Q9 三題。

實驗組教學第一週，先簡介課程內容、說明學期成績採計方式，然後說明同儕教學的目的與增進學生理解概念的優點。成績採計方式鼓勵同學參與課堂討論，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，均可獲得微量加分。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。隨後以圖 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。圖 5 展示對照組 A(109 同儕教學)施測結果，可見同儕教學對提升學生概念理解的極高效能(增益)。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、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。過去三學年使用圖 5 的腳踏車問題作為初次演練同儕教學的概念題，均獲得學生熱烈回應，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，可提升學生學習興趣與專注。

(1) 雲端互動 App 的功能設計與操作介面是否充分、適當？

本研究開發的雲端互動 App(圖 3)確實具有充分、適當的介面功能，可支持線上非同步同儕教學、執行課後雲端互動作業，並成功地收集研究所需資料。然而，實驗組教學過程中發現，雲端互動 App 雖可在電腦、手機或平板不同平台上操作，ios 作業系統卻無法正常顯示題目中的圖示，因此，大約有半數的學生因其手機是 ios 系統，無法在他自己的手機上使用此 App 作答，只能使用電腦完成非同步互動作業。這個障礙應在未來研究中釐清原因並設法排除。

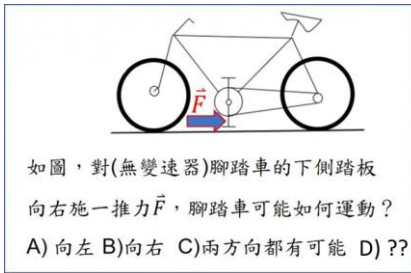
(2) 教學設計是否吸引學生參與互動作業，並投入解題與反思？

由於上述 App 在 ios 系統的圖示障礙，實驗組教學在第三週公告調整評量成績規定，取消互動作業的微量加分以避免工具使用上的系統性不公平。筆者在開始實驗組教學的學期初剛開發完成雲端互動 App，初期使用仍有些技術瑕疵，僅有極少數學生在答題中表示「不滿」(兩人，似乎無法理解為何要做教學研究，為何要花時間多學一個教學平台，見表 5)，絕大多數學生都能體諒且配合演練使用 App(見表 5)，並反應使用上的問題給老師。即使教學過程中有 App 工具應用上的技術問題干擾，在缺乏計入學期成績的參與獎勵情況下，實驗組學生共 73 人，其中自主參與課後互動作業的比例仍然不低：如圖 6 所示，在總共 13 題的課後互動作業中，有一題的參與率達七成，七題的參與率超過或接近五成。圖 6 亦顯示，實驗組學生在多數題目作答表現的學習增益超過 1.3。

實驗組教學使用圖 5 的腳踏車問題(zQ0.2)為課堂同儕教學測驗時僅讓學生完成首答(未實施二答步驟，亦未講解答案)，課後以相同問題作為雲端互動作業測驗題(CQ1.1)。如圖 5 顯示，「增益」不如對照組 A 所得數值(增益值 5.8)，但我們觀察到後續的雲端互動再度提高了三成的作答正確率。

實驗組教學使用包含圖 5 腳車問題與其他作業共 13 個雲端互動測驗題，測驗結果顯示互動「增益」最高可答 1.8(圖 7)。對於挑戰度較高、如評量「泰勒近似」概念理解的

CQ2.7、CQ2.8 的測驗題，互動「增益」亦可達 1.6 或 1.7(圖 7)。此外，為了評估學生參與互動作業時投入解題與反思，本研究測量學生使用互動 App 答題時首答與二答所用的時間(圖 6)，並記錄學生對問題的思考、解釋(圖 7)。



QCode	作答人數	首答正確 %	二答正確 %	互動學習「增益」
zQ0.2	63	0.21	X	X
CQ1.1	41	0.41	0.54	1.3

(109 同儕教學)

1st poll: 52,[5],3,0 8%
2nd poll: 15,[26],1,14 46%
互動學習「增益」 5.8

圖 5

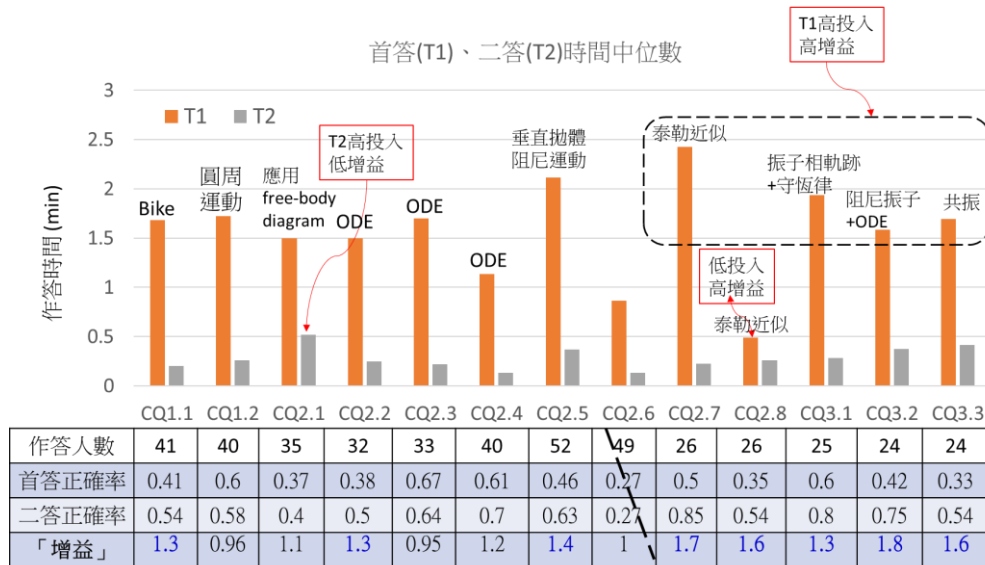


圖 6

CQ2.7

利用普物、微積分、向量課程所學可解課本EXAMPLE 5.4。薄圓盤半徑 a ，面密度 ρ ，對稱軸上質量 m 的質點所受重力為

$$F_z = 2\pi m \rho G z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] \quad (z > 0)$$

G 為萬有引力常數。假設質點離圓盤很遠 ($z \gg a$)，我們可以使用泰勒展開(Taylor's expansion)求 F_z 的近似表示。妳/你首先將如何做？

- A) 求出 $\frac{dF_z}{dz}$ ，再代入 $z = 0$ 取值。
- B) 改寫 $z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] = z \left[\frac{1}{a \left[1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2 \right]^{3/2}} - \frac{1}{z} \right]$ ，再使用泰勒二項式展開(binomial expansion) $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon + \dots$ ， $\varepsilon \equiv \frac{z}{a}$
- V** C) 改寫 $z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] = z \left[\frac{1}{z \left[1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2 \right]^{3/2}} - \frac{1}{z} \right]$ ，再使用泰勒二項式展開(binomial expansion) $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon + \dots$ ， $\varepsilon \equiv \frac{a}{z}$
- D) 直接展開 $\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} = (a^2+z^2)^{-3/2} = a^{-2} - \frac{3}{2}z^2 + \dots$

CQ2.8

利用普物、微積分、向量課程所學可解課本EXAMPLE 5.4。薄圓盤半徑 a ，面密度 ρ ，對稱軸上質量 m 的質點所受重力為

$$F_z = 2\pi m \rho G z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] \quad (z > 0)$$

G 為萬有引力常數。假設質點非常接近圓盤中心 ($z \ll a$)，我們可以使用泰勒展開(Taylor's expansion)求 F_z 的近似表示。妳/你首先將如何做？

- A) 求出 $\frac{dF_z}{dz}$ ，再代入 $z = 0$ 取值。
- V** B) 改寫 $z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] = z \left[\frac{1}{a \left[1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2 \right]^{3/2}} - \frac{1}{z} \right]$ ，再使用泰勒二項式展開(binomial expansion) $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon + \dots$ ， $\varepsilon \equiv \frac{z}{a}$
- C) 改寫 $z \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{z} \right] = z \left[\frac{1}{z \left[1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2 \right]^{3/2}} - \frac{1}{z} \right]$ ，再使用泰勒二項式展開(binomial expansion) $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon + \dots$
- D) 直接展開 $\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} = (a^2+z^2)^{-3/2} = a^{-2} - \frac{3}{2}z^2 + \dots$

雲端互動App
記錄學生「思考」

QCode	作答人數	首答正確%	二答正確%	互動學習「增益」	Subject
CQ2.7	26	0.50	0.85	1.7	Approximation method & Taylor expansion
CQ2.8	26	0.35	0.54	1.6	Approximation method & Taylor expansion

CQ2.8 學生答案、解釋	
C	根據第三題
C	這跟上題差在哪差在哪
D	z 遠小於 a 所以直接用泰勒級數來解
C	先改寫 z 後展開
	在使用泰勒展開前，先將式子裡的因數提出，而為何提出 a ，是因為 a 遠大於 z
D	，但若是因為這樣就選 b 會發現答案是負的，而在看 d ，倘若直接展開，再放回原本的式子裡，會發現比較合理。
C	先使較高次項歸零
C	我不確定
B	先將式子改寫後，再將其作泰勒展開式，而後再將 $z \ll a$
B	帶入得出結果
C	解釋同第三題
B	使用泰勒展開式展開該選項

圖 7

CCMI題號	主題	CCMI題號	主題
Q1	常微分方程	Q6	向量分解
Q2	泰勒近似	Q7	共振
Q3	位能圖	Q8	寫出運動微分方程式
Q4	阻尼諧振子	Q9	寫出積分式
Q5	簡諧振子		

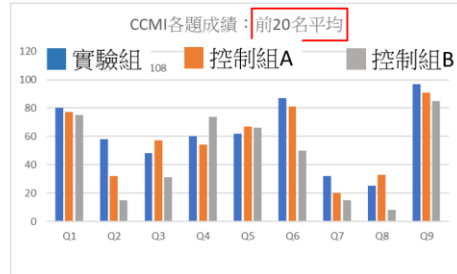
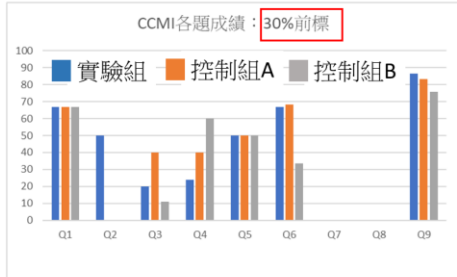
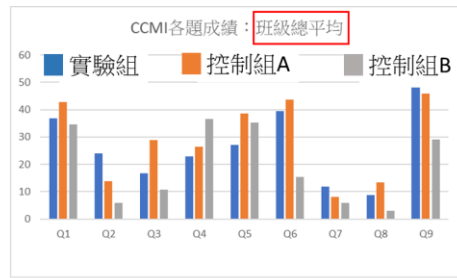


圖 8 CCMI 成績(採用 CCMI 前/後測成對數據)

表 4

	實驗組	對照組A	對照組B
成對數據人數*	53	47	51
< c >	8%	21%	3%
t-檢定： 「平均增益相等」	實驗組 vs.對照組A		實驗組 vs.對照組B
雙尾顯著性	0.087		0.461

*採計CCMI Q3、Q5、Q9三題之前/後測成對數據

表 5

學習回饋單(第一週)

3 問答題

本週學習主題為何?用自己的話簡單說明學習的內容、重要概念。可包含:(不限於此)哪些是你以前不知道的或自己已經學過?哪些概念讓你/你感覺有理解困難或解題時有困惑?

跟原本習慣於只聽講的方式不同,覺得不太習慣
 都還不錯
 因為再聽一遍有比較了解
 目前幾乎都是之前學過的部分,不過相信後面會越來越有趣的
 比較感興趣力學裡面數學與公式結合的應用。
 單位向量轉換的過程
 腳踏車題目,很有趣可以實際操作來驗證答案
 老師我希望以上課可以有標題然後圍繞大標題去講解 因為昨天課堂上黑板筆記有點亂不太知道哪些要抄
 關於對腳踏車施力及其移動之方向。因為看圖無法理解,故直接去搬腳踏車實驗QQ
 我最感興趣的是教授最後的極座標轉換讓我發現自己的盲點
 腳踏車問題下課時直接拿腳踏車驗證想法
 為什麼要做教育計畫,我認為這好像達不到預期的學習效果,因為平台太多且複雜,可能無法讓大家都接受且習慣這種作法
 Cartesian coordinate跟spherical coordinate 的轉換挺有趣的 很像腦筋急轉彎
 還好,還在前面的簡單例題,還算應付得來。
 腳踏車那題
 實際把腳踏車拿來實驗。雖然很違反我對於該概念的印象,但他確實就是發生了
 就是今天的實體腳踏車實驗,沒想到這違反我每日都會發生的事,我覺得很不可思議,我應該要多多了解腳踏車與我為同一系統下腳踏力的作用與分開的系統中間的差異

(3) 新教學模式對提升學生概念理解有何影響?

CCMI 標準試題提供跨學年(間接)比較不同教學法對提升學生概念理解的引導效能的量化基礎。如先前研究發現,CCMI 標準試題概念測驗成績與期中考成績高度相關(Pearson 相關指數 > 0.7),支持以 CCMI 標準試題評量結果作為學生解題能力評估指標的研究假設。與對照組 A/對照組 B 的 CCMI 評量結果比較,實驗組的 CCMI 總平均成績低/高於對照組 A/對照組 B 的總平均成績。如表 4,若僅考慮 Q3、Q5、Q9 前後測成對數據,實驗組的平均學習增

益 8% 低/高於對照組 A/對照組 B 的平均學習增益 3%、21%。然而 t-檢定結果顯示否定平均數相等的假定，故無法支持具有統計顯著性的結論。

如圖 8 所示，對照組 A、B 的問題 Q2(以泰勒展開取近似)成績之 30% 前標為零分，而實驗組的 30% 前標達 50 分；若分別取問題 Q2 成績的全班前 20 名平均來比較，圖 8 顯示實驗組表現遠高於對照組 A、B。若比較實驗組(53 人)與對照組 A(47 人)問題 Q2 的成績，獨立樣本 t-檢定的 t 統計值為 -1.354，雙尾顯著性 p 值 = 0.179 > 0.05，無法拒絕虛無假說，即兩組的平均成績差異無統計顯著性。再者，若比較實驗組與對照組 A 各班的前段分組(CCMI 總成績前 50%)學生的問題 Q2 成績表現，人數分別為 28 人、24 人，獨立樣本 t-檢定的 t 統計值為 -2.460，雙尾顯著性 p 值 = 0.017 < 0.05，表示實驗組前段學生的表現優於對照組 A 前段學生的表現，此結論具有統計顯著性。同樣地，實驗組前段學生的表現也優於對照組 B 前段學生的表現，且具有統計顯著性。

如圖 8 各題成績分布所示，問題 Q2 在 CCMI 各題中的相對難度較高(對照組 A、B 的 30% 前標為零分!)。互動作業中測驗題 CQ2.7、CQ2.8 評量「泰勒展開取近似」的概念理解，互動學習的「增益」高達 1.6-1.7(圖 7)。此兩概念題的訓練效果可合理解釋上面統計分析的結論：本研究的雲端互動學習設計可有效提升前段學生對較難概念的理解。

(2) 教師教學反思

1. 雲端互動學習的可有效提升前段學生對較難概念的理解，對於後段學生沒有顯著的幫助。若將新教學法的雲端互動學習應用於加強、深化先備知能，應可提升後段學生的基礎理解，進一步改善班級的學習成效。教師在設計課堂同儕教學、課後雲端互動作業時，可適當分配難題和基礎概念題，以最佳化引導效能。

2. 試題 CQ2.7、CQ2.8 的互動學習「增益」相近而且高達 1.7 與 1.6(圖 7)。然而應注意，此兩試題為「結構」相同的問題，CQ2.7 的作答正確率卻是 CQ2.8 作答正確率的 1.5 倍以上(圖 6)，其原因可能與學生投入解題時間與/或問題施測排序或這迷思概念有關，有待釐清。

3. 雲端互動學習 App 記錄首答、二答時間(T1、T2)反映學生解題時的投入強度，可追蹤學生對各題的興趣(圖 7)，有助於優化問題設計。另一方面，CQ2.7、CQ2.8 首答耗用時間中位數分別為 2.43 分鐘、0.49 分鐘，其中 CQ2.7/CQ2.8 的首答耗用時間中位數分別為所有 13 個試題最高/最低(圖 6)。學生投入解題時間的差異反映特定的思考、作答習慣，也有待進一步釐清。

(3) 學生學習回饋

1. 本校教務系統的教學評量得分為 4.22，接近大學部平均值 4.3，絕大多數學生給予正面評價，反映學生對新教學法接受度頗高。
2. 使用學習回饋單(參考表 5 節錄)追蹤學生參與度、投入本課程時間，發現學生投入本課程強度隨時間變化，小考、期中考、期末考前出現明顯的學習時間高峰，平時投入時間極少。未來課程設計應考慮引導學生合理利用平時學習時間。

7. 建議與省思 Recommendations and Reflections

1. 加強「互動」可提升學習成效，其要件之一為使用適合學生基本能力的訓練內容。教師應將班級中學生先備知能分布落差納入考量，以優化引導設計，例如，將有限的時間適當分配於概念難度與深度適合前段、後段或全班學生的訓練主題。
2. 學生對生活化的問題(如圖 5 腳踏車問題)表現極高的興趣。建議教師盡量運用生活化問題於概念題設計提高學習誘因。

二. 參考文獻 References

- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). Active Learning: Creating Excitement in the Classroom. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. *ASH#-ERIC Higher Education Report No. 1* Washington, D.C. : The George Washington University, School of Education and Human Development.
- Caballero, M. D., Doughty, L., Turnbull, A. M., Pepper, R. E., & Pollock, S. J. (2017). Assessing learning outcomes in middle-division classical mechanics: The Colorado Classical Mechanics and Math Methods Instrument. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 12. doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010118
- Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977. doi:10.1119/1.1374249
- DeLozier, S. J., & Rhodes, M. G. (2017). Flipped Classrooms: a Review of Key Ideas and Recommendations for Practice. *Educational Psychology Review*, 29(1), 141-151. doi:10.1007/s10648-015-9356-9
- Keeley, P. D. (2008). *Science Formative Assessment: 75 Practical Strategies for Linking Assessment, Instruction, and Learning*. NSTA Press.
- Lyman, F. (1981). *The responsive classroom discussion: The inclusion of all students* In A.S. Anderson (Ed.), *Mainstreaming Digest*, pp. 109–113. College Park, MD: University of Maryland College of Education.
- Mestre, J. P., & Docktor, J. L. (2020). *Science of Learning Physics, The: Cognitive Strategies for Improving Instruction*: World Scientific Publishing Company.
- National Research Council. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9853>.
- National Research Council. (2012). *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13362>.
- National Research Council. (2013). *Adapting to a Changing World – Challenges and Opportunities in Undergraduate Physics Education*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Schwartz, D. L., & Bransford, J. D. (1998). A Time For Telling. *Cognition and Instruction*, 16(4), 475-5223. doi:10.1207/s1532690xci1604_4
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N., & Su, T. T. (2009). Why Peer Discussion Improves Student Performance on In-Class Concept Questions. *Science*, 323(5910), 122-124. doi:10.1126/science.1165919
- Stelzer, T., Brookes, D. T., Gladding, G., & Mestre, J. P. (2010). Impact of multimedia learning modules on an introductory course on electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 78(7), 755-759. doi:10.1119/1.3369920
- Swann, W. F. G. (1951). The Teaching of Physics. *American Journal of Physics*, 19(3), 182-187. doi:10.1119/1.1932755
- Vickrey, T., Rosploch, K., Rahmanian, R., Pilarz, M., & Stains, M. (2015). Research-Based Implementation of Peer Instruction: A Literature Review. *Cbe-Life Sciences Education*, 14(1), 11. doi:10.1187/cbe.14-11-0198
- 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」.