

**【附件三】 成果報告(系統端上傳 PDF 檔)**

**封面 Cover Page**

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：PMS1100264

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：2021.08.01 – 2022.07.31

(計畫名稱：沿著 B 軌，培養未知探究的能力-以基礎物理(一)、(二)為例)

(配合課程名稱/Course Name)

計畫主持人(Principal Investigator)：梁贊全

協同主持人(Co-Principal Investigator)：杜明憲、陳姚真、姚松偉

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：中正大學物理系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2024 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2022.9.19

(沿著 B 軌，培養未知探究的能力-以基礎物理(一)、(二)為例)

## 一. 本文 Content (3-15 頁)

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

#### (1) 教學實踐研究計畫動機

早期大學教育為菁英教育，大學物理系主要培育從事物理相關領域的研究人才。而現代的大學教育則逐漸在菁英教育中融入普及教育，大學物理系不再只是為了培育從事物理研究的專業人才，更培育學生擁有帶得走的能力，如主動學習、發現與解決問題、及團隊合作與表達溝通的能力。在過去五十多年來，物理系的課程設計與授課方式沒有多大的改變。一年級的普通物理利用基礎數學把古典物理中主要的現象及定律進行引導；二、三年級則使用較抽象的進階數學再次說明，並利用更高階的數學來演算出其他應用。由於二、三年級的課程強調數學的演譯，故學生較容易迷失在抽象的數學中，使對學生形成學習上很大的能障，不易突破。同時，師生互動的教學模式逐漸取代了單向授課的教學模式，教師在教室上的功能需著重於提昇學生學習的動機、瞭解學生學習的狀況、及加深學生對相關課程的認識，引導學生發掘問題並提升學生解決問題的能力。

面對上述的教學現況及挑戰，本系參考中央物理系雙軌課程的成功經驗<sup>[1]</sup>，於重新設計前二年的大學物理系課程，調整授課內容的順序與比重，使物理現象，數學、理論跨域連成一氣，並著重數學的應用，減少數學定理的討論，進而強化學生程式語言的能力，以具體的圖示數值取代抽象的數學。在此基礎下，本計畫主持人更於 2018 至 2020 年擔任 B 軌基礎物理理論課的任課老師期間中，進一步加強課程所需的影片與講義，不斷檢視課程的內容與運作模式，且融入數位教材與翻轉教室的元素，重新建立了一套同時包含理論力學、電磁學、量子物理、熱統計物理的基礎物理理論之系列課程，並欲驗證其課程運作之可行性。目前本系 AB 兩軌課程的比較如圖 1，主要差別在於 B 軌將 A 軌的普通物理及四大力學課程整合為四個學期的基礎物理課程，以使學生在前兩年即完成物理理論之奠基，第三年即可直接進入實驗室從事物理研究。

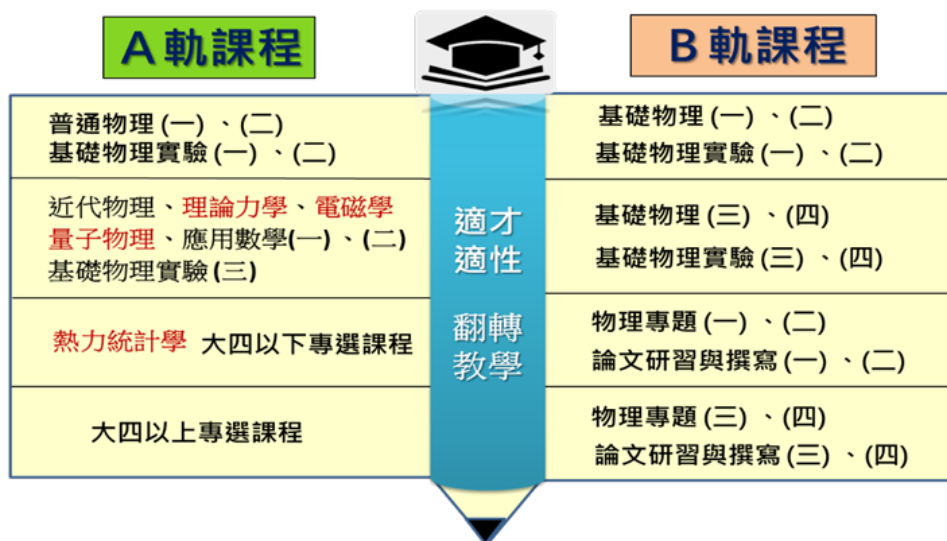


圖 1：中正大學物理系雙軌課程架構比較圖

## (2) 教學實踐研究計畫主題及研究目的

本計畫主要將傳統四學期的基礎物理理論課程濃縮調整為基礎物理(一)、(二)之兩學期課程，並欲探討課程對學生在「物理、數學、程式設計」之三項專業認知能力，及「自主學習、發現與解決問題、團隊合作與表達溝通」之三項素養導向核心能力的影響。故本計畫的研究目的有三，其一是課程設計，包含選擇課程所需的專業認知能力之教學內容，建立更完整的課程影片及題庫設計。其二是如何調整課程的運作模式，以翻轉教室為核心，探討課前小組討論、課中小組報告、課後教師及助教時間的運作與素養核心能力之間的關係。最後則是研究如何建立一套可有效檢視學生專業認知能力與素養核心能力的評量機制。

## 2. 文獻探討 Literature Review

本計畫回顧了本系雙軌課程的發展、雙軌課程在大學端的應用，及翻轉學習所需之素養導向核心能力的內涵之相關文獻，以建立基礎物理理論課程之基礎，為作為發展其教學設計及研究架構之重要依據。

### (1) 中正大學物理系 B 軌教學發展之脈絡

本計畫之 B 軌基礎物理理論課程的起源源自中央大學物理系伊林所推動的物理實驗課程改革<sup>[2]</sup>，將原本一年的基礎物理實驗課程，增長為兩年，以強化學生實驗的基本知識。並要求修課學生需在二年實驗課程結束時，完成一項實驗作品並參加系上年會，透過評審老師與其他參與同學的講解和交流，提升學生的問題解決與表達溝通能力。中央物理系在基礎物理實驗課程的調整下，進入段全面課程改革的第二階段，也就是雙軌課程的規劃。提供學生甲制與乙制課程的選擇，甲制是傳統的課程，乙制則是把物理的理論基礎課程調整為四個學期的基礎物理課程，第一學期為力學，第二學期為電磁學，第三與第四學期則是熱物理與量子物理；大三與大四每學期 6 學分的研究專題，選擇乙制的同學必須在畢業前完成一篇研究論文並通過口試<sup>[3][4]</sup>。

本系參考中央大學物理系成功的課程改革經驗下，自 2017 年起組成創客教學團隊進行課程改革，積極規劃及召開多次共識會議密集討論，訂定「物理學系雙軌制實施細則」，正式於 2018 年開始實施以學生學習為中心的「雙軌課程」。相對於台大物理系、中央甲制、中央乙制、中正 A 軌與中正 B 軌在物理必修相關科目的課程比較如表 1。中正物理的 B 軌課程與中央物理的乙制課程相似，只是有部分課程的課名不一樣。中正物理的基礎物理實驗(一)~(四)與中央物理的實驗物理(一)~(四)的運作方式是一致的。

表 1：台大、中央甲制、中央乙制、中正 A 軌與 B 軌物理必修相關科目之課程差異表

	台大	中央甲制	中央乙制	中正 A 軌	中正 B 軌
大一(上)	普物+普物實驗	普物+實驗物理	力學+實驗物理	普物+基礎物理實驗學(一)	基礎物理(一)+基礎物理實驗學(一)
大一(下)	普物實驗	普物+實驗物理	電磁+實驗物理	普物+基礎物理實驗學(二)	基礎物理(二)+基礎物理實驗學(二)
大二(上)	電磁+理力	電磁+理力+實驗物理	熱力+實驗物理	電磁+近代物理+基礎物理實驗學(三)	基礎物理(三)+基礎物理實驗學(三)

大二 (下)	電磁+理力	電磁+ 理力+ 實驗物 理	量物+ 實驗物理	理力+量物	基礎物理(四)+ 基礎物理實驗學(四)
大三 大四	量物+ 熱力+ 基礎物理+ 近代物理實 驗	量物+ 熱力	專題研究+ 畢業論文專 題口考	熱統計物理學	物理專題(一)~(四) 論文研習與撰寫 (一)~(四) 必選四科通過二科

此外，本系的雙軌課程，也融入於 2005 年從引進麻省理工學院的 TEAL 教學 (Technology-Enabled Active Learning) 的精神，建置當時全國大專校院獨有的「TEAL 創意互動教室」，致力於課程精進與教學創新，發展別樹一幟的 TEAL 創意互動教學模式，其教學成效也十分卓越<sup>[5][6][7]</sup>。TEAL 教學的特色是互動，課程主要以三人為一小組進行，且設計了很多讓學生可以彼此互動的運作，如即時回應系統、課堂分組的習作練習、電腦模擬呈現抽象物理圖像、課堂上的演示實驗與線上演示實驗影片等。老師則穿梭於學生之中，課堂上有多位助教，負責瞭解學生的學習狀況。老師會課程中提出觀念或計算的題目讓同學以分組的方式在課堂上完成並報告其答案，老師與助教則負責觀察並協助同學討論。本計畫申請人從 2005 年便開始參與 TEAL 教學，負責普通物理課程的數位課程的建置，並將這些教學經驗帶入本計劃的雙軌課程之設計。

最後，本系雙軌制教學的詳盡說明及學生的優秀表現如下：

**【中正大學物理系雙軌制教學簡介】**

<https://www.youtube.com/watch?v=7pPRLXPvuhk>

過去傳統物理教學主要以遠距單向方式授課，造成學生學習成效普遍不佳，為引發學生之學習動機，本系 2018 年開始實施適才適性的雙軌課程，提供學生多元選課的自主性，自主學習翻轉教學，本系以學生學習為主體及翻轉教學方式，以線上學習、課程互動及小組討論等創新教學，啟發學生的學習興趣，雙軌課程之教育目標除了強化物理、數學與程式設計等專業知識外，更重要的是培養學生自學與共學的能力，發掘問題與解決問題的能力，以及團隊合作與表達溝通的能力。

**【沿著 B 軌，迎向世界奈秒級變化的挑戰】**

<https://www.youtube.com/watch?v=b1EZZbFqAYQ>

透過 B 軌課程的設計，針對 B 軌學生訪談及問卷調查，學生認為於課前能充分自主學習，每週平均花費 8 小時以上時間預習觀看教學影片及課後複習，課堂中老師特別注重團隊討論，和傳統式老師在黑板教學方式不同，老師從主導者角色改為協助者角色一對一輔導，雖然課程進度會有壓力，但學習到很多，所以大部分的 B 軌學生皆推薦學弟學妹選擇 B 軌學制。

雙軌教學在中正物理系運作至今已邁入第三年，相關教學成果，除了辦理實驗教材創意設計競賽及實驗室博覽會，2020 年參加全國物理教育年會更是大異放彩，在全國物理教育聯合會議發表，分別榮獲第二名，第三名與佳作，可謂收穫豐碩，如圖 2。此外，由課程學習中，學生們也撰寫了三篇論文，其中一篇也被中華民國物理教育學刊所接受。這也驗證本系的雙軌課程的成效，可為往後的課程發展提供穩健的基礎。

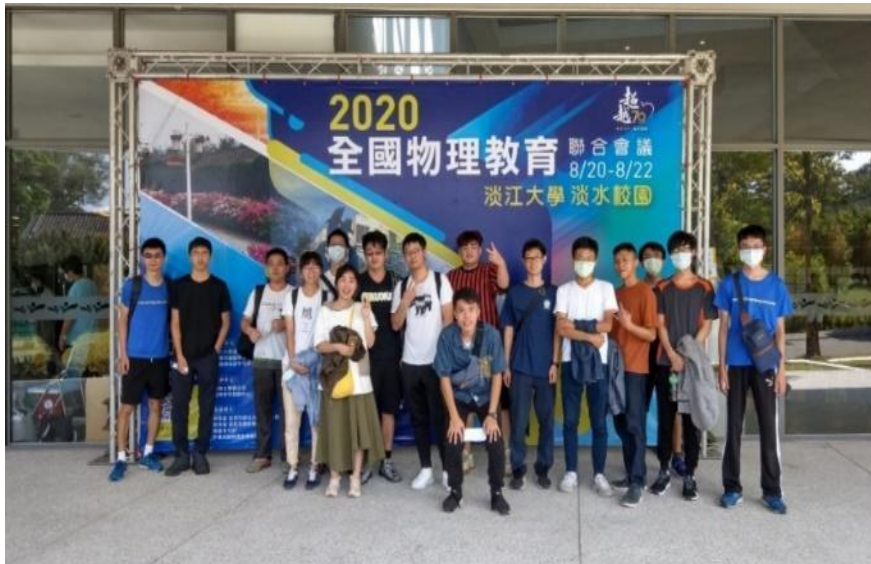


圖 2：2020 全國物理教育聯合會議學生合照。

### (2) 大學端雙軌課程

國內除中央大學物理系外，臺灣大學土木系從 2008 年逐步建置雙軌課程。為使學生畢業後能在職場上解決專業複雜的實務問題，其整體課程規劃將學生的修課路徑分為理論型及實務型，學生可從中選擇修課路徑，也可雙軌並行同時涉獵。在學習成效上，學生普遍認為在大一階段，實作課程的負擔較理論課程為重；但在升上大二後仍願意選擇實作課程，或進一步擔任助教，分享學習經驗給後備。主要原因是學生感受到課程訓練對未來的實用性<sup>[8]</sup>。而在國外的相關研究中，美國羅徹斯特理工學院的生命科學學院也採雙軌課程，並對 92 名大一學生進行為期一學年的教學實驗。該研究有 24 名學生參與 APS(Advanced Placement Scholars)課程；另有 68 名學生參與 RCL(Reformed Classroom and Lab)課程。兩課程的差異主要是 APS 課程的參與者有較高的生物學先備知識，故不採用教科書進行教學，而是使學生可自由探究任何熱門生物科學主題；RCL 課程則依循教科書的編排順序授課。為了確保學習狀況，兩組學生每週都會進行依教科書進度所安排的線上測驗。其結果發現，兩組學生在學習成效的表現沒有差異，且均對課程表示滿意，也讓 APS 課程的學生對能成為一名科學家更有自信<sup>[9]</sup>。

總結上述研究，雙軌課程使學習的選擇權回到學生身上，並符合 108 課綱的課程願景-適性揚才，且有良好的學習成效。本系雙軌課程的運作將邁入第三年，相關教學成果，除了辦理實驗教材創意設計競賽及實驗室博覽會，2020 參加全國物理教育聯合會議發表，分別榮獲第二名，第三名與佳作，可謂收穫豐碩，如圖 2。此外，由課程學習中，學生的論文也被中華民國物理教育學刊所接受，這也驗證該雙軌課程的成效。本計劃將在現有教學經驗和成果上融入其他雙軌課程的優勢，來發展更適合未來學生的物理課程。

### (3) 翻轉教學

翻轉教學源於 2007 年美國兩位化學老師 Bergmann 和 Sams 對於傳統教學的挑戰，認為教師應在課前引導預習及利用科技加以輔助，之後再回到教室進行討論與互動，引起學生的學習動機與意願<sup>[10]</sup>。Moraros, Islam, Yu, Banow & Schindelka 等人探討了翻轉教學的理論依據，認為其含有建構主義和社會學習理論的基礎<sup>[11]</sup>。為了解學習者建構知識的方式及與教學者、同儕間的互動學習過程，本節將針對「自主學習、發現與解決問題、團隊合作與表達溝通」之三項素養導向核心能力，故針對其相關文獻進行探究。



## A. 自主學習

一般而言，翻轉教學的第一步為讓學生在課前預習上課內容，因此自主學習就成了需先探討的重點。在探討翻轉教學中自主學習的促成要件上，國內有相關研究蒐集 39 名大學生在通識閱讀課程中的翻轉教學中，從學生每週所撰寫的反思作業與課程回饋的質性資料中的結果，發現學生事前準備度及上課專注度會影響其學習成效<sup>[12]</sup>。簡言之，優化預習教材使學生在上課前有良好的準備度及專注度對自主學習的學習成效是有影響的。除此之外，也有學者提出推動翻轉教室時，教師應掌握學生主動學習、設計多元課前教材、落實合作評量與回饋，以及運用多元翻轉模式，由教學本位的學習環境改變為學生本位<sup>[13]</sup>。另有學者提出類似的看法，教師需從知識守門人（gatekeeper）的角色，轉化能夠規劃課程的設計師（learning designer）與分析師（analyst）<sup>[14]</sup>。故教師在進行翻轉教室的教學，需考量學生專業程度參差不齊的情況下，引入適合的教學策略或評量方法。

而在物理教學研究上，國外學者曾探討不同教學法融入物理熱力學課程對物理系大學生在自主學習的影響。此研究採不等組前後測的準實驗設計，實驗組共兩組，一組採問題導向（Problem-Based Learning, PBL）教學；另一組採 PBL 搭配講述教學，而對照組則採傳統教學。所有受試者在教學前後均施行自主學習技能之前後測問卷，各組在後測的表現差異分析結果發現，採 PBL 的兩個實驗組表現顯著優於對照組，顯示 PBL 教學有助於學生在自主學習技能的成長<sup>[15]</sup>。此外也有學者為降遠距物理教學的限制，發展了物理獨立學習（The Physics Independent Learning, PIL）教學模式，對大學生進行 15 週的物理電磁學遠距教學實驗，此研究採單組前後測準實驗設計，並依受試學生所處地區及物理電磁學知識分為 6 組，以物理問題解決能力及自主學習能力前後測作為研究工具。研究結果發現所有組別在物理獨立學習模式的教學下，物理問題解決能力及自主學習能力在後測的表現上都有顯著的進步，顯示 PIL 教學模式有助於學生在物理電磁學遠距課程上的學習<sup>[16]</sup>。

## B. 發現與解決問題

本研究在素養導向核心能力所強調的發現與解決問題主要源自 108 課綱中探究與實作的精神。探究與實作也是一種以學生為主體的翻轉教學模式<sup>[17]</sup>。依照十二年國民基本教育自然科學領域課程綱要<sup>[18]</sup>，探究與實作的基本理念為科學源起於人對生活周圍的好奇或需要。亦即，翻轉教學在課程及教材的設計，需考量學習者的學習動機。曾有國內學者將美國 NGSS(Next Generation Science Standards)實作重點與 107 自然領綱草案進行比較，NGSS 實作重點有：

- a. 提出並定義問題；
- b. 建立和使用模型；
- c. 規劃並進行探索；
- d. 分析和解釋數據；
- e. 使用數學和計算的思維、建構說明和設計解答；
- f. 從證據進行論證；
- g. 獲取評價和交流資訊合作學習。

這些重點與 107 自然領綱草案中的發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享、觀察與測量、資料蒐集與分析、歸納與解釋、論證與結論。等重點相似<sup>[19]</sup>。而在相關的大學物理教學研究上，國內將探究與實作精神融入到大學物理通識課程，內容包含運動學、轉動、光學、電學、與磁學、量子物理等 6 大知識面向的 9 個主題實驗課程，並以發現式學習、互動式演示、探究式課程、探究式實驗、假設性探究及實際運用的教學流程來進行運作。研究結果發現，在透過各實驗前後測的比較下，各

實驗的學習成效均有成長；同時學生在學習回饋上，也普遍表示此課程提升了學習物理的動機。而在國外的相關研究則有以物理教育科技模擬（Physics Education Technology Simulations, PhET Simulations）之虛擬實驗平台作為探究式教學的基礎，對物理教育系的學生進行直流電課程的教學實驗。此研究以電路學前後測及教學前後訪談來蒐集研究資料，並依資料分析結果將學生解決問題的類型分成科學（scientific approach）、結構化（structured manner）、非結構化（unstructured manner）、記憶本位（memory-based approach）及無特定（no clear approach）等5種取向。研究結果發現，在教學前有高達85.71%的受試者的學習類型屬為無特定方法取向，其餘的幾乎都為非結構化方法（14.28%）。而在教學後，有25.71%的受試者之學習類型為科學方法，17.71%為結構化方法，28.57%為非結構化方法，5.71%為記憶本位方法，無特定方法的人數則降到22.86%。此研究進一步發現受試者解決問題的類型會影響解決問題的能力，而採科學方法的學生在解決問題的能力表現較佳<sup>[20]</sup>。

### C. 團隊合作與表達溝通

團隊合作與表達溝通的核心精神為合作學習，合作學習強調以學習者為中心，提供學生主動思考、相互討論或小組練習的機會，每位小組成員不僅要對自己的學習負責，也要幫助同組的成員學習<sup>[21]</sup>。依據國內外合作學習相關文獻，理想的合作學習具有以下特色<sup>[22][23][24]</sup>：

- a. 正向互賴關係：小組成員之間建立共同的目標與任務，重視組內同儕之間的互動與互助，形塑榮辱與共、唇齒相依的氛圍；
- b. 強調個別責任：合作學習雖主張組員要彼此協作，但也強調每一位組員都有自學習責任，學生要為各自的學習結果負責，且可透過評量來檢驗；
- c. 成功機會均等：強調每個人與自己競爭，重視自己能不斷地進步，而不和他人一較高下。因此，只要努力，就有公平的成功機會。其多元化方式包括：採計個人進步積分、提供符合不同學生程度的學習材料等；
- d. 加強社會／合作技巧：為了達到團體目標，成員之間必須要能互相信任、清楚表達意見、支持團體中的成員，當衝突發生時，小組可以有效地解決問題，故教師應教導學生合作技巧，讓學生更有效地參與小組學習，提升學習成效；
- e. 常採異質分組：將學生依照其學習能力、性別、社經背景及族群分配到不同的小組中，促使學生尊重差異，並藉由成員的不同能力及背景獲得不同的想法，彼此相互學習及觀摩指導，而達到學習目標。

有關合作學習教學策略對大專學生之學習成效與學習態度的教學研究結果顯示，合作學習教學與傳統教學在大專兒童發展評量與輔導課程上之學習成效測驗的表現有顯著差異，且在學習態度表現顯著優於傳統教學<sup>[25]</sup>。另一研究也發現，分組合作學習有助於學生的課程參與和自主學習、溝通互動與團隊合作，且能改善學生學習意願低落和被動學習的問題；學生在學習動機與態度、同儕互動與合作和課程設計與教學策略等層面皆有所提升<sup>[26]</sup>。

綜觀上述，本研究參考上述文獻及相關研究結果做為規劃本計畫課程之課前預習（自主學習課程內容、小組課前討論，提出對課程內容或課前作業的問題）、課中討論（以探究與實作、分組合作的方式報告課前作業的解答）、課後追蹤（完成課後作業與專題報告，教師定期與學生分組座談，追蹤學生學習的狀況）來探究學生在翻轉教學之學習歷程及成果。

### 3. 研究問題 Research Question

本研究計畫旨在雙軌制的課程模式中，以翻轉教學的理念重新建立大一普通物理課程，並試圖探究學生在專業認知及素養導向核心能力的改變，來驗證期課程運作之可行性。具體而言，本研究的研究問題有二：

- (1) B 軌基礎物理教學模式是否對學生在物理、數學、程式設計的專業認知能力上的表現有影響。
- (2) B 軌基礎物理教學模式是否對學生在自主學習、發現與解決問題、團隊合作與表達溝通素養導向核心能力上的表現有影響。

### 4. 研究設計與方法 Research Methodology

#### (1) 研究設計說明

本研究兼採量化與質性研究取向，量化方面，在 B 軌教學模式，融入自學、問題發現與解決及共學之理論於教學中，使學習不僅侷限在學科專業認知能力上，也包含素養導向核心能力。為評量學生學習成效。同時本研究採用「單組前後測」準實驗設計(如表 2)，以評估此 B 軌教學模式的基礎物理 (一)、(二) 是否達到預期目標。

表 2：「單組前後測」準實驗設計

前測	實驗處理	後測
O1		O7
O2		O8
O3	X	O9
O4		O10
O5		O11
O6		O12

X：基礎物理 B 軌課程

O1, O7: 物理專業認知能力前、後測

O2, O8: 數學專業認知能力前、後測

O3, O9: 程式設計專業認知能力前、後測

O4 O10: 自主學習學素養導向核心能力前、後測

O5, O11: 發現與解決問題素養導向能力前、後測

O6, O12: 團隊合作與表達溝通素養導向能力前、後測

在 B 軌教學模式執行前，會對學生進行物理專業認知能力、數學物理專業認知能力、程式設計專業認知、自學素養導向核心能力、發現與解決問題素養導向能力及團隊合作與表達溝通素養導向能力等評量的前測，以了解學生的先備知識、相關能力與學習態度。再實施 B 軌教學模式。教學後，則進行上述各項評量之後測，以了解學生的學習變化情形，最後以相依樣本 t 檢定考驗前後測平均數之差異顯著性，評估實際教學成效。

質性研究方面，本研究於期末會對學習成就評量結果高、中、低三組的學生，分別立意取樣三人進行訪談，搜集學生對教學的意見，再以內容分析了解學生對教學的回饋。此外，也以課室觀察及教學省思札記，搜集相關資料。

#### (2) 研究步驟說明

本研究的架構、假設、範圍、對象、方法、工具、資料分析、及實施程序如下：

本研究旨在探討基礎物理雙軌課程對學生學習成效的影響，以幫助學生適性揚才的教學理念下，使學生可彈性選擇重視核心素養導向能力的 B 軌教學課程。B 軌教學課程



融入翻轉教學理論，讓學生在課程之前進行課前影片、課前練習、小組討論及助教輔導等活動；在課程之中，再讓學生依課前準備進行重點複習、作業解答、即時回應及科教影片等輔助教學；最後於課程之後，提供課後作業、導師時間及助教輔導來讓學生強化所學。

#### A. 研究架構（如圖 3）

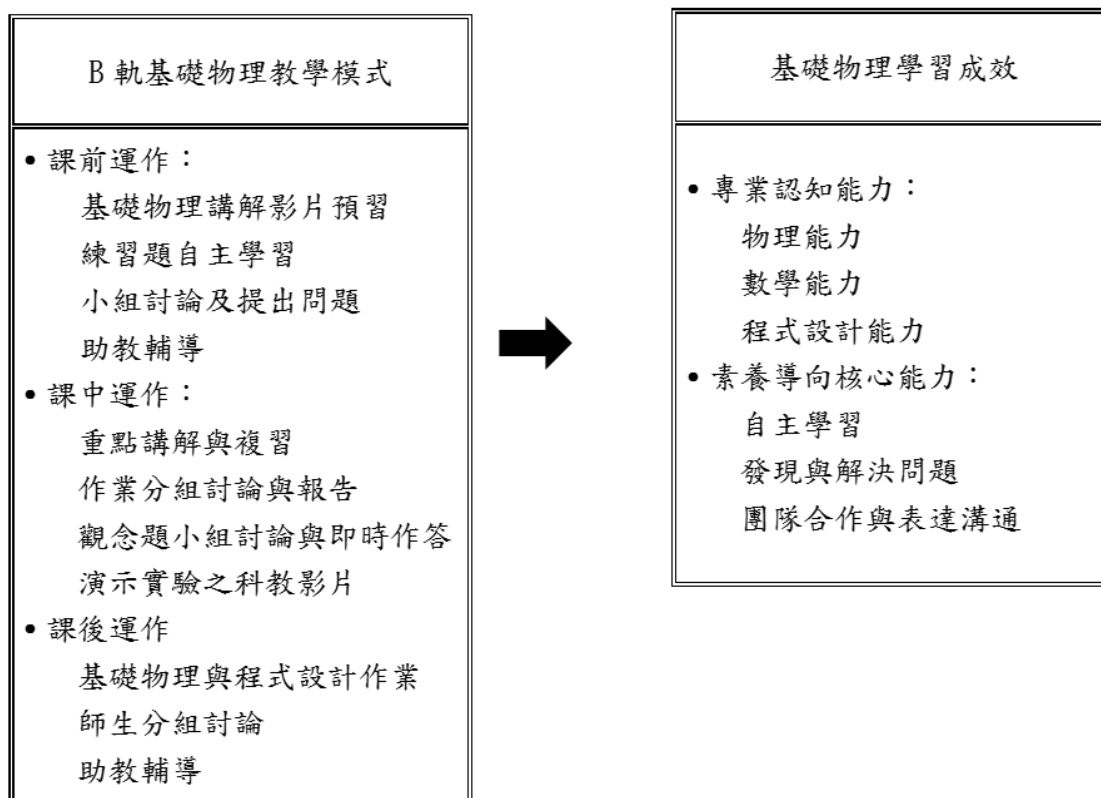


圖 3：本計劃研究架構圖

#### B. 研究假設

依據研究目的及文獻探討，本研究有下列兩項假設：

- B 軌基礎物理教學模式可提升學生的專業認知能力。
- B 軌基礎物理教學模式可促進學生的素養導向核心能力。

#### C. 研究範圍

本計畫以物理系一年級上下學期基礎物理（一）、（二）課程為研究範圍，利用 B 軌基礎物理教學模式，導入翻轉教學、自主學習、合作學習及探究與實作等理論，探討學生在基礎物理專業認知能力及素養導向核心能力的改變，進而做為未來課程內容及教學模式調整之依據

#### D. 研究對象

本計畫以 110 學年度第一、二學期中正大學理物理系一年級修習基礎物理(一)(二)共 24 名學生為研究對象。

#### E. 研究方法及工具

本計畫兼採準實驗設計、訪談、課室觀察，與教師、教學省思札記等方法，探討大一學生在 B 軌基礎物理教學模式之學習成效。研究工具包括：物理專業認知能力測驗、數學專業認

知能力測驗、程式設計專業認知能力測驗、自學素養導向核心能力量表、發現與解決問題素養導向能力量表、團隊合作與表達溝通素養導向能力量表、訪談大綱及課室觀察類目表等八項。上述工具所搜集之資料與分析結果將進行三角檢證，以確保本研究信效度與信實度。

#### F. 資料處理與分析

- (a) 以相依樣本 t 檢定各項評量前後測平均數之差異顯著性。
- (b) 以 Pearson 積差相關分析學生在專業認知能力及素養導向核心能力各分項得分。
- (c) 以內容分析法提取及論述學生訪談內容與教師省思札記之主題與意義。

#### G. 實施程序:

- (a) 課前：建立有效的學前測與學後測，調整教學內容與充實題庫
- (b) 課中：加強小組課前討論的運作，利用導師時間檢視藉由課堂觀察，訪談瞭解學生的學習狀況，執行名種課堂考試
- (c) 課後：實施學後測，分析學生學習狀況

### 5. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

#### (1) 教學過程與成果

##### A. 教學過程

有鑑於網際網路的蓬勃發展，線上教學已是時勢所趨，單向授課的教學模式已漸漸輔以線上學習模式，教師在教室授課的重要功能之一是提昇學生學習的動機，瞭解學生學習的狀況，加深對相關課程的認識，引導學生發掘問題並提升學生解決問題的能力。因此本研究重新設計物理系基礎物理(一)~(二)，把重要的授課內容統整，不再分成普物、數學與進階課程三部分，亦即將物理現象，數學、理論延伸三部分連成一氣，數學現學現賣，著重數學的應用，不談數學的源頭。強化學生程式語言的能力，並以圖示的數值解代替一些抽象數學。課程的運作是以翻轉教室的方式進行，板書的教學內容，完全由教學錄影取代。本課程的修課同學將以三人一組的方式進行合作學習，同學在課前先觀看教學影片，完成課前練習題，並以分組的方式進行課前討論，提出對該週內容的問題。課堂中則以互動討論方式進行，學生分組報告課前作業的解答，並進行探究與實作。如此的課程運作模式，有利於培養學生自學與共學、問題解決、團隊合作與表達溝通等能力。具體而言，本課程的詳細計畫如下：

##### (a) 課前的運作

- 學生要在上課前看完課程錄影（如圖 4），並完成課前練習題。
- 學生在每週上課前完成一次課前小組討論，提出對該週課程的問題，完成討論心得，並上傳 eCourse 2。
- 上課日前一天設有助教時間(18:10-19:00)，對課程內容或課前練習有問題的同學，可以利用此時段問助教。
- 本校於 2019 年開始使用以開源教學系統(Moodle)為核心的教學課程系統 eCourse2，並於 2020 全面應用於所有課程，取代原有教學課程系統。相較於舊系統，eCourse2 的「分組合作」、「多元影片上傳」及「學習追蹤」等功能都可運用於本課程教學教材的呈現與班級經營管理。本人會在課程運作前，會訓練課程助教熟悉 eCourse2 的操作介面，使學生能在學習前充分了解 eCourse2 之重要功能。

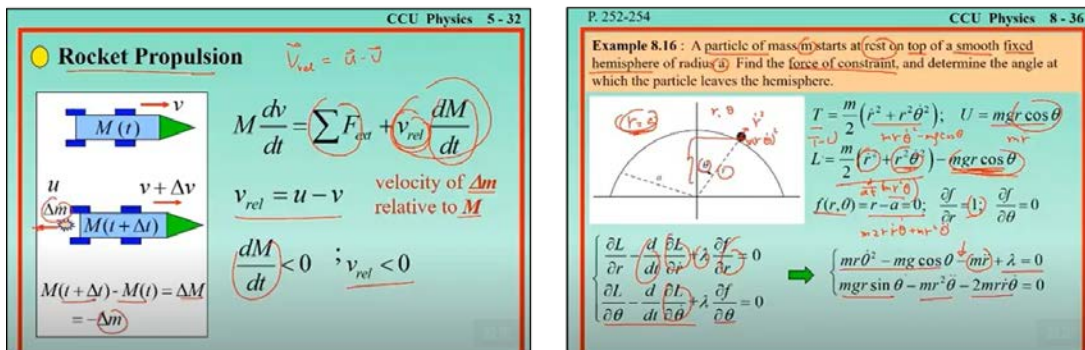


圖 4：課程影片

(b) 課中的運作

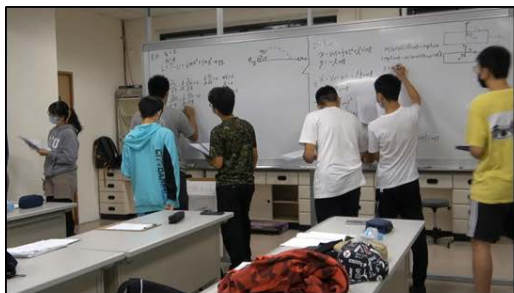
- 教師會先利用 15 分鐘對當天課程的重點複習，接下來是由學生以分組方式報告課前作業的解答，課前作業的內容包括課程中的公式推導與例題的延伸題目。然後是安排一些個人即時回應題目，以瞭解學生學習狀況，以增強同學在相關問題的物理觀念。若有需要，會播放一些網路上的科教實驗影片或電腦模擬短片，以加強學生的物理觀念。
- 每週有一小時的演習課，前半小時為測驗，考題是前兩次的課前作業及課後作業。後半小時則是助教的解題。此外，學生需要利用助教時間把測驗沒有寫對的題目學會。



教師講解題目



教師巡視小組



小組間討論解題



各組代表學生說明解題過

圖 5：B 軌課堂運作

(c) 課後的運作

- 每週有 4 題的課後作業，在下一週的第一次上課日繳交。
- 每週 2 小時的導師時間，安排教師與同學分組座談，瞭解學生的學習狀況。

- 每週 2 次各 1 小時的助教時間，安排在上課日前一天的 18:10-19:00。學生對課程錄影、課前作業或課後作業有疑問時，可利用助教時間發問。
- 基礎物理（一）、（二）每週的教學主題與內容說明（如附件一）：

## B. 研究成果

### (a) B 軌基礎物理課程有助提升學生專業認知能力

為探究 B 軌基礎物理課程對學生「物理、數學及程式設計」之專業認知能力，本研究以相依樣本 t 檢定對實驗組學生這三項能力前後測之平均數進行差異顯著性考驗。結果(表 5)顯示，前後測的平均值達顯著差異，後測均顯著高於前測， $[t(23)=5.11, p<.001]$ ； $[t(23)=5.53, p<.001]$ ； $[t(23)=3.27, p<.001]$ 。亦即學生在教學後，此三能力有明顯的進步，因此普 B 軌基礎物理課程能有效提升學生的專業認知能力。

表 3：專業認知能力相依樣本 t 檢定摘要表(N=24)

項目	$\bar{x}$ (SD)		Df	T	P
	前測	後測			
<b>物理</b> 專業認知能力	9.92 (2.50)	12.08 (2.73)	23	<b>5.11**</b>	0.00
<b>數學</b> 專業認知能力	21.83 (2.62)	24.83 (2.18)	23	<b>5.53**</b>	0.00
<b>程式設計</b> 專業認知能力	6.16 (1.92)	8 (2.12)	23	<b>3.27**</b>	0.00

\*\* $p<.01$

### (b) 教學前後學生素養導向核心能力無顯著差異

為探究 B 軌基礎物理課程對學生「自主學、發現與解決問題、團隊合作與表達溝通」之素養導向核心能力，本研究以相依樣本 t 檢定對實驗組學生這三項能力前後測之平均數進行差異顯著性考驗。結果(表 4)顯示，前後測的平均值均無顯著差異。由於素養導向核心能力為學生自評分數，亦即學生在教學後，三能力的自評分數無明顯差異。

表 4：素養導向核心能力相依樣本 t 檢定摘要表(N=24)

項目	$\bar{x}$ (SD)		Df	T	P
	前測	後測			
<b>自主學習</b> 素養導向核心能力 (題數：20)	4.26 (0.70)	4.01 (0.74)	23	-1.02	.32
<b>發現與解決問題</b> 素養導向核心能力 (題數：20)	3.83 (0.60)	3.63 (0.52)	23	-1.10	.28
<b>團隊合作與表達溝通</b> 素養導向核心能力 (題數：25)	4.61 (0.65)	4.25 (0.65)	23	-2.07	.05

(c) 物理專業認知能力學習成效與自主學習、團隊合作表達溝通有顯著正相關。

以 Pearson 積差相關分析學生在後測上的三項專業認知能力得分與素養導向核心能力的分項得分上，結果(表 5)顯示學生的「物理」專業認知能力與「自主學習-喜愛學習」及「團隊合作與表達溝通-目標設定」有顯著正相關，亦即學生越熱愛學習、越能有效訂定學習任務目標的學生，在物理專業認知能力的表現也較好。

表 5：專業認知能力（後測）與素養導向核心能力（後測）之相關。

項目			1.物理 後測	2.數學 後測	3.程式設計 後測
專業 認知能力	1	物理後測	1		
	2	數學後測	.52**	1	
	3	程式設計後測	.27	.22	1
素養導向 核心能力	4	自主學習總分	.25	.17	.26
	5	發現與解決問題總分	.09	-.14	-.18
	6	團隊合作與表達溝通總分	.30	-.07	-.17
	7	效率學習	.02	.10	.17
自主學習 (分項目)	8	喜愛學習	.44*	.24	.29
	9	學習動機	.2	.06	.24
	10	主動學習	.14	.21	.15
	11	獨立學習	.31	.16	.34
	12	創造學習	.08	.11	.07
	14	其他	.27	.11	.19
	15	正向問題	-.14	-.26	.12
發現與解決 問題 (分項目)	16	理性問題解決風格	.00	-.07	.09
	17	負向問題	.13	.00	-.25
	18	衝動/粗心	.33	.07	-.10
	19	逃避風格	-.09	-.12	-.30
團隊合作與 表達溝通 (分項目)	20	解決衝突	.04	-.23	-.10
	21	合作問題	-.08	-.34	-.01
	22	溝通能力	.31	.09	-.18
	23	目標設定	.43*	.12	-.05
	24	計畫與整合	.28	-.07	-.33

\*\*p<.01

\*p<.05

(d) 自主學習與發現與解決問題有顯著正相關

以 Pearson 積差相關分析學生在素養導向核原能力後測的各分項得分上，結果(表 6)顯示喜愛學習(自主學習)-衝動/粗心(發現與解決問題)有顯著正相關；同時衝動/粗心(發現與解決問題)-計畫與整合(團隊合作與表達溝通)也有顯著正相關。由於衝動/粗心為反向題題組，說明面對問題越細心的學生，在自主學習及團隊合作與表達溝通能力的表現也越好。

表 6：素養導向核心能力（後測）分項目之相關

項目	自主學習 (分項目)							發現與解決問題 (分項目)					團隊合作與表達溝通 (分項目)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	效率學習	喜愛學習	學習動機	主動學習	獨立學習	創造學習	其他	正向問題	理性問題解決風格	負向問題	衝動/粗心	逃避風格	解決衝突	合作問題	溝通能力	目標設定	計畫與整合
1	1																
2	.54**	1															
3	.56**	.61**	1														
4	.69**	.30	.52**	1													
5	.56**	.35	.38	.67**	1												
6	.82**	.47*	.59**	.66**	.52**	1											
7	.67**	.37	.39	.69**	.86**	.55**	1										
8	-.10	-.39	-.03	-.09	.07	-.10	.06	1									
9	-.28	-.21	-.17	-.30	-.12	-.26	-.17	.68**	1								
10	-.01	-.06	.15	.13	.01	.19	.02	.06	-.14	1							
11	-.02	.50*	.17	-.01	-.11	-.01	-.08	-.58**	-.25	.30	1						
12	-.35	-.18	-.20	-.27	-.31	-.27	-.31	.27	.18	.44*	-.07	1					
13	-.22	.08	.18	-.19	-.1	-.03	.04	-.07	.00	-.08	.08	.07	1				
14	-.28	-.17	.06	-.34	-.16	-.16	-.05	.40	.27	.02	-.11	.33	.52**	1			
15	-.02	.04	-.08	.00	-.09	.04	.13	-.40	-.16	.16	.032	-.14	.43*	.05	1		
16	-.10	.14	.00	-.39	-.20	-.11	-.07	-.15	0	-.10	.26	-.04	.48*	.33	.45*	1	
17	.01	.15	-.07	-.20	-.11	-.13	.15	-.34	-.24	-.01	.42*	-.04	.47*	.32	.66**	.77**	1

\*\*p<.01

\*p<.05

## (2) 教師教學反思

本計畫申請人在 2018-2020 基礎物理課程進行期間，不斷修正課程的運作模式，尋找一套有效提升學生學習成效的運作模式。在一學年來的試行經驗下，雖然學生全體均對教學者及助教的教學感到肯定，但仍有表現較不理想的學生。在參考計畫訪談結果及平時與助教、學生的相處，未來申請人將嘗試讓學生有機會換組及跨組的學習，減少部分學生因習慣組員協助而降低自主學習及問題解決的能力。同時，助教表現會使學生期許自己未來也能成為優秀的學長姐。這可能是因為助教的年紀與新生較近，以致學生認為這個目標並不遙遠。所以日後申請人也規劃加強助教的選拔與培養，使學習榜樣對新生的正向影響能夠日益漸增。



### (3) 學生學習回饋

本計畫對所有修習 B 軌普通物理（一）、（二）的學生進行教學訪談，共計 24 名。綜合訪談主要結果發現如下：

- 學生知道 B 軌課程的時間點，多落在開學時的說明會。
- 學生普遍反映課程密度過緊，每星期需要花很多的心力。
- 學生在課中上台講解題目的經驗，能反映在許多課程（如：通識英文）
- 學生普遍對授課教師感到滿意，且能感受教授的用心。
- 學生普遍對助教感到滿意，且會以其做為未來的求學榜樣。
- 下學期新進助教的程度有待加強。
- 學生建議加強翻轉影片的解析度
- 學生建議教室白板筆要適時補充及替換課堂用椅。

## 6. 建議與省思 Recommendations and Reflections

本計畫在一學年的教學運作，雖然提升了一年級新生的專業認知能力，且能有效維持學生的素養導向核心能力，證明了 B 軌課程在一年級階段具有可行性。但申請人未來仍舊希望持續追蹤本計畫參與者的未來的學習歷程，如未來學業成績的表現，研究所的升學狀況及未來就業選擇等，來持續建立 B 軌課程二年級以後的課程，並強化現有的一年級課程。同時，也根據本學期得到的訪談結果，提出下列幾點做為本計畫課程改革的優先事項。

- 加強本系 B 軌課程的宣傳
- 加入學生對於現有課程架構的修改建議
- 優化助教的培訓及選拔機制
- 學期間置換不適合教材

## 二. 參考文獻 References

- [1] 中央大學物理系 (2016) 學制介紹：乙制。國立中央大學物理系刊，1，30-34。
- [2] 伊林,淺談物理：以我們的探索工作為例,2007年12月15日國立中正大學中正講座。
- [3] 伊林,花明柳暗教、學、研，脫困鬼打牆,2013年5月8日國立中正大學院士講座。
- [4] 伊林,做中學、挫中學，課程改革在中大,2017年5月24日國立中正大學院士講座。
- [5] 湯兆崙、黃鼎凱、蔡宜君 (2006)。多媒體促進互動教學-TEAL 普通物理的實施與成效。物理雙月刊，28 (3)，544-553。
- [6] 謝瑞史、湯兆崙 (2008)。TEAL 創意互動教學對學生學習普通物理效果的研究。物理教育學刊，9 (2)，1-9。[7] 陳瑞玲, & 韓德彥. (2015). 沒有教師的一堂課----翻轉教室自主學習效益及其促成要件. 遠東通識學報, 9(2), 1-19。
- [7] 周志偉、陳姚真、甘宏志、梁贊全、包健華 (2010, 12月)。創意互動教學對大學普通物理學習成效影響之研究。第26屆科學教育學術研討會：機會與平權—多元科學教育新趨勢」發表之論文，花蓮縣。
- [8] 陳俞澄、李紋霞 (2015)。台大土木工程學系課程精進改革經驗。杜風，92。
- [9] Newman DL, Skuse GR, Carter D, Pough FH & Wright LK (2013) Lessons learned from the first year implementation of a two-track, reformed introductory biology course. Proceedings of the 2013 NABT Biology Education Research Symposium.
- [10] Bergmann, J., & Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. Eugene, OR: International Society for Technology in Education.
- [11] Moraros, J., Islam, A., Yu, S., Banow, R., & Schindelka, B. (2015). Flipping for success: evaluating the effectiveness of a novel teaching approach in a graduate level setting. BMC medical education, 15(1), 27.
- [12] 陳瑞玲, & 韓德彥. (2015). 沒有教師的一堂課----翻轉教室自主學習效益及其促成要件. 遠東通識學報, 9(2), 1-19。
- [13] 黃政傑 (2016)。落實翻轉教室的核心理念。教育研究月刊，261，5-17。
- [14] Mazur, E. (2011). Memorizing or understanding: Are we teaching the right thing? Retrieved From <https://www.queensu.ca/ctl/teaching-support/instructional-strategies/memorizing-or-understanding-are-we-teaching-right-thing>.
- [15] Aziz, M. S., Zain, A. N. M., Samsudin, M. A. B., & Saleh, S. B. (2014). The effects of problem-based learning on self-directed learning skills among physics undergraduates. International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development, 3(1), 126-137.
- [16] Pandiangan, P., Sanjaya, G., & Jatmiko, B. (2017). The validity and effectiveness of physics independent learning model to improve physics problem solving and self-directed learning skills of students in open and distance education systems. Journal of Baltic Science Education, 16(5), 651.
- [17] 邱惠玲 (2017)。試誤學習：師生的課堂挑戰。科學研習月刊，56{6}，22-27。
- [18] 教育部 (2018)。十二年國民基本教育自然科學領域課程綱要。臺北：教育部。
- [19] 張仁壽. (2016). 教師如何因應「探究與實作」課程—以美國推動 NGSS 實作為例. 物理教育學刊, 17(1), 56-58。
- [20] Yuliati, L., Riantoni, C., & Mufti, N. (2018). Problem solving skills on direct current electricity through inquiry-based learning with PhET simulations. International Journal of Instruction, 11(4), 123-138.
- [21] 張新仁, 黃永和, & 汪履維. 王金國與林美惠 (2015). 分組合作學習百寶箱. 臺北市: 教育部國民及前教育署。
- [22] 王金國 (2009)。合作學習中之成員地位、參與機會問題及其解決之道。教育研究月刊，177，78-82。
- [23] 張新仁、黃永和、汪履維、王金國、林美惠 (2013)。分組合作學習教學手冊。臺北：教育部國民及學前教育署。
- [24] Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (1999) .Make cooperative learning. Theory Into Practice.38

(2) ,67-74.

- [25] 汪慧玲、沈佳生 (2013)。合作學習教學策略對大專學生之學習成效與學習態度之影響：以兒童發展評量與輔導課程某單元為例。臺中教育大學學報：教育類，27(1)，57-76。
- [26] 張媛甯。(2020)。運用分組合作學習教學法在大學課程之教學實踐研究。大學教學實務與研究學刊，4(1)，35-75。

### 三. 附件 Appendix (請勿超過 10 頁)

附件一：基礎物理 (一)、(二) 各週教學主題與內容說明：

課程名稱	基礎物理(一)
<b>第一週：運動學(I)、(II)</b> 主要內容：線性變加速運動，簡易微積分。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 2-3)	
<b>第二週：運動學(III)、牛頓力學(I)</b> 主要內容：二維運動、相對運動，向量的加減、牛頓三大定理及其應用。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 4-5)	
<b>第三週：牛頓力學(II)、功與能</b> 主要內容：摩擦力、圓周運動、作功與位能、機械能守恆定理的推導與應用、向量點乘與路徑積分。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 5, 7, 8)	
<b>第四週：線動量守恆、剛體轉動(I)</b> 主要內容：質量中心的定義與計算、線動量守恆定理的推導與應用、剛體轉動運動學，轉動慣量的定義與計算。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 9, 10)	
<b>第五週：剛體轉動(II)、角動量守恆</b> 主要內容：力矩與剛體動力學、向量叉乘(cross product)的定義與計算、角動量守恆定理的證明與應用。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 10, 11)	
<b>第六週：第一單元總複習、期中考(一)</b> 主要內容：複習第一週第五週的內容。 考試內容是第一週第五週的內容。	
<b>第七週：振盪(I)、(II)</b> 主要內容：簡諧振盪、一元二次微分方程的求解、阻尼與週期性外力的效應。 閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 14) Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 3)	
<b>第八週：振盪(III)、Lagrangian 動力學(I)</b> 主要內容：週期性外力下的振盪、傅立葉級數；多變數微分、分部積分、變分法、Euler 方程的證明與應用。 閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 3, 6)	
<b>第九週：Lagrangian 動力學(II)、(III)</b> 主要內容：Hamilton 原理、廣義座標、球座標與圓柱座標的簡介、Lagrangian 運動方程的證明與應用；廣義座標間存在規範方程(constraint equation)時的 Euler 方程的證明與應用、規範力(force of constraint)。	

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 7)

**第十週：Lagrangian 動力學(IV)、Hamiltonian 動力學**

主要內容：從對稱性談機械能守恆定理、線動量守恆定理與角動量守恆定理；Hamiltonian 運動方程的證明與應用。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 7)

**第十一週：第二單元總複習、期中考(二)**

主要內容：複習第 7-10 週的內容。

考試內容是第 1-5 週與第 7-10 週的內容。

**第十二週：非慣性座標系的運動學、剛體動力學(I)**

主要內容：非慣性座標系運動學、座標轉換、向量與張量在座標轉換下的轉換。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 11)

**第十三週：剛體動力學(II)、(III)**

主要內容：向量的微分、轉動張量與動能及角動量的關係、剛體的轉動張量主軸的定義與計算、轉動張量的平行軸定理之證明及應用。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 11)

**第十四週：剛體動力學(IV)、(V)**

主要內容：在剛體轉動中使用的線性代數知識，對稱矩陣的徵值與本徵向量特性，描述剛體轉動狀態的 Eulerian Angle 定義與計算，固定點的對稱陀螺運動。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 11)

**第十五週：剛體動力學(VI)、耦合振盪(I)**

主要內容：對稱剛體在沒有外力下的運動，地球之進動，剛體轉動的穩定性。耦合振盪的運動方程與振盪簡正模的推導。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 11, 12)

**第十六週：耦合振盪(II)、(III)**

主要內容：耦合振盪的運動方程與振盪簡正模的應用。

閱讀教材：Classical Dynamics of Particles and Systems (chapter 12)

**第十七週：第三單元總複習、期末考**

主要內容：複習第 12-16 週的內容。

考試內容是第 7-10 週與第 12-16 週的內容。

教科書及  
參考書

1. Physics for Scientists and Engineers by Kewett/Serway
2. Classical Dynamics of Particles and Systems, by Marion Thornton
3. David Goodstein 科學的足跡，視訊教學密集物理課程；百禾文化股份有限公司
4. Walter H. G. Lewin, MIT OpenCourseWare :  
MIT 8.01 Physics I: Classical Mechanics - Fall 1999

課程名稱	基礎物理(二)
<p><b>第一週：電學(I)、(II)</b>            主要內容：庫倫定理之積分形式的推導與應用，純量場與向量場，電力線，通量的定義與計算。            閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 21, 22)            Introduction to Electrodynamics (chapter 2)</p>	
<p><b>第二週：電學(III)、(IV)</b>            主要內容：高斯定理積分形式推導與應用、電位定義及其計算，導體的電場與電位。            閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 22, 23)            Introduction to Electrodynamics (chapter 2)</p>	
<p><b>第三週：電學(V)、(VI)</b>            主要內容：電容的定義與計算，電容的並聯與串聯，電位能與電場的場能密度，從電位算電場，泰勒級數的證明與應用，多偶極展開，電偶極與外場的作用。            閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 24)            Introduction to Electrodynamics (chapter 2)</p>	
<p><b>第四週：向量分析(I)、(II)</b>            主要內容：向量的加減，純量積與向量積，向量的微分與積分，梯度、散度與旋度的定義，Stokes 定理與 Divergence 定理的證明與應用。            閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 1)</p>	
<p><b>第五週：向量分析(III)、(IV)</b>            主要內容：球座標與圓柱座標的介紹，線積分，面積分與體積分的練習，梯度、散度與旋度在球座標與圓柱座標的描述。            閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 1)</p>	
<p><b>第六週：第一單元總複習、期中考(一)</b>            考試內容是第一週第五週的內容。</p>	
<p><b>第七週：材料中的電學、磁學(I)</b>            主要內容：極化率，電介質材料中的電場，極化材料的產生的電場，束縛電荷，電介質常數，電感應強度(D)。電池、電流與電阻，磁鐵與磁場，帶電流的導線在磁場下的受力。            閱讀教材：Physics for Scientists and Engineers (chapter 14)            Introduction to Electrodynamics (chapter 4, 5)</p>	
<p><b>第八週：磁學(II)、(III)</b>            主要內容：運動電荷在磁場下的受力(Lorentz force)及應用，Boit-Savart 定理及其應用，Delta function 的定義與應用，磁場的散度與旋度。            閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 5)</p>	



**第九週：磁學(IV)、(V)**

主要內容：安培定理的證明與應用，磁場向量位的定義與計算，向量位的多偶極展開。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 5)

**第十週：材料中的磁場(I)、(II)**

主要內容：磁性材料的分類，磁化率(M)，磁性材料中的磁場，磁化材料產生的磁場，束縛電流，磁導率 ( $\mu$ )，輔助磁場 (auxiliary magnetic field H)，磁化率 (magnetic susceptibility)。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 5, 6)

**第十一週：第二單元總複習、期中考(二)**

考試內容是第 1-5 週與第 7-10 週的內容。

**第十二週：電動力學(I)、(II)**

主要內容：法拉第定理及其應用，渦電流及其應用，電感的定義與計算。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 7)

**第十三週：電動力學(III)、(IV)**

主要內容：電阻的串聯與並聯，克希何夫電路定律，RC、RL 與 RLC 直流電路，利用 Phase-diagram 的方法計算 RLC 交流電路。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 7)

**第十四週：電動力學(V)、(VI)**

主要內容：磁場的場能密度，馬克士威對安培定理的修正，計算變化的電場的產生的磁場，馬克士威方程。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 7)

**第十五週：電荷與能量、電磁波(I)**

主要內容：電荷守恆定理，Poynting 向量(能量通量密度)，能量守恆定理。波動的特性，前進波的表示方式，波動方程的定義及其解的特性，簡諧前進波的特性，波的反射與穿透。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 8, 9)

**第十六週：電磁波(II)、(III)**

主要內容：複數的介紹，簡諧前進波的複數表示法，在真空下馬克士威方程證明電磁場滿足波動方程式，光的動量與光壓，電磁波的偏極化，電磁波與大氣粒子的散射。

閱讀教材：Introduction to Electrodynamics (chapter 9)

**第十七週：第三單元總複習、期末考**

考試內容是第 7-10 週與第 12-16 週的內容。

教科書及參考書	1. Physics for Scientists and Engineers by Kewett/Serway 2. Introduction to Electrodynamics by David J. Griffiths 3. David Goodstein 科學的足跡，視訊教學密集物理課程;百禾文化
---------	--

	股份有限公司
--	--------

	4. Walter H. G. Lewin, MIT OpenCourseWare :
--	---

	MIT 8.02 Physics II: Electricity and Magnetism - Spring 2002
--	---