

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：PMS1090165

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：2020/08/01 ~ 2021/07/31

(計畫名稱/Title of the Project)

傳統授課結合同儕教學以增進概念理解

Improving concept understanding via implementing peer instruction into traditional lecturing

(配合課程名稱/Course Name)

力學(一)

Mechanics I

計畫主持人(Principal Investigator)：黃玉林

共同主持人(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 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2021/08

傳統授課結合同儕教學以增進概念理解

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

2020 秋季某日筆者曾參加的一場校園演講，一位教育學院的演講者在分享教學現場經驗時曾提出這樣一個生動的建議：「與其教小孩或學生不要這樣、不要那樣，例如不要吵鬧、不要一直玩手機……，不如來做點甚麼。」這位教育學者的建議提醒了本文的動機。

嘗試教學實踐研究讀文獻時偶然注意到，American Journal of Physics 不時會出現不到半頁的圖文方塊，像是回顧早期期刊文章所節錄的小專欄。其中有一則故事：

當我在一所算不錯的大學教書時，有個學生來問我：「請問教授，我們應該把您教的都背起來嗎？」我可能有點被這問題惹毛，因為我回答：「天哪，那是不可能的。你怎麼會這樣想法？」他說：「喔，因為你上課在用變分法，但我沒修過變分法的課，我想恐怕要背起來否則考試沒辦法及格了！」我說：「還好吧，我也沒修過變分法的課。再說呢，我以前也沒修過我目前正在教你們的課(電磁學)」。這小子大概很吃驚，但他終究及時明白我的意思，然後成為一個好學生。(Swann, 1951)

這段文字節錄自 1951 年發表在 American Journal of Physics 的一篇論文。論文標題是“The Teaching of Physics”，作者 Swann 教授觀察以文化素養為目的的課程中(courses intended for cultural purposes)物理教學，認為科學教育有別於如技術員(technician)的非科學教育，應在教學中強調觀念(ideas)而非事實(facts)的重要性，除非那些事實對於闡釋觀念有其必要。大概可以如下簡化解讀：科學教育中的智性鍛鍊(mental effort)通常比認知事實來得困難，教師或學生可能因循容易做到的後者而迴避更重要的前者，其風險是，例如學生學習到落體運動 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ，就如同得知在常溫下水是液體、銅是固體這類事實一般，在獲取入門知識後就停止探索，不再有進一步的深思。

Swann 教授在論文中探討教育與學習的方法，與學生的對話像示範一種應用專家權威的身教，用個人體會「用背記來學物理是不可能的！」來告誡學生「不要」依賴背記。論文裡進一步提出「我們來做點甚麼」的建議：把時間用在科學基礎原理的清晰理解上，取代記憶性學習的事實知識，具體的方案如要求學生修正量測系統的錯誤設置，以實現測量電感或比熱，取代讓學生用完美的儀器執行給定的實驗步驟。這篇論文嘗試描繪一個以理解為目的的教學方案，其中隱含現在經常被強調的「實作」精神。雖然還沒有系統性的實踐研究資料支持，但作者已用個人反思來倡議當時可能頗為突兀的「翻轉」核心觀念：學習的關鍵在於學習者必須自己去達成的心智過程。如 Swann 教授在文章中所述：

老師可以激發學生的心智達成這個目標，但通往目標的旅程必須由學生自己完成。因此我要再說一次，根本沒有「教」別人這回事，只有鼓舞人去學習；也可以不算過分地這樣想，如果老師有天真的能教給學生任何可以免除他完成自己旅程的東西，他所教的將永遠抹殺學生達成他所追尋目標的可能性……(Swann, 1951)

既然早在 70 年前的教育觀念就強調理解的重要性，為何現今仍然有許多學生「堅信」背記有助於物理學習？(筆者在前兩學年的問卷調查中發現，很多學生相信背記有助於物理系考試得分。) Swann 教授指出，強調認知事實而忽略掌握觀念危害教學，導致逃避心智鍛鍊困難的學習慣性。另一個因素，可用 Swann 教授分享的故事來解讀甚至佐證：當學生對於透過學習達成理解缺乏自信，但必須通過考

試的難度又很高，他們將傾向採用背記方式來學習。故事還有另一個不同角度的解讀。教授對學生提出上課使用了沒學過的變分法的問題回應說，他自己那門課的主題(電磁學)本身也是自學來的。這個對話反映的是一個傳統教育觀點：消化資訊轉化成知識完全是學生個人的責任，學生甚至被期待應該自主學習任何從未學過的基礎知能，包括如變分法的數學工具知識。筆者認為，這符合當時古典菁英教育的時代氛圍，是學者專家甚至大眾視為理所當然的一種身教典範。在現代普及教育中，Swann 教授的回應可能有兩種效果，對於優等學生是有為者亦若是的知識熱情鼓舞，中後段學生則可能因無法克服困難而放棄理解，為了考試而採取背記的學習策略導致惡性循環。根據上面的「考試引導學習」定理，在評量使用考古題且引導者未充分地傳遞資訊的情況下，優等生也可能為了求取高分，也策略性地使用短期性價比 CP 值較高的背記方式來學習。

「考試引導學習」是不分古今中外的普遍現象。當學生無法理解授課內容，準備考試時很可能為了省時求快而投機，或者本能地採用退化的背記學習法。再者，對於教學觀念適用性在基礎物理與進階物理的區別，Swann 教授指出：「當然，我說的大多可以適用基礎課程教學，雖然對我來說，無論如何，大部分的進階物理知識只是對基礎物理原理更深一層的理解」(Swann, 1951)。綜合以上，可以預期的是，較諸基礎課程，在解題難度較高的進階必修課程中，學生養成背記的學習習慣，忽略或甚至取代學習理解的問題將更嚴重。

本計畫的目的是，在進階必修課程中，考慮上述難以避免的「考試引導學習」以及學生先備知能分佈寬廣的挑戰，引導學生「不要」落入低效能的背記學習陷阱，利用翻轉觀念嘗試「我們來做點甚麼」的教學設計，以鼓勵並提升理解，進而改善教學品質與成效。計畫中以物理系大二古典力學為教學實踐的模型課程，評估在講授教學法中引入翻轉學習元素對學生理解與學習成效的影響。

二. 文獻探討(Literature Review)

在考慮優化引導設計時，我們先檢視多數課程傾向於採用講授教學的背景因素，以及常見的問題。許多創新教學法都強調優於傳統講授教學的成效。難道傳統講授教學都沒有相對的優點嗎？許多大學教師使用講授法授課的主要原因是熟悉，那正好是他們以前受教育的方式，同時也是最容易掌握，需要較少的摸索學習與備課時間的教學法，才能有餘裕投入高教體制推崇的研究和服務。傳統的講授法確實也有教學上的優點：教師口述解釋教材內容，配合板書、講義或多媒體，簡單而直接地傳遞資訊 (transmitting information)，引導者可以臨場選擇講述內容與表述方式，或調整個別主題單元進度，達成有限課堂時間的高效率利用。講授法除了高效率傳遞資訊外，透過親自演示專家解題思維，教師在課堂上展現專業知能風采即身教，可能激發學生的學習熱情。但熱情對於學生克服困難、消化資訊的內化過程幫助有限。教學研究發現，許多績優學生，經常無法正確回答簡單的概念問題，其表現與成績普通的學生無異，原因在於對於既有概念的理解不充分、不成熟或缺乏正確應用能力，包含來自所謂 misconceptions 的各種謬誤信念。當學習目標有難度時，更是只有績優學生能夠完全自主克服困難達成理解。如何協助學生消化資訊、轉化知識？這是各種強調「翻轉學習」(flipped learning)的創新教學方法所關注的問題，也就是藉由促進「主動學習」(active leaning)(Bonwell & Eison, 1991)獲得更高成效的關鍵。

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。許多教學研究早已發現，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。簡單理解是，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。翻轉教學藉由激勵或協助學習者完成學習的瓶頸過程，因此有較高引導效能。

近來愈來愈多教師嘗試「翻轉學習」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。在以掌握概念、深化理解為目的的物理專業課程中，較常採用的是同儕教學，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)。在物理教學研究社群，Eric Mazur 教授是最早提出翻轉學習觀念的倡議人之一。他在 1997 年出版“Peer Instruction”一書打造「同儕教學」這個創新教學法稱謂之前，已經將此教學策略實際應用於物理教學許多年(Gaffney & Gaffney, 2016)。許多基礎課程的教學研究已證實同儕教學具有良好成效。目前物理系大二以上課程大多仍然採用講授法授課，除了上述因循傳統和容易掌握之外，也因為學生必須學習具有理解深度、數學難度、複雜度的問題解題技能，講授法可快速傳遞資訊，在有限課堂時間內靈活地闡述較多知識結構複雜或有深度的概念，演示難題求解過程的專家思維模式，可幫助學生節省摸索學習的時間。較少研究探討翻轉學習或同儕教學在大二以上課程的實施方法與效果。

早期文獻報導的同儕教學設計中，學生完成課前教材閱讀，在課堂中回答關於教材的問題，教師根據學生作答設計出有挑戰性的選擇題在課堂上使用，這些問題同常關注物理概念，且包含學生常犯錯誤的誘答陷阱選項(distractors)。進行步驟大致如下：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，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。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四個同儕教學單元。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。

參考文獻 (Vickrey et al., 2015)回顧同儕教學(Peer instruction)教學法的歷史發展與實施法，簡述如下。

1. 1991 年由哈佛大學物理系 Eric Mazur 教授提出，在許多基礎課程教學研究中已發現教學成效高於講授法。
2. 基本程序：教師講授後提問、學生個別思考、表決、(同儕討論、重新表決)、教師解釋答案。每一單元需時約 10-15 分鐘。
3. 實施法設計應注意問題
 - 成績採記的影響。
 - 啟動同儕討論最佳時機，Eric Mazur 教授建議為正確率在 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。

三. 研究問題(Research Question)

如上節所述，相較於傳統的講授教學侷限於傳遞資訊過程，翻轉學習教學設計透過介入學生“轉化知識”過程提高成效。對於學習目標有理解難度、深度的進階課程而言，在講授教學設計中結合同儕教學以融入翻轉學習元素，是務實的較佳選擇。現有文獻中，關於同儕教學的文獻報導大多關注基礎課程，在進階課程是否適合、如何實施同儕教學需要更多研究探討，主要挑戰是必須同時考慮課堂時間有限、學習目標有難度、先備知能個別差異大等因素。本研究將評估在進階課程的講授教學設計中，引入翻轉學習元素對成效的影響，藉由實驗組、對照組的教學實踐比較，觀察引入同儕學習單元對學生理解成效與學習態度的效果。

四. 研究設計與方法(Research Methodology)

評量工具

本研究採用科羅拉多大學團隊發展的力學/數學方法評量工具(Colorado Mechanics/Math Methods Instrument, CCMI)(Caballero et al., 2017)。此工具的評量對象為物理相關科系中、高年級學生，具有相當高的驗證水準(Silver 層級)(Madsen et al., 2017)。CCMI 共有 11 個試題(Q1-Q11)，分別對應不同主題的學習目標，涵蓋常微分方程，泰勒展開，位能、簡諧振盪、牛頓定律等主題，全部都是評量概念理解的問題，作答無需演算。本研究採用其中九題非選擇題的開放式問題 Q1-Q9，考慮符合標的課程主題目標與施測時間，未採用原始文獻建議根據需求選用或省略的 Q10、Q11 兩個選擇題。如先導研究成果報告已詳述，本研究的前測選用 Q3、Q5、Q9 為試題而不使用全部試題，主要考量除了節省前測時間之外更包含：(1)此三題評量概念屬於基礎課程的先備知識範圍，且涵蓋標的課程所有學習主題(見圖 2 教學計劃表)；(2)CCMI 試題具有高度驗證的內部一致性，且確實呈現於先導研究應用於標的課程的評量結果；(3)CCMI 試題偏難，選用難度較低的這三題可盡量減少一開學就被高難度試題評量產生的挫折感，同時可提高評量鑑別度。

附件 1 說明 CCMI Q1-Q9 各試題的評量主題與配分。評量的信度反映於高度內部一致性 (internal consistency)(Caballero et al., 2017)，其 Cronbach's alpha 高達 0.83，表示當評量設計符合教學引導目標時，個別試題表現優良的學生在其他問題也將有優良表現。此外，開發團隊發現 CCMI 各試題得分與總得分高度相關，除了 Q2(泰勒級數)其他各題作 item-test 的 Pearson's r (linear correlation)係數均高於公認的閾值(threshold $r \sim 0.2$) (Caballero et al., 2017)。

為減少跨學年施測的施測條件差異，本研究採用標準施測方式，在施測時不對學生提供關於題目內容的任何口頭解釋。我們在先導研究(PMS1080028 “應用獨立評量工具辨識學生困難”)中評估 CCMI 工具試題的適用性，並驗證其作為跨學年重複使用的獨立評量的信度與效度。先導研究發現，使用 CCMI 原版英文試題施測時，多數學生有英文理解困難，顯著干擾評量目標，且得分太低可能損及試題鑑別度。本研究以先導研究中翻譯建立且驗證的中文版 CCMI 作為評量標準試題，避免上述英文理解的干擾與鑑別度不足問題。

本計畫以標的課程力學(一)期中考前部份為教學實踐的研究範圍，學習目標符合上述 CCMI 標準試題的評量範圍。根據課綱設定，力學(一)的先修課程為大一課程「普通物理(一)、(二)」與「微積分(一)、(二)」，應為，但本系開課時並未設限。此外，力學(一)先備知識也包含大一必修課「矩陣與向量」課程的範圍。力學(一)期中考前的學習主題以上述大一課程基本知能為基礎，深化基本物理概念與數學工具的理解，並延伸應用於系統性地分析實際物理問題與解題。

研究對象

實驗組為本學年力學(一)課程的學生，班級人數 65：大二 51(第一次修習本課程)，大三(含)以上 14。對照組為前一學年力學(一)課程的學生，班級人數 82：大二 56(第一次修習本課程)，大三(含)以上 26。

研究方法與研究流程

本計畫的教學實踐研究模型如圖 1 所示。

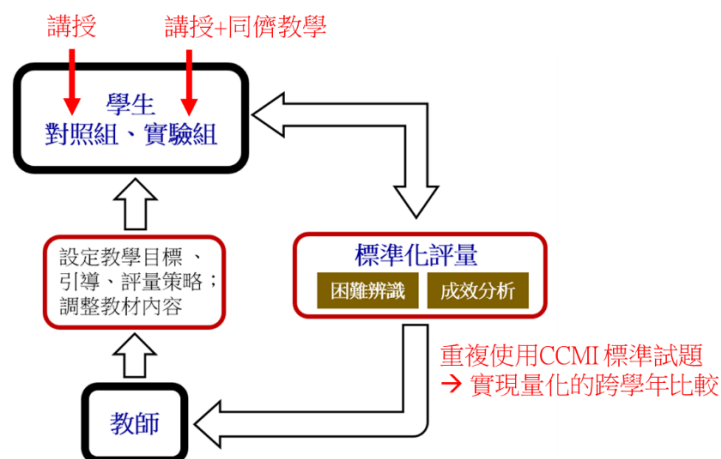


圖 1

由於學生很重視必修課成績，除了個人關於物理專業的榮譽感，也實際影響是否必須重修、獎學金以及升學申請的競爭力，教學研究應注意課程學期成績採計方式的影響。本研究中，對照組學期成績採計習題作業(Homeworks) 0%；QUIZ 0%；指定練習(Assignments) 20%；期中考(Midterm) 40%；期末考(Final exam) 40%。實驗組學期成績採計習題作業(Homeworks) 0%；課堂討論問答(peer instruction) 10%，為鼓勵參與並減少隨堂提問的作答壓力，只要出席且完成答題即得滿分；指定練習(Assignments) 10%；期中考前兩週、期末考前兩週各一次小考(Quiz)各佔 10%共 20%；期中考(Midterm) 30%；期末考(Final exam) 30%。

實驗組教學實施前一學期，由教師根據課程內容並參考上一學年先導研究的結果與學生困難資訊，發展同儕教學所需概念題庫，並召集已修過力學(一)課程的學生模擬施測。模擬施測目的在於預先評估概念題難度與學生思考、答題所需時間，以及可能影響作答結果的 misconceptions，可據此調整實驗組教學的學習目標設定、各主題教學時間配置，以及最佳化同儕教學實施步驟細節。

本研究實施實驗組同儕教學單元時，使用個人手機安裝 zuvio IRS 應用程式，替代文獻中使用的 clicker 答題系統設備，優點是可節省研究經費，且利用 IRS 的雲端通訊、儲存功能，以及本校 e-Learning(e 學苑)，更可將本研究發展的概念題庫應用於指定課前、課後線上作業，解決同儕教學耗用課堂時間造成管理課程進度時程的困難。應注意的是，上課時使用手機等個人化答題設備可能導致學生分心，也有文獻報導指出這對學習專注力可能有影響，但尚未有實證研究釐清其效果。

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

(1) 教學過程與成果

力學(一)課堂時間為每週兩堂課共三小時。另有力學演習(一)為一小時的選修課程，用於講解習題與程式作業。圖 2 說明教學計畫中各週主題內容與活動：Mathematical Review (1 週)、Newtonian Mechanics(對照組 1 週，實驗組 3 週)、Oscillations(對照組 4 週，實驗組 2.5 週)、Gravitation(對照組 1 週，實驗組 2 週)。本研究設計中，根據對照組的教學結果與成效分析，教師可於實驗組教學前針對學生困難調整教學計畫，因此兩組各主題授課週數配置不完全相同，例如，對照組的評量結果顯示，學生在 Oscillations 主題的理解表現較佳，在 Newtonian Mechanics 與 Gravitation 主題表現較差，因此對應調整實驗組教學計畫，減少 Oscillations 主題授課時間，增加 Newtonian Mechanics 與 Gravitation 主題授課時間。

對照組 · 第1週/第10週實施前測/後測		實驗組 · 第2週/第11週實施前測/後測		CCMI 相關題號
週次	授課內容與活動	週次	授課內容與活動	
1-2	Mathematical Review Newtonian mechanics	1	Mathematical Review	Q9
3-6	Oscillations	2-4	Newtonian mechanics	Q1, Q2, Q6, Q8
7	Gravitation	4-5	Gravitation	Q3, Q9
8	Review/ Midterm exam	6-8	Oscillations (第7週小考範圍 1-5 週內容)	Q4, Q5, Q7
*本校因應疫情調整學期時間，第八週舉行期中考。		9	Review/ Midterm exam	

圖 2

為實現跨學年成效比較，對照組、實驗組均使用中文版標準試題進行標準施測。對照組於第 1 週實施教學前中文前測(30 分鐘)，第 10、12 週教學後分別實施英文、中文後測(50 分鐘)；以下分析採用對照組的中文版試題後測的結果。實驗組於第 2 週實施教學前中文前測(30 分鐘)，第 11 週實施教學後中文後測(50 分鐘)。兩組都在中文標準試題評量後測結束後，隨即實问卷調查與基礎數理能力簡答(約 15 分鐘)。由於本校因應疫情調整教務行事曆，對照組提前一週於第八週舉行期中考，實驗組則於常態教務行事曆第九週舉行期中考。為避免學生搜尋並演練使標準試題失效，施測前均告知學生測驗目的為檢測基本能力，可以當作複習無須特別準備，且評量結果完全不影響學期成績。不同於 CCMI 標準試題僅評量概念理解，兩組的期中考均使用可評量理解與演算能力傳統試題，且為避免學生背記考古題，每一學年都更新試題。對照組期中考使用包含 35%選擇題、65%計算題。實驗組期中考全為計算題。

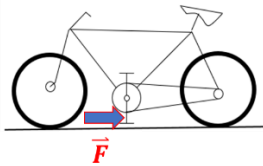
對照組教學以板書講授為主。期中考前有四份習題作業(Homeworks)，須手寫且按時繳交由助教檢查點收，不納入學期成績採記，為鼓勵作業練習並繳交，考試時發回手寫習題作為解題參考資料。配合課堂講授進度，期中考前共有五份程式作業(Assignments)A1-A5 須按時上傳東華 e 學苑，由教師提供 python 力學問題計算與模擬程式，主題為 A1 python 程式使用入門、A2 二維拋體運動、A3 數值法解代數方程式 vs.微擾(perturbation)近似、A4 二維耦合運動的參數解、A5 驅動阻尼振盪、共振。

實驗組教學包含板書講授與同儕教學單元。期中考前有四份習題作業(Homeworks)，須手寫且按

時繳交由助教檢查點收，不納入學期成績採記，為鼓勵作業練習並繳交，考試時發回手寫習題作為解題參考資料。配合課堂講授進度，期中考前共有四份指定練習 Assignments，須按時登入 zuvio IRS 完成作答。指定練習的大多數問題為單選題，可節省計分時間快速取得評量結果，即時反映學生對相關主題概念理解的困難。A00 為力學基本概念、推腳踏車踏板問題，A01 複習如座標轉換、面積分、高斯定理、極座標等基礎數學工具，A02 主題為寫下拋體運動方程式並求解，A03 主題為共振、二階常微分方程式、複數極座標等描述阻尼振盪的數學工具。

課堂討論與問答 / 同儕教學

Q1.2 如下圖，施一外力於踏板下側，腳踏車會朝向哪個方向運動？
1. 左 2. 右 3. 無運動 4. 不一定



Adapted from the original question shared by Prof. Steven J. Pollock (Uni. Of Colorado Boulder)

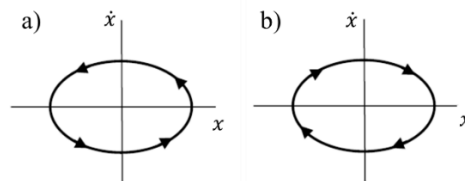
圖 3

以下以範例說明同儕教學的實施。

實驗組教學第一週第一堂課先讓學生在手機上安裝 zuvio IRS，並確認都明白作答操作方式。教師在簡介力學簡史、提示牛頓力學基本原理、適用範圍後，提問“Q1.1 Summarize: what is classical mechanics?”，讓學生用自己的話寫下答案拍照上傳，藉此熟悉作答操作。隨後提出圖 3 問題 Q1.2，作為範例向學生說明同儕教學實施方式。

由於問題 Q1.2 的概念是屬於先備知識，故直接提問後讓學生個別思考(不互相討論)一分鐘，即進行第一次作答表決，教師公佈統計結果為 1：52 票(86.67%)，2：5 票(8.33%)，3：3 票(5.00%)，4：0 票。接著讓學生兩兩成對或多人成組進行討論一分鐘，由於學生對此問題很有興趣，討論相當熱烈，延長討論時間三分鐘後開始第二次作答表決，已快到下課時間許多學生仍繼續討論或未能決定作答，教師決定將第二次作答納入課後指定練習 Assignment00，學生應於下次上課前完成線上作答(可修改)。第二次上課教師公佈重新作答的統計結果為 1：15 票(26.79%)，2：26 票(46.43%)，3：1 票(1.79%)，4：4 票(7.14%)。另有 10 票(17.86%)在另外開放的選項“其他”填寫了關於不同條件的看法(附件 2)，其中學生們試圖分析如齒輪結構，地面磨擦力等細節條件的影響。比較兩次投票結果發現，誤選誘答陷阱(distractor) (1)與正確作答(2)的比例消長極顯著。引人注意的是，對於這樣“簡單”的問題而言，第一次作答錯誤率極高令人意外，包含大部份前 10%績優學生，顯示多數學生即使熟悉基本原理如 $\vec{F} = m\vec{a}$ ，在應用於實際問題時仍普遍遭遇困難。

在指定練習 Assignment00 中另一提問為複選題 Q1.2c，“請使用物理知識仔細思考，最好用你的腳踏車做簡單實驗(可找同學合作)，對於 Q1.2 推腳踏車踏板問題，勾選你認為符合事實的描述。統計作答結果為 1：12 票(22.64%)我做了實驗，發現向左移動。2：26 票(49.05%)我做了實驗，發現向右移動。3：2 票(3.77%)我做了實驗，發現不會動。4：14 票(26.42%)我做了實驗，但無法確定結果，或所得答案不一定正確。5：19 票(35.85%)我做了實驗，有幫助我理解物理原理與應用。6：9 票(16.98%)我做了實驗，但不明白此結果可驗證甚麼物理原理，或如何驗證。7：20 票(37.74%)我的實驗觀察是與同



U2.1 Which is a physically possible phase path that describes a simple harmonic motion?

1. Only a)
2. Only b)
3. a) and b)
4. It depends on the initial conditions.

圖 4

學/朋友一起完成的。8:7 票(13.21%)我認為這種簡單問題不需要做實驗，根據物理知識判斷即可。另有 3 票“其他”(5.66%)填寫了意見(附件 3)。第二次作答後的討論仍然熱烈顯示，許多學生對這種可以用直觀和簡單概念來思考但又會犯錯的問題很感興趣。

第四週以指定練習 Assignment02 嘗試演算題的同儕教學，考慮垂直拋體阻尼運動，三個單選題分別提問：A2-2 寫下描述運動的微分方程式、A2-3 求解速度的時間函數、A2-4 求解位置的時間函數。上課前完成第一次作答。以 A2-4 為例，第一次作答結果正解有 14 票(35.90%)，課堂上公佈作答結果分佈後，進行同儕討論三分鐘，隨後的第二次作答正解有 21 票(51.22%)。結果雖有進步，但演算題的討論不如概念題踴躍，而且許多同學需要更長時間計算，但考量進度必須要求結束討論開始並完成投票，如何簡化演算題設計、鼓勵討論、設定合理且課堂時間容許的討論時程，有待進一步思考。

實驗組教學第六週教學主題為振盪(Oscillations)，實施同儕教學單元學習的過程與結果如下。教師講述描述運動的相圖(phase diagram)概念內容後，提出以相圖描述簡諧運動的問題 U2.1，如圖 4，讓學生個別思考(不互相討論)一分鐘以手機的 zuvio IRS 第一次作答表決，教師公佈統計結果為 1~22 票(43.14%)，2~16 票(31.37%)，3~1 票(1.96%)，4~12 票(23.53%)。接著讓學生兩兩成對或多人成組進行討論三分鐘，然後再次作答表決，統計結果為 1~11 票(22.92%)，2~26 票(54.17%)，3~2 票(4.17%)，4~9 票(18.75%)，教師公佈此結果後解釋正確答案。

上面三個範例分別針對先備知識應用(Q1.2)與學習新主題(A2-4、U2.1)，在初次作答正確率分別為 8.33%、35.9%、31.37%的情況下啟動討論，都在第二次投票時提升至 46.43%、51.22%、54.17%。應注意如第二節文獻探討，根據 Mazur 教授建議，第一次投票正確率介於 35%-70%之間是啟動同儕討論可獲較佳增益的判准。然而我們的觀察結果支持文獻報導的研究結論：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)。另外值得注意的是，我們觀察到同儕討論後的作答正確率都僅五成左右，似乎對於較具挑戰性(第一次投票正確率較低)的問題，能夠提升的作答正確率似乎有“天花板效應”，原因有待釐清。

以下說明 CCMI 標準試題、期中考的評量結果。

圖 5 左部比較對照組、實驗組的 CCMI 標準試題總成績的百分比人數分佈。圖 5 右部比較實驗組 Q3、Q5、Q9 三題前測、後測成績總和的百分比人數分佈。根據圖 5 實驗組前測、後測的評量結果，可估算學習增益(learning gain)，如圖 6，使用物理教學研究社群常用的兩種模型計算平均增益 $\langle g \rangle$ 與 $\langle c \rangle$ 。如圖 6 中的列表所示，實驗組的平均增益 $\langle g \rangle = 15\%$ 、 $\langle c \rangle = 6\%$ 兩種都高於對照組的 $\langle g \rangle = 13\%$ 、 $\langle c \rangle = 2\%$ ，這個結論也適用於 Q3、Q5、Q9 各題得分的比較。

圖 7 上部為 z-scores 散佈圖，左、右圖分別表現對照組與實驗組的期中考成績與標準評量得分的相關性，對照組、實驗組的結果都顯示期中考與標準評量成績都高度相關，Pearson r 相關係數分別為 0.71(對照組)、0.69(實驗組)。這個結論與先導研究結果一致。此外我們發現，實驗組期中考成績與同一組學生其他大二課程電磁學(一)($r = 0.711$)、應用數學(一)($r = 0.713$)的成績有高相關性，與同一組學生在大一基礎課程普通物理($r = 0.599$)、微積分($r = 0.603$)僅呈現中度相關。上述結果與先導研究針對對照組的分析結論一致，反映一個普遍現象：個別學生(1)不同進階課程的成績有高度相關性，(2)進階課程與基礎課程的成績僅中度相關。使用標準針對概念理解的評量結果，我們分析實驗組個別學生學習增益(g)的跨課程成績相關，如附件 4，本課程學習增益 Pearson r 跨課程相關係數如下：

普通物理 GP ($r = 0.483$) > 電磁學(一) ($r = 0.421$) > 應用數學(一) ($r = 0.397$) > 微積分 calc ($r = 0.37$)

我們發現，本課程學習理解的增益與基礎課程中的“普通物理”(GP)成績相關係數高於與“微積分”(calc)成績的相關係數，可歸因於基礎課程所學概念理解困難影響進階課程學習。因此，引導者須注意學生

困難不只在於經常被強調的數學(如微積分、應用數學)能力不足，若能針對基礎物理(如普通物理)概念理解的普遍困難設計教學內容，透過課堂問答或課前課後概念題作業，給予學生適當引導，應有助於提升引導效能。圖 7 下部兩圖呈現對照組、實驗組的 CCMI 標準試題與期中考兩種評量成績的人數百分數，分佈呈現的“雙峰”特徵與歷年期中考成績分佈特徵相似。比較圖 7 下部的對照組、實驗組成績分佈，實驗組的分佈因學習增益提高較集中於績優學生而改變整體分佈曲線。此現象值得引導者注意，不同教學設計可能對不同能力的學生群有不同的引導效能。

根據本研究設計模型(圖 1)，可使用標準評量的結果分析學生在各主題單元的理解困難，作為下一學年調整教學目標與方法設計的參考。圖 8 的表中列出 CCMI 標準試題 Q1-Q9 各題平均得分、標準差，比較對照組、實驗組的評量結果做獨立樣本 t-test 發現，實驗組平均總成績顯著高於對照組；若比較各題平均得分，實驗組在 Q3、Q6、Q8 三題的表現顯著優於對照組，Q4 得分則以對照組顯著較優；Q1、Q2、Q5、Q7、Q9 各題實驗組的平均得分高於對照組，但沒有統計顯著性。

圖 9 以標準評量 Q1-Q9 得分分佈估計各題相對困難度：

實驗組 Q9 < Q6 < Q1 < Q5 < Q3 < Q4 < Q2 < Q8 < Q7

對照組 Q9 < Q1 < Q4 < Q5 < Q6 < Q3 < Q2 < Q7 < Q8

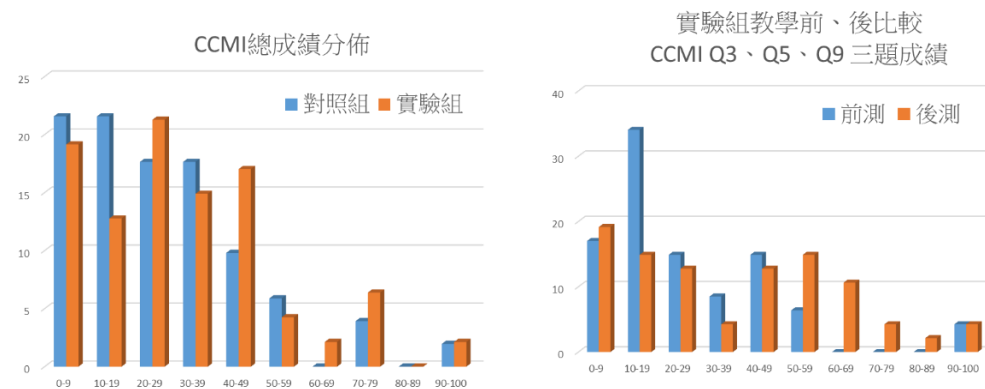


圖 5

學習增益(learning gain)

$$g = \frac{\text{post-pre}}{100 - \text{pre}}$$

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \text{post} \rangle - \langle \text{pre} \rangle}{100 - \langle \text{pre} \rangle}$$

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

		Total	Q3	Q5	Q9
<g>	對照組	13%	8%	16%	22%
	實驗組	15%	18%	18%	28%
<c>	對照組	2%	3%	8%	18%
	實驗組	6%	29%	14%	27%

圖 6

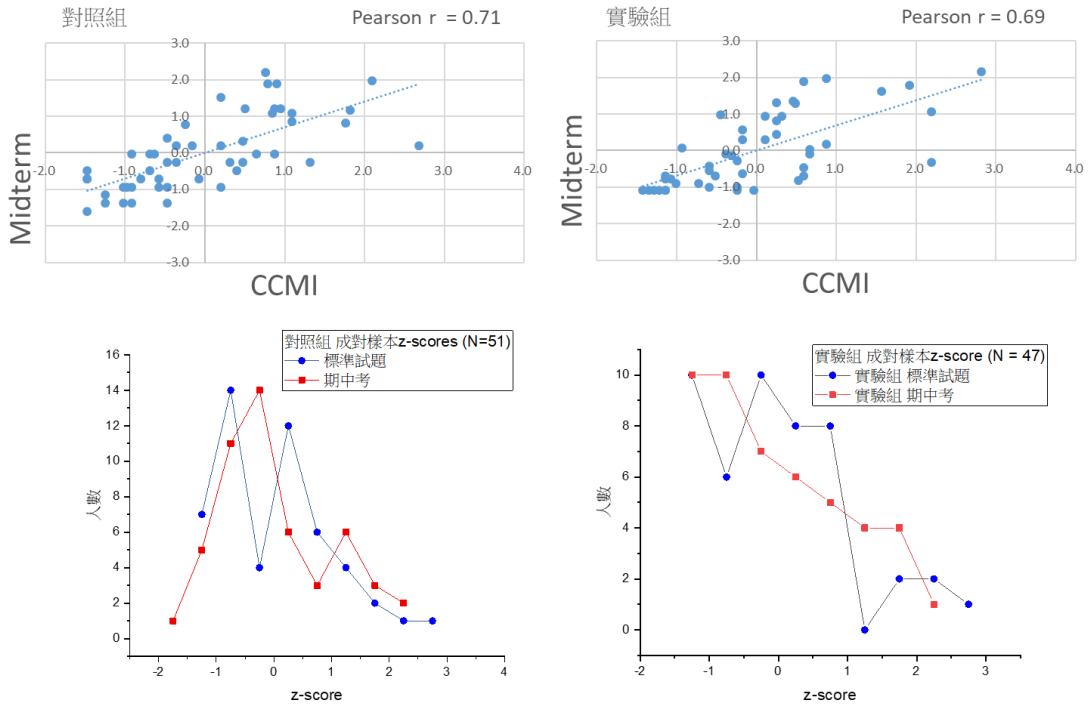


圖 7

比較 CCMi Q1-Q9 各題得分：實驗組 Class = 1 對照組 Class = 2
SPSS: 獨立樣本 T 檢定

組別統計量					變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
Class	個數	平均數	標準差	平均數的標準誤	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
												下界	上界
Total	1.00	47	31.0043	21.78033	6.736	.011	3.019	96	.003	10.97975	3.63653	3.76128	18.19821
	2.00	51	20.0245	13.58701								2.965	75.926
Q1	1.00	47	42.8936	35.36409	.108	.743	1.145	96	.255	8.25303	7.20479	-6.04836	22.55442
	2.00	51	34.6406	35.87700								1.146	95.556
Q2	1.00	47	13.8298	22.60754	12.066	.001	1.885	96	.062	7.94743	4.21648	-4.2222	16.31709
	2.00	51	5.8824	19.09727								1.872	90.419
Q3	1.00	47	28.8298	29.40003	7.204	.009	3.193	96	.002	16.67292	5.22171	6.30791	27.03794
	2.00	51	12.1569	22.02850								3.156	84.983
Q4	1.00	47	26.3830	27.61738	.944	.334	-2.370	96	.020	-14.20526	5.99420	-26.10364	-2.30687
	2.00	51	40.5882	31.39502								-2.382	95.802
Q5	1.00	47	38.7021	29.94482	.117	.733	.616	96	.539	3.73507	6.06561	-8.30507	15.77521
	2.00	51	34.9671	30.04726								.616	95.402
Q6	1.00	47	43.8085	35.32251	12.267	.001	3.023	96	.003	18.97145	6.27511	6.51545	31.42745
	2.00	51	24.8371	26.48290								2.989	85.014
Q7	1.00	47	8.5106	25.68443	.970	.327	.526	96	.600	2.62829	4.99484	-7.28640	12.54297
	2.00	51	5.8824	23.76354								.525	93.609
Q8	1.00	47	14.1064	31.55963	22.835	.000	2.274	96	.025	11.16521	4.91076	1.41743	20.91299
	2.00	51	2.9412	14.70294								2.214	63.891
Q9	1.00	47	46.0638	41.88099	1.119	.293	.520	96	.605	4.23363	8.14806	-11.94014	20.40741
	2.00	51	41.8302	38.78312								.518	93.634

圖 8



圖 9

(2) 教師教學反思

從評量成績和學習增益(圖 5、圖 6、圖 7)可見，實驗組的整體學習成效高於對照組，可歸因於引進同儕教學單元對教學效能的影響。另一方面，實驗組標準評量試題 Q4 的平均得分低於對照組，反映教學時間配置顯著影響各主題學習成效。再者，根據本研究教學實踐經驗，引進同儕教學單元必須考慮減少課堂講授總時間的影響。因此，引導者對於講授的主題與內容必須有所取捨，以最佳化各主題教學時間的配置，以及評估哪些主題單元應可被同儕教學單元取代，或者哪些主題單元可與講授教學結合，以提高課程的整體成效。

實驗組教學中，嘗試結合課前、課後指定練習(Assignments)與使用演算題同儕教學的經驗顯示，同儕討論的確可提高作答正確率，然而相對於概念題的同儕討論，演算題的同儕討論較不熱絡，許多學生僅專注於自己演算，課堂氣氛較沉悶，而且耗時較多。如何最佳化實施方式需要更多思考、嘗試。

如圖 9 與圖 9 所見，Q2(Taylor approximation)、Q7(Resonance)、Q8(Writing a differential equation)的平均得分很低，符合 CCMI 原始文獻研究所觀察相對最低得分的三題。有鑑於前一學年對照組的評量結果，實驗組教學調整上述三個主題的授課、作業、指定練習的內容，而且在課堂上使用概念題問答加強理解，標準試題評量結果顯示，實驗組在此三個難題的平均得分都高於對照組，而且實驗組在 Q8 作答的表現在統計上顯著優於對照組，部分學生的確學會如何根據物理情境寫下正確的運動微分方程式。然而，學生顯然在此三個難題仍然遭遇幾大困難挑戰，以致中位數與 30%頂標都是零分。致力於提升難題解題能力的教學設計似乎可激勵績優學生挑戰深入理解學習目標，但對大部分學生的學習成效提升幾乎無效，如何進一步改善以及配置不同主題教學時間值得引導者注意。

(3) 學生學習回饋

如附件 5，本校教務系統的教學評量得分顯示，實驗組(4.34)比對照組(4.17)明顯較佳，反映學生對引入同儕教學單元的新教學法接受度高。

本研究使用問卷調查學生對學習的主觀認知。期中考之後兩週實施標準評量施測後讓學生填寫 44 題問卷，附件 6 為完整的問卷與調查統計結果。如問卷第 6、7 題的調查結果(附件 6)顯示，實驗組有

75%以上的學生表示同意或非常同意，在課堂(同儕教學)、課後(Assignments)使用 zuvio 問答時會認真思考並參與作答。圖 10 節錄問卷中有關學習態度的問題內容，以及勾選同意或非常同意的人數百分比，這裡可以看出一個有趣的對比：在教學後，即使實驗組有 61%學生自認先修課程知能不足對學習力學影響很大，高於對照組的 52%；在有關學習態度(問題 2、4、5、10)與自信(問題 17、18、22)方面，實驗組學生仍然比對照組有明顯較高的比例能夠自我肯定。在問卷問題 37 關於背記對於考試得分有幫助的看法，實驗組學生僅有 22%認同，遠低於對照組的 61%，可歸因於實驗組教學除了引進了同儕教學單元之外，在課堂或課前、課後實施以提升理解為目的的概念題問答。

填寫問卷人數：實驗組 54，對照組 49。

問卷各題「同意」或「非常同意」百分人數統計列表。

*表示實驗組與對照組調查結果差異明顯。

題 目	對照組	實驗組
1.上力學課時我會專心聽講、不願缺席.....	52	59
2.遇到不會的力學問題我會請教老師、助教，或者找同學討論.....	78	69
3.我有複習當天力學所教內容的習慣.....	11	22*
4.不會的力學題目，我在上課當週一定會打破沙鍋問到底.....	7	14*
5.我會獨自完成力學習題、決不抄襲.....	28*	59*
10.一旦我開始解力學題目時便很難停下來.....	15	38*
17.我認為我有抓住力學問題核心的能力.....	7	20*
18.我認為我有解決力學難題的能力.....	9	16*
22.我認為自己能獲得好的力學成績.....	9	18*
36.對英文教材、題目有理解困難是我學習力學的嚴重障礙.....	57*	55
37.根據我的經驗，背記考古題或習題解答對物理系課程考試得分很有幫助.....	61*	22*
38.我的先修課程(如「微積分」、「普通物理」、「矩陣與向量」)知能不足，對力學課程的學習與考試成績影響很大.....	52*	61

圖 10

六. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

1. 實驗組較高學習成效可歸因於約 1/3 課堂同儕教學與概念題問答作業，且學生對於採用新教學法的接受度頗高。
2. 同儕教學排擠講授時間，必須對主題與學習目標有所取捨。使用標準評量作跨學年比較，可認知普遍類型學生困難，有助於優化教學設計。
3. 第一次作答正確率低於 1/10 時啟動同儕討論，仍可大幅提升學生理解，不同於早期文獻所建議判準 35%-70%。此結果支持新近研究結論：即使討論群中沒人知道正確答案，同儕討論仍可提升理解。
4. 同儕教學與概念題問答活動課堂效果：(1)提升理解，導正倚賴背記的學習習慣；(2)幫助引導者與學生發覺 misconceptions。但難題作答所需思考時間較長，應注意避免耗時過多，以致課程進度緩慢降低學習質量。

結語

在麥田捕手一書中，J.D. Salinger 曾提出守護者的教育觀念。他吟唱：

如果有孩子跑到懸崖邊，我就去抓住那個孩子，以免他落到懸崖下面。

然而，若真的抓住，學生就失去實現「懸崖撒手，自肯承當」的存在或理解的機會。在抓住與放手的衡量中，教學引導設計須省思教育目的與對象特質，才能賦予引導方法與量化成效創新的意義。

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, Apr). Assessing learning outcomes in middle-division classical mechanics: The Colorado Classical Mechanics and Math Methods Instrument [Article]. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 12, Article 010118. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010118>
- Gaffney, J. D. H., & Gaffney, A. L. H. (2016, 08/23/). Student satisfaction in interactive engagement-based physics classes. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020125. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020125>
- 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.
- Madsen, A., McKagan, S. B., & Sayre, E. C. (2017, Apr). Resource Letter RBAI-1: Research-Based Assessment Instruments in Physics and Astronomy [Article]. *American Journal of Physics*, 85(4), 245-264. <https://doi.org/10.1119/1.4977416>
- 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. <https://doi.org/10.1126/science.1165919>
- Swann, W. F. G. (1951). The Teaching of Physics. *American Journal of Physics*, 19(3), 182-187. <https://doi.org/10.1119/1.1932755>
- Vickrey, T., Rosploch, K., Rahmanian, R., Pilarz, M., & Stains, M. (2015, Mar). Research-Based Implementation of Peer Instruction: A Literature Review [Article]. *Cbe-Life Sciences Education*, 14(1), 11. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-11-0198>

附件(Appendix)

附件 1 CCMi 試題(Caballero et al., 2017)描述，Q1-Q9 均為開放式問題，本研究未使用選擇題 Q10、Q11。

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_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).

附件 2 同儕教學 Q1.2 第二次作答選項“其他”的看法 (不同學生編號以 N*表示)

1*如果輪胎跟地板的摩擦力大於對踏板施的力，且對踏板施的力可以轉動踏板那腳踏車會往前移動，但推不動踏板的話將不會移動。

如果輪胎跟地板的摩擦力小於對踏板施的力那將會往右移動

2*在大齒輪下方向右施力，會使大齒輪帶動小齒輪產生逆時鐘力矩。而小齒輪連接著後輪接觸地面，後輪與地面的摩擦產生的反作用力朝左。我們向右施的力 F 會與向左的反作用力抵消，使腳踏車靜止不動；但當施力 F 足夠大，超過輪胎與地面的靜摩擦臨界值，腳踏車就會朝右進行動摩擦運動。

3*我一開始的想法是要考慮摩擦力的大小，如果 F 遠大於摩擦力，那會變成靜摩擦力而向右，但我思考的是有沒有剛好臨界的力可以讓摩擦力大於 F 的力而向左。力矩 $=RF$ 外力的力矩 $rF=Rfs$ 所以說 $fs>F$ 的話 $R<r$

$F<fs$ 的話 $r>R$ 若向右的話 $ma=F-fs$ 向左的話 $ma=fs-f$ 取決於 r 和 R 的大小 所以答案是其他

R 為車輪半徑 r 為踏板半徑 F 為外力 fs 為摩擦力

4*如果踏板轉動的速度小於後輪的轉動速度，腳踏車會向後移動，因為這樣往後拉的繩子才會越來越短；同理，如果踏板轉動速度大於後輪，則腳踏車會往前。因此，這個問題最重要的關鍵點在於踏板與後輪的齒輪半徑比以及踏板長度與後輪半徑的比值。

5*1.如果 F 無法讓齒輪轉動及大於輪胎地面間最大靜摩擦力，那腳踏車會在原地不動

2.如果 F 大於輪胎地面間最大靜摩擦力，但無法讓齒輪轉動，則將整輛單車視為一個方塊，單車會向後移動

3.如果 F 可以造成齒輪轉動，且不大於輪胎與地面間最大靜摩，那單車會向前移動

4.如果 F 同時造成齒輪轉動及大於最大靜摩，就要看力怎麼分配

6*要看其齒輪比 如果其齒輪比很小 踏板往後推腳踏車會往前 反正齒輪比很大會往後

7*看情況

如果施力太大

且施力時間很短

這樣腳踏車就會往

施力方向移動

如果施力比較小

且施力時間長

腳踏車的機械結構就會使腳踏車往施力方向相反的方向前進

8* 1.若施力當下踏板斷裂，腳踏車基本上不會有位移

2.若以繩子綁住踏板往後拖，在繩子不斷的前提下，腳踏車即使輪胎空轉，也會往繩子一定的方向移動。

9*要看構造

如果踏板容易推動的話 則腳踏車往左

如果齒輪很大的話 踏板不易推動 這時因為沒有從上面施加的力 所以往右推的話則腳踏車往右移

10*視情況而定，若腳踏車可變速

當在一檔，也就是踩起來非常輕的那檔，腳踏車有機會向左

在一般情況下皆是向右

附件 3 同儕教學 Q1.2c 選項“其他”的看法 (不同學生編號以 N*表示)

1*我一開始自己想，想了向右向左及不會動所需的條件，然後再想辦法用數學列式，看了網路上的資料後，發現與輪軸的比例和車輪跟齒輪的比例有關。

2*我認為用繩子拉的結果，與綁一個質量很小火箭的結果會相反，前者車往後，後者車往前。圖上只畫了一個施力方向的箭頭，卻沒有說明施力時間、輪胎與地面靜摩擦、動摩擦係數、腳踏車質量等等參數，所以結果無法預測。人為用手推腳踏車操作實驗的時候，施力時間與方向很難精確被測量。

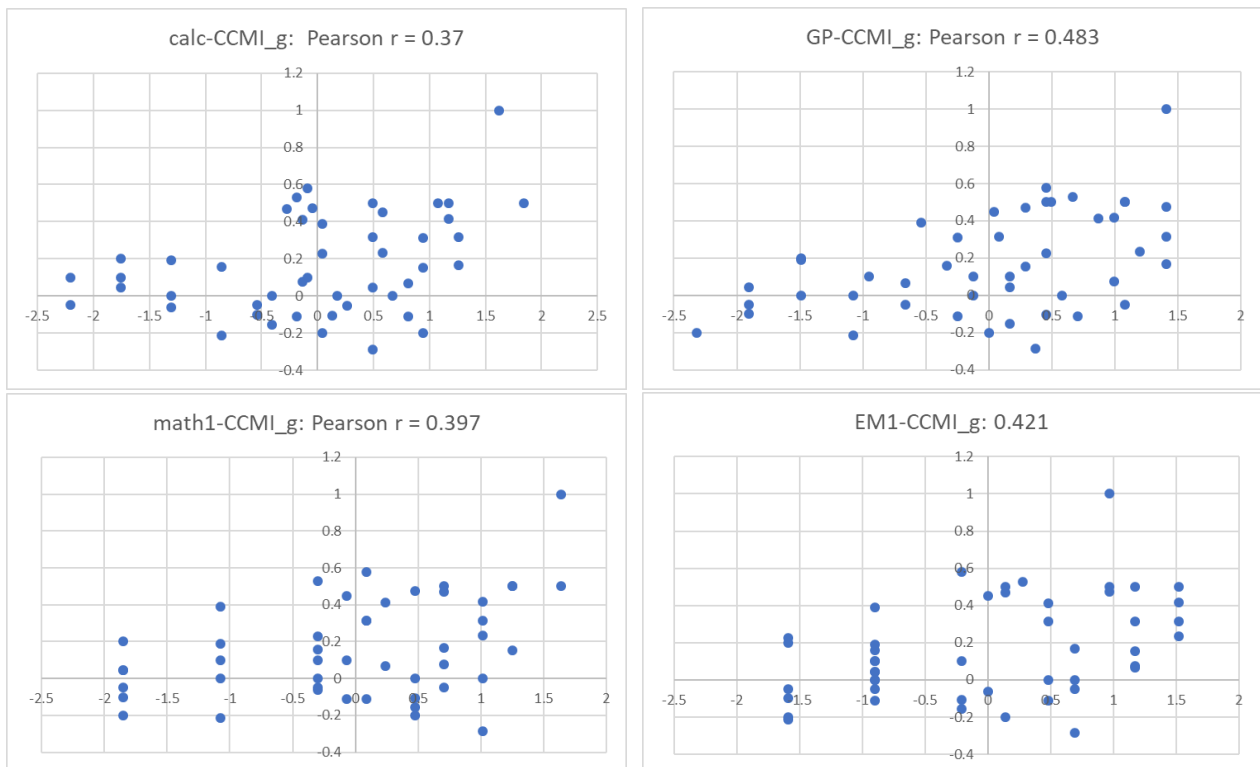
3*我觀察到一個問題所在，若為單人去推動，則問題會出在：腳踏車無法平衡的直立，施一個力給他之後會像側邊倒去，不符合選項中向右或向左，但若以兩人實驗，一人手扶腳踏車以維持直立平衡不傾倒，另一人手推腳踏板，腳踏車幾乎不動，我覺得可能是因為有兩個原因，第一個是我們手推的力，單邊作用在腳踏板上，不夠大，不足以帶動輪軸從而使腳踏車向前，第二個則是由一延伸而來，手推的力不足以使輪軸轉動，會使腳踏車受一向右的力，造成腳踏車向後（向右）運動。以上是我個人的小觀察，謝謝老師。

附件 4 實驗組學習增益與其他課程成績相關

橫軸：各課程學期總成績 z-score

calc:微積分(一)、(二) GP:普通物理(一)、(二) math1:應用數學(一) EM1:電磁學(一)

縱軸：CCMI 標準試題得分 z-score



附件 5 教學評量

109/2/理工學院/理工學院/物理學系/物理學系/學二/學
二/PHYS2010AA/PHYS2010AB/力學(一)AA/力學(一)AB/黃玉林 分數:4.34

壹、課堂學習的情形

一、對於授課教師之教學意見

題號	題目	非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意	總分	平均	極端值逕予排除後填表人數
1	本課程上課內容符合課程的教學目標	0	1	19	13	24	231	4.05	57
2	本課程內容安排有組織、有條理	0	3	19	11	24	227	3.98	57
3	本課程內容與安排依據我們的程度與需求而設計	0	1	18	12	26	234	4.11	57
4	老師能採用適合而多元的教學方式	0	1	18	10	28	236	4.14	57
5	老師很重視我們的反應，並能隨時修正教學方式	0	0	17	11	29	240	4.21	57
6	老師講課深入淺出，條理清晰	0	4	18	11	24	226	3.96	57
7	老師很鼓勵我們自由發問及表達意見，學習氣氛良好	0	0	16	13	28	240	4.21	57
8	老師很願意幫助我們解決學習上的困難	0	0	17	14	26	237	4.16	57
9	老師的評量方式能合理反映出教學重點	2	1	18	10	26	228	4	57
10	老師的評量方式能客觀公正的評量我的學習成果	0	0	18	12	27	237	4.16	57
11	老師會對我們的學習表現、考試結果或作業報告等給予回饋	0	0	16	15	26	238	4.18	57
12	老師採用_不_適切而_無_效的教學方式	22	9	15	5	6			57
13	老師能夠按時上課，如有請假(含出國開會)會安排調課或補課	0	0	15	14	28			57

二、自我學習評量

題號	題目	非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
14	我能理解本課程的專業知識	0	2	16	14	25
15	我能應用本課程的專業知識	0	3	17	10	27
16	我能根據本課程的專業知識進行獨立、批判思考	0	1	16	14	26
17	本課程讓我學到如何溝通合作	0	3	19	13	22
18	本課程讓我學到如何將理論與實務連結	0	1	18	14	24
19	本課程讓我學到如何解決問題	0	1	17	15	24
20	本課程能提高我修習相關課程與知識的興趣	0	3	16	13	25
21	本課程能激發我繼續探究這門課程的相關知識	0	3	16	12	26
22	有機會我樂意向同學或學弟妹推薦修讀這門課程	0	2	18	14	23

三、學生學習成效

科目代碼	科目名稱	題號	題目	能力指標相關度	非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
PHYS2010AA	力學(一)AA	25	具備物理之基礎背景知識		2		8	14	17
PHYS2010AA	力學(一)AA	26	能運用基本物理知識與邏輯推理，分析解決物理問題		2		8	13	18
PHYS2010AA	力學(一)AA	27	能使用基礎電腦程式語言解決物理問題		1		10	13	16
PHYS2010AA	力學(一)AA	28	具備科技發展的國際視野以及外語溝通的能力		1	1	13	9	16
PHYS2010AA	力學(一)AA	29	能整合物理與其它領域知識		1		8	14	17
PHYS2010AB	力學(一)AB	25	具備物理之基礎背景知識		2	1	8	5	5
PHYS2010AB	力學(一)AB	26	能運用基本物理知識與邏輯推理，分析解決物理問題		2	1	7	4	7
PHYS2010AB	力學(一)AB	27	能使用基礎電腦程式語言解決物理問題		1	3	7	3	6

PHYS2010AB	力學(一)AB	28	具備科技發展的國際視野以及外語溝通的能力	1		3	8	2	6
PHYS2010AB	力學(一)AB	29	能整合物理與其它領域知識	1		2	7	5	5

四、自加題

科目代碼	科目名稱	題號	題目	非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
------	------	----	----	-------	-----	----	----	------

貳、對本課程的心得與建議

1. 對於這門課我最喜歡的是

無

無

都好

學習到新的學習方式

無

教授的悉心講解讓我在上課時就可以將不懂的地方一網打盡，同時上課投影片使用的簡報內容頗有趣的，透過這樣問答方式很實在地反應出自己的有那些觀念尚待釐清，我很滿意這樣有趣的教學互動方式！

無

.

老師教學非常認真，有整理數學物理觀念並用Zuvio確認同學能把握關鍵知識。

Calculus of variation & Lagrangian and Hamiltonian dynamics以及python的部分

2. 對於這門課我的建議是（包括教學內容、方法、評量方式...等方面）

無

無

都好

謝謝老師的用心

無

希望教授在介紹每一個章節前可以更廣闊地補充一些相關內容的背景知識，還有延伸的應用，在學習上可以比較有想像空間！

無

.

考試時間太短

附件 6 問卷調查結果

問卷上的填答說明：請您看完題目後在「非常同意」、「同意」、「沒有意見」、「不同意」、「極不同意」五個選項中，勾選出一個與自己的學習態度或困難最接近的答案。

填寫問卷人數：實驗組 54， 對照組 49

右欄為勾選「同意」或「非常同意」的百分人數 (*註記實驗組與對照組調查結果差異較大。)

題 目	對照組	實驗組
1.上力學課時我會專心聽講、不願缺席.....	52	59
2.遇到不會的力學問題我會請教老師、助教，或者找同學討論.....	78	69
3.我有複習當天力學所教內容的習慣.....	11	22 *
4.不會的力學題目，我在上課當週一定會打破沙鍋問到底.....	7	14 *
5.我會獨自完成力學習題、決不抄襲.....	28	59 *
6.課堂上老師口頭提問或使用 zuvio 測驗時，我會認真思考並參與作答.....	93	79
7.課後 Assignments 使用 zuvio 測驗時，我會認真思考作答	59	75
8.對於力學問題我有分類、整理思考的習慣.....	33	28
9.我不需要別人的叮嚀就會自動自發的完成力學作業.....	63	53
10.一旦我開始解力學題目時便很難停下來.....	15	38 *
11.當力學課堂上有未解答的問題時在課後我會繼續思考它.....	43	42
12.為了將來能夠唸研究所，我會努力學習力學.....	37	42
13.為了得到別人的讚美，我會努力學好力學.....	19	14
14.不管同學的眼光如何，我都會勇於發問.....	17	24
15.如果老師算式或觀念有問題時，我會向他提出質疑.....	39	44
16.無論老師提問任何問題我都願意回答.....	37	34
17.我認為我有抓住力學問題核心的能力.....	7	20 *
18.我認為我有解決力學難題的能力.....	9	16 *
19.我有信心將已經學過的力學觀念以口語的方式清楚地表達出來.....	19	20
20.我對自己的邏輯思考有把握.....	44	46
21.我覺得我有分類、整理思考的能力.....	54	44
22.我認為自己能獲得好的力學成績.....	9	18 *
23.我擔心自己力學時間分配太少.....	56	61
24.力學的讀書時間零碎令我常擔心思考不夠深入.....	54	53
25.上力學課內容聽不太懂令我擔心.....	78	69
26.力學習題寫不出來令我感到憂慮.....	70	65
27.我怕力學考試成績不好而被當掉.....	78	73
28.我有力學問題卻不敢發問，或者是不知道問題在哪裡.....	57	51
29.我怕老師問我力學問題.....	39	32
30.力學是我往後學習其他進階課程概念的基礎.....	57	69
31.力學是我解決其他科目問題的重要工具.....	48	57

32.力學對我以後的工作很有幫助.....	20	28
33.力學知識對我解決日常生活的問題很有幫助.....	30	32
34.力學可以增加我邏輯思考的能力.....	67	81
35.力學可以增加我抓住問題核心的能力.....	63	71
36.對英文教材、題目有理解困難是我學習力學的嚴重障礙.....	57	55
37.根據我的經驗，背記考古題或習題解答對物理系課程考試得分很有幫助.....	61	22 *
38.我的先修課程(如「微積分」、「普通物理」、「矩陣與向量」)知能不足，對力學課程的學習與考試成績影響很大.....	52	61
39.我不清楚如何使用微分連鎖律(chain rule, $\frac{d[f(g(x))]}{dx} = \frac{df}{dg} \frac{dg}{dx}$).....	20	20
40.我不清楚泰勒展開(Taylor's expansion)的意思和計算方法.....	28	40
41.我記得 e^{-kt} 的泰勒展開是 $1 - \frac{kt}{1!} + \frac{k^2t^2}{2!} - \frac{k^3t^3}{3!} + \dots$ ，但不知道如何計算各項係數	33	38
42.我不清楚傅利葉級數(Fourier series) 計算方法	46	32
43.我不知道如何使用分離變數法解微分方程式	46	30
44.我不清楚如何使用初始條件或邊界條件決定微分方程一般解中的積分常數.....	37	24