

【附件三】教育部教學實踐研究計畫成果報告格式(系統端上傳 PDF 檔)

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：PMS1090166

學門專案分類/Division：數理組

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

無機化學教學革新—實作展演與翻轉學習

Promoting Active Learning in Inorganic Chemistry through
Topic-based Demonstration and Flip Learning Approaches

無機化學(一)、(二)/Inorganic Chemistry (I) and (II)

計畫主持人(Principal Investigator)：于淑君副教授

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立中正大學化學暨生物化學系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2023 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2021 年 9 月 17 日

無機化學教學革新—實作展演與翻轉學習

Promoting Active Learning in Inorganic Chemistry through Topic-based Demonstration and Flip Learning Approaches

一. 報告內文

1. 研究動機與目的

《無機化學》是化學領域四大學門之一，國內外各大學化學科系的專業必修課從大一的《普通化學》(含實驗)、大二的《有機化學》(含實驗)與《分析化學》(含實驗)、到大三的《物理化學》(含實驗)與《無機化學》，課程規劃循序進階，為大學化學科系學生培養完整的基礎化學學科知識。無機化學內容包羅萬象，如果以週期表中的元素來定義，有機化學大致可說是探討碳、氫化合物及其衍生物的化學，而無機化學則可以廣義地解釋為研究週期表中碳、氫元素以外所有剩餘元素的化學，學生除了要學習各元素的性質、化合物的結構特徵、光譜學分析方法、反應方程式、化學反應原理、反應機構，還要學習一些例外的反應等。無機化學也是跨接多重學門的重要橋梁，與有機化學、生物化學、材料科技、藥物化學、觸媒化學、有機金屬化學、環境化學、生技醫學等學科有非常直接且重要的關連與應用。但由於學習過程需要理解與大量記憶，但為什麼難學呢？因為內容比較多雜，又涉及到較高深的原理，在高中階段一般是用特例形式來展現，學生對於無機這一門實驗科學多半只能強行背誦，到了大學則需要運用邏輯來學習。然而化學四大領域核心專業課目當中，《無機化學》卻是唯一不包含實驗課程的必修課，且僅有六學分數，是全系專業必修課程中授課學分數最少的一個學門課程(表一)，當學生在學習困難度較高的化學專業知識與原理時，反而沒有實驗機會讓學生能透過實作來印證化學原理，造成學生普遍的學習成效都不理想。

表一、國立中正大學化學暨生物化學系第四大學門專業必修課程及學分數

	上學期課程/學分數		下學期課程/學分數	
大一	普通化學(一)/3	普化實驗(一)/1	普通化學(二)/3	普化實驗(二)/1
大二	有機化學(一)/4 分析化學(一)/3	有機實驗(一)/1 分析實驗(一)/2	有機化學(二)/4 分析化學(二)/3 物理化學(一)/3	有機實驗(二)/1 分析實驗(二)/2
大三	無機化學(一)/3 物理化學(二)/3	物化實驗(一)/2	無機化學(二)/3 物理化學(三)/3	物化實驗(二)/2

本教學實踐研究方案是以本校化學暨生物化學系修習《無機化學》課程的大三學生為研究對象，在既有的傳統課堂講述教學模式下，研究開發創新教學方法，增加單元主題實作展演及開發化學反應與原理數位教材，以及數位學習評量系統，希望透過主題式翻轉教學及單元實驗演示的創新教學方式，改善傳統講授教學模式不易維持學生專注力及難以培養學生自動探究精神的缺點，以互動式的教學模式激發學生學習動機與興趣，培養主動學習能力，進而提升學習成效，讓學生翻轉看待《無機化學》是無趣、艱深又可怕的必修課程的刻板印象。

2. 文獻探討(Literature Review)

過去十多年來為配合教育部高等教育教學改進及教學卓越政策，國內多所大專院校針對基礎化學及實驗課程實施教學改進計畫，其中有許多是著重於改善硬體教學設備，有部分是錄製教學影片³(如台灣大學開放式課程)，有部分是提供國外大學教學影片連結(如台大化學系普化暨普化實驗課程網站)，也有試行翻轉模式教學者⁴⁻⁵(佘瑞琳，2016；翁榮源，2017)，但很少見到針對無機化學核心專業課程提供教學精進以及學生學習評量之研究探討。而國外則可以發現有部分研究報告探討無機化學課程的教學革新，⁶⁻¹²以及開放式課程，如 MIT OpenCourseWare，¹³或教學共備社群，如 IONiC/VIPeR，¹⁴⁻¹⁵提供相關教學資訊。雖然這些創新教學法在各實施單位都發揮各種程度的成效，但是因為受到各地區不同的教學環境、設備、教師編制以及學生修課人數等現實因素限制，很難發揮因地制宜的全面適用性，而增加在複製成功案例的困難度。

而隨著教育理論與教育實踐研究的發展，"翻轉教室"成為教學改革的創新典範。這種教學模式使教與學習的主動性互換，讓學生成為教室的主體，以激發學生的學習興趣，有利於培養學生自學能力和合作精神，也可做為提供評量學生理解與認知能力的機制(Brooks & Brooks, 1999；Stahl, 2012)¹⁶⁻¹⁷，因而受到許多教育工作者的推崇，Brooks 與 Brooks (1999)¹⁶認為，翻轉教室有別於傳統教學方式屬於「建構式」教學法，學生在課堂上的學習不再只是被動地接受訊息，而是主動思考與學習，同時藉由與同學合作共同建構發展所學知識。Stahl (2012)¹⁷以及 Jarvela, Volet, 與 Jarvenoja (2010)¹⁸都指出若能強化學生彼此的合作學習 (cooperative learning) 與協作任務 (collaborative tasks) 便可增進其學習動機與認知能力。

臺灣則是從 2015 年開始，由中山女高張輝誠老師與臺灣大學的葉丙成教授率先投入翻轉教室的教學研究，並獲得國內教育界非常大的迴響，因而掀起教與學的翻轉熱潮，到處都有新學校與新教師投入翻轉教室的行列。

本人曾執行 107 年度教學實踐研究計畫案「實作展演與數位翻轉—基礎化學暨實驗教學革新」，也是以演示教學為主，翻轉教室教學為輔，進行普通化學課程及實驗的創新教學研究，並於計畫執行期間開發製作多種類型的數位及影音教材，並建構課程網站以方便學生遠距學習並提供教材瀏覽下載，同時以臉書社群輔助教學，提供開放式教與學雙方及時討論的互動平台，讓教育資源更為充份利用。

本教學實踐研究計畫則是以化學系三學生專業核心課程《無機化學》進行研發設計創新教學方案，在搭配傳統講述教學模式下搭配單元主題實作展演，並自製化學反應與原理影片配合課程進度作式示範教學演示，以 Google 表單為平台建構數位學習評量系統，配合翻轉教室教學模式激發學生學習動機與興趣，培養主動學習能力，進而提升學習成效。

3. 研究問題(Research Question)

無機化學課程包含各化學學門基礎知識，但因授課學分數少(6 學分)，學生學習困難度較大。盤點課程內容如下：

- Atomic Structure (量子化學)
- Simple Bonding Theory (物理化學)
- Symmetry and Group Theory (物理化學)
- Molecular Orbitals (物理化學)
- Acid-Base and Donor-Acceptor Chemistry
- The Crystalline Solid State
- Chemistry of the Main Group Elements
- Coordination Chemistry: Structures and Isomers, Bonding and Electronic Spectra, Reactions and Mechanisms (物理化學)
- Organometallic Chemistry, Reactions and Catalysis (有機化學)

4. 研究設計與方法(Research Methodology)

教學方法：將無機化學課程內容分為傳統課堂及演示教學兩種教學模式，開發適合作為演示教學的單元教材以翻轉學習方式呈現。本計畫將針對學生在兩種教學模式下的學習成效進行比較探討，並於學期當中設定幾個查核點分析學生學習表現與適應狀況，並採滾動式修正方式進行課程設計和教學方法的調整。教學方式包含課堂授課、實作展演(配合實驗與理論)、分組討論(實作演示課程教學內容)、口頭報告(實作演示課程

教學內容)，教學評量與學生回饋調查評量。

★傳統課堂教學方式與評量

課堂授課/課後指定作業/課後單元小考

★演示教學方式與評量

上課前提供演示教材供學生事先分組閱讀/進教室後先線上前測(Google 考題)/開始演示教學/學生分組討論/線上後測(Google 考題)

演示教學單元：

- 分子模型教學、ChemDraw 繪圖軟體教學
- Spartan 程式教學：無機分子結構、性質模擬及光譜計算
- 金屬離子焰色反應：Flame Tests
- 吸收光譜原理及操作示範
- 金屬錯合物沉澱：Precipitates and Complexes of Copper(II)
- 氧化還原反應：Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide
- 配位化合物：Chloro Complexes of Cobalt(II)
- 無機物構型展示
- 學習成果口頭報告(學生自訂主題)與學生實作能力操作考試

★傳統課堂授課教學意見及學生回饋調查

★演示單元教學意見及學生回饋調查

成績考核方式：

傳統課堂講授及翻轉教學兩種類型單元計分，評量方式方式如下：

- 傳統課堂教學(25%)：課後指定作業(10%)+課後小考(15%)
- 演示教學單元(25%)：前測(10%)+後測(15%)
- 期中考期末考(50%)：期中與期末考各佔 25%

學習成效評量工具：

- 傳統課堂教學：作業、小考及期中期末考試成績。
- 演示教學單元：線上前測與後測、分組討論口頭報告。
- 演示教學單元學習滿意度問卷調查(個人)
- 學生學習心得回饋單(分組)



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

本學年修習無機化學課程學生包含從大二到大四學生，以及延畢學生，分布情形如表二。學生針對每一教學演示單元的喜好及學習表現可由前後測成績(表三)，及課堂出席率(表四)得知。

表二、國立中正大學化學暨生物化學系無機化學修課人數

109-1 學期無機化學(一)	109-2 學期無機化學(二)
大二： <u> 1 </u> 人	大二： <u> 0 </u> 人
大三： <u> 47 </u> 人	大三： <u> 47 </u> 人
大四： <u> 4 </u> 人	大四： <u> 6 </u> 人
延畢： <u> 4 </u> 人	延畢： <u> 1 </u> 人

表三、教學演示單元前後測成績

◆ 評 量 方 式 ◆		
演示及課程講座單元	前 測	後 測
氣球與VSEPR模型	56	78
魔術方塊與無機分子構型	41	71
金屬離子顏色與UV吸收光譜	43	75
Spartan 分子模擬模— 無機分子構型與能量計算	47	81
Spartan 分子模擬模— 無機分子點群與 IR 光譜	51	83
Spartan 分子模擬模— 無機分子 MO 與 UV 光譜	48	77

表四、無機化學全學年課程學生學習成效

年級	講者	出席率 ^a	上課氣氛	專注力	學習成效
演示單元 (109.09.30) (109.11.11)	計畫主持人 于淑君 課程助教	96% 96%	熱絡	高	佳 ^{b,c}
軟體操作 (110.01.04)	外聘助教	96%	熱絡	高	佳 ^{b,c}
課程講座 (110.01.04) (110.02.24)	胡維平教授	96% 98%	熱絡	高	佳 ^{b,c,d}
傳統講課 (109-1平均) (109-2平均)	于淑君	96% 97%	良好	良好	尚可 ^{e,f}

^a出席率：(學生出席人數)÷(修課人數)×100%，109-1有2位延畢生從不出席，109-2有1位延畢生從不出席。

學習成效評量：^b線上表單：學習評量前後測、教學問卷；^c手寫表單：學習心得回饋；^d線上作業。^e筆試：小考、期中考、期末考；^f課堂口試。

(1) 教學過程與成果

實作展演配合傳統教學單元

- 魔術方塊與無機分子構型 vs Structure
- 氣球與鍵結理論模型 vs Bonding Theory
- 金屬離子顏色與吸收光譜 vs UV Spectra
- UV-vis 光譜實測 vs T-S Diagram & UV Spectra
- ChemDraw 化學繪圖教學
- Spartan 分子模擬軟體教學
- Spartan 分子結構與能量計算 vs Symmetry & Group Theory
- Spartan 分子軌域計算 vs MO Theory
- Spartan 分子光譜計算 vs IR & UV Spectra

教材內容

- 演示單元教材：[link](#)
- Spartan 分子模擬教材：[link](#)
- 氣球與 VSEPR 模型(109.09.30)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)
- 魔術方塊與分子構型(109.09.30)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)
- 金屬離子顏色與吸收光譜(109.11.11)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)
- UV-vis 金屬錯合物實測(109.11.11)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)
- Spartan 軟體下載教學(110.01.04)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)

- Spartan 無機分子模型建構(110.01.04)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)
- Spartan 無機分子光譜計算(110.02.24)：[相簿](#) [短影片](#) [長影片](#)

評量方式

- 課堂筆試：小考、期中考、期末考及作業
- 無機教學實踐研究計畫教學意見調查(個人)
無機課程教學實踐研究問卷：[link](#)
無機課程教學實踐研究問卷回饋分析：[link](#)
- 無機教學實踐研究計畫學習心得回饋(分組)
無機化學課程心得回饋單：[link](#)
無機化學課程學生心得回饋掃描檔：[link](#)
- 線上學習評量(Google 表單)前、後測(個人)
氣球與 VSEPR 模型前、後測：[pdf](#)、[前測](#)、[後測](#)
魔術方塊與分子構型前、後測：[pdf](#)、[前測](#)、[後測](#)
金屬離子顏色與 UV 光譜前、後測：[pdf](#)、[前測](#)、[後測](#)
Spartan 分子模擬模(I)(II)(III) 前、後測：[pdf](#)
(I)：[前測](#)、[後測](#) (II)：[前測](#)、[後測](#) (III)：[前測](#)、[後測](#)

(2) 教師教學反思

新增主題實作展演單元及課程講座受到學生喜愛與歡迎，有助提升學生出席率，讓學生在演示單元時自由分組討論可以增加課堂熱絡氣氛，提升學生學習興致與專注力。而從各項評量結果的確看到初步正向的結果，但在教學實務面上仍面臨一些問題：

- 一. 因應學生未來考研究所，有教學進度壓力。
- 二. 傳統課堂講授單元的學習成效無顯著改變。
- 三. 重修與延畢學生較缺乏參與感與學習動力。
- 四. 如何全面提升學生對所有課程單元的學習動力與成效還有待在創新教學方法與豐富教學內容方面持續做開發。

(3) 學生學習回饋

- 演示教學單元教學前後學習滿意度問卷調查，每位學生以無記名方式在線上填

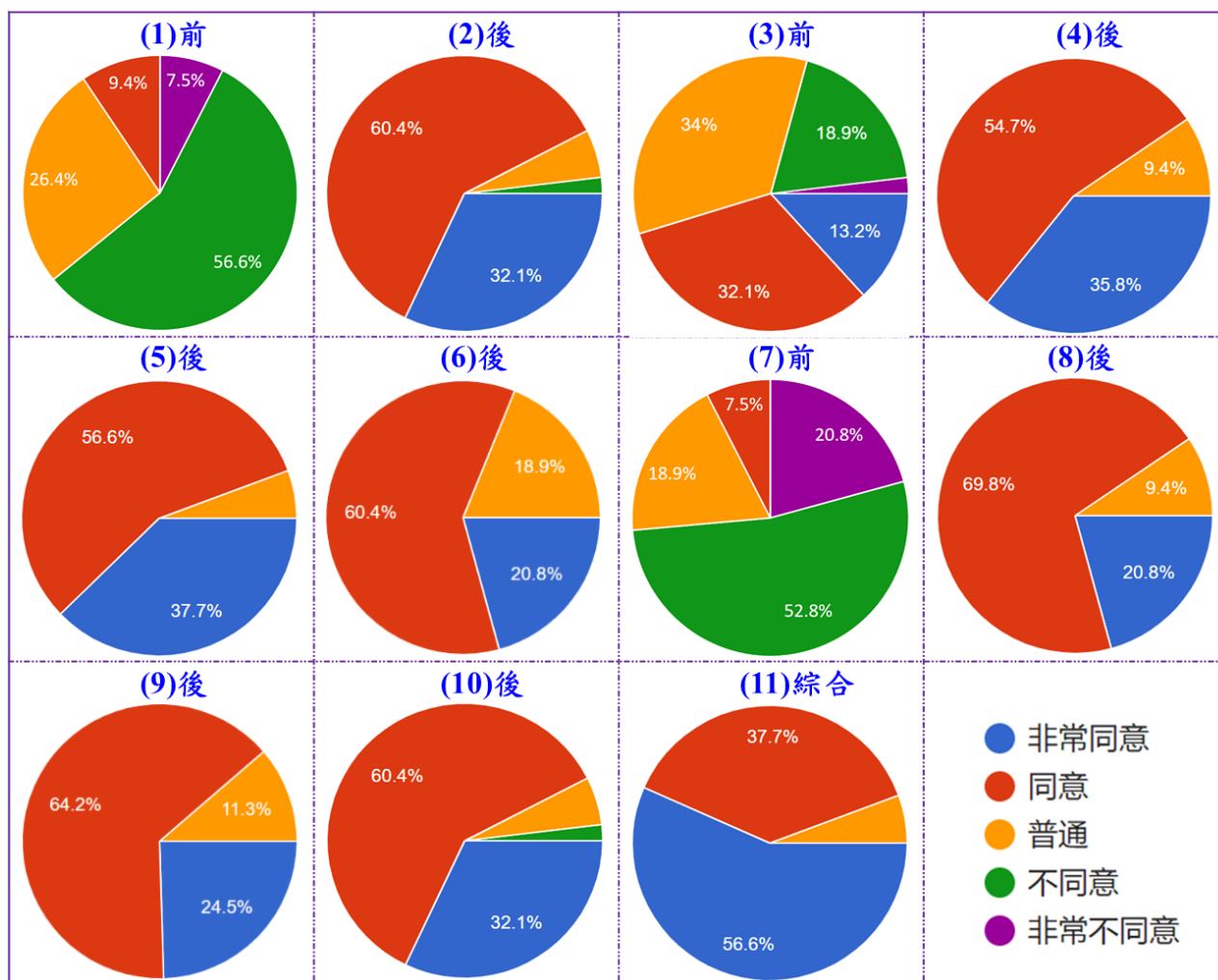
答，問卷題目如下：

國立中正大學化學暨生物化學系
109 學年度無機化學課程教學實踐研究課後問卷
2021.05.25

授課教師：于淑君 副教授
課程講座：胡維平 教授

課程助教：吳盈勳、盧昱璋
施偉倫、韓克謙

1. 在參與演示教學之前，對於原子混成軌域(hybridized orbitals)、價層電子對互斥理論(VSEPR)以及分子鍵結等性質並已有整體性的概念
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
2. 在觀看完氣球代替電子對的演示教學之後，對於原子混成軌域與分子立體構型之間的關聯性有更清楚的認識。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
3. 在參與演示教學之前，對於可見光譜儀、化合物的顏色等性質是已有充分的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
4. 在觀看完以紫外光-可見光譜儀偵測過錳酸根離子逐步還原反應的演示教學之後，對於吸收光譜及電子躍遷與呈色等性質有更清楚的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
5. 在觀看完過錳酸根離子還原反應的演示教學之後，對於可見光的吸收與分子顏色的互補性質有更深層的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
6. 在觀看完過錳酸根離子還原反應的演示教學之後，對於過渡金屬錯合物的繽紛色彩與其中心金屬 d 軌域電子躍遷的性質有更進一步的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
7. 在參與 Spartan 分子模擬演示教學之前，對於金屬錯合物的結構與其紅外線圖譜分析，以及建構分子軌域(Molecular Orbital)與判斷其點群(Point Group)覺得學習困難度並不高。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
8. 在觀看完 spartan 分子模擬演示教學之後，對於金屬錯合物可能存在的多樣性結構是有進一步的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
9. 在觀看完 spartan 分子模擬演示教學之後，對於金屬錯合物的紅外線圖譜與紫外線圖譜的預測與分析能夠更加了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
10. 在觀看完 spartan 分子模擬演示教學之後，對於分子軌域與結構對稱性及點群有更進一步的了解。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意
11. 你是否認同傳統口述課堂講授的教學方式若能再搭配演示教學可以使抽象、複雜的教學內容變得直觀、易於理解而大幅提升學習興趣與學習成效。
非常同意 同意 普通 不同意 非常不同意



圖一、109 學年度無機化學演示教學單元問卷調查分析結果

- 學生學習心得及意見分組回饋單(無記名，每一組填答一份)

109 學年度無機化學課程學習心得回饋單

說明：為了持續提升教學品質，因此我們期盼您能撥空填寫對此課程之意見。此回饋單採不記名方式回答，感謝您的合作與協助。

授課教師：于淑君 副教授
課程講座：胡維平 教授

課程助教：吳盈勳、盧昱瑋
施律倫、韓克謙

一、課程內容安排

1. 在上學期的課程中，使用氣球作為輔助道具以模擬原子軌域，和課程中那些單元有關，對於學習上有何幫助?

2. 在上學期的課程中，使用 spartan 軟體作為教學輔助工具，和課程中那些單元有關，對於學習上有何幫助?

3. 在教授使用 spartan 軟體期間，特別邀請了系上胡維平老師向同學講解進階操作，對於學習 spartan 及應用於無機課程上有何幫助?

4. 在上學期的實驗演示中，使用過錳酸鉀及葡萄糖的氧化還原反應，可明顯以肉眼觀察其顏色變化，並以 UV-vis 和特色實驗室(102 教室)的設備作為輔助，可輕易看到其吸收峰變化及儀器操作過程，此實驗和課程中那些單元有關，對於學習有何幫助?

5. 在下學期的課程中，使用了分子模型作為輔助，和課程中那些單元有關，對於學習此單元上有何幫助?

二、其他具體評語與建議：

學生學習心得及意見分組回饋單(因篇幅關係，僅提供一份，其餘可參見連結：

https://www.chem.ccu.edu.tw/~joyce/inorganic_chemistry/Feedback/無機化學課程學生心得回饋掃描檔.pdf

109 學年度無機化學課程心得回饋單

說明：為了持續提升教學品質，因此我們期盼您能撥空填寫對此課程之意見。此回饋單採不記名方式回答，感謝您的合作與協助。

一、課程內容安排

在上學期的課程中，使用氣球作為輔助道具以模擬原子軌域，和課程中那些單元有關，對於學習上有何幫助？

原子軌域一直以來都沒有在課本上看到，但只能用死記硬背的材質將原子軌域形狀記下來，不過上完無機課看到老師用氣球來模擬原子軌域的形狀，之後回去再複習這部份的內容時，腦海中自然有上課時的畫面

在上學期的課程中，使用 spartan 軟體作為教學輔助工具，和課程中那些單元有關，對於學習上有何幫助？

利用 spartan 軟體可以繪製分子形狀，了解分子的鍵長、鍵角，還有振動模式，讓我們的知識不只侷限於課本上的圖片和數值，而是透過電腦運算的模擬狀況，我覺得對於學基礎科學的學生來說幫助蠻大

在教授使用 spartan 軟體期間，特別邀請了系上胡維平老師向同學講解進階操作，對於學習 spartan 及應用於無機課程上有何幫助？

用 spartan 軟體來繪製分子結構可以有助於判斷分子的 point group，並對分子間的鍵長和鍵角有個大概數值的瞭解，也可以瞭解分子間 vibration 的 IR 光譜的關係，和課本所學的知識做相互印證。

在上學期的實驗演示中，使用了過錳酸鉀及葡萄糖的氧化還原反應，可明顯以肉眼觀察其顏色變化，並以 UV-vis 和特色實驗室(102 教室)的設備作為輔助，可輕易看到其吸收峰變化及儀器操作過程，此實驗和課程中那些單元有關，對於學習有何幫助？

過錳酸鉀和葡萄糖的氧化還原反應，透過 UV-vis 來解釋為何此反應的光譜圖上有 peak 的原因，這是有關於下學期的電子躍遷的部份，透過實驗演練來事先學習之後課程的概念，我覺得對於之後學生在學這部分時能有更快的吸收能力。

在下學期的課程中，使用了分子模型作為輔助，和課程中那些單元有關，對於學習此單元上有何幫助？

使用分子模型作為輔助的方式來學習可以讓我們了解那些更為複雜的分子結構，正十二面體、正二十面體的真實形狀是如何，而非看課本上的圖片憑空想像

二、其他具體評語與建議：

透過老師這樣實體演練的教學課程讓學基礎科學的孩子可以學到傳統式教學艱澀、難懂、難懂的理论加上有趣的實體課程，我覺得學生的了解能力是有所提升，應該持續進行這類似的課程，對於幫助之後的學生學習

6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

在無法增加修課學分數的限制下，為讓教學進度不致大幅受影響，可將期中、期末考及軟體下載教學安排在非課程時段。未來在傳統課堂講授部分預計配合教學內容增加一些相關之科學史、與時事相關之科學新聞，再搭配主題實作展演、課程講座單元，並提供課後時段與學生進行分組訪談，以增進學生對整體課程的學習興趣並培養主動學習能力，讓學生翻轉《無機化學》課目是無趣、艱深又可怕的必修課程的刻板印象。

二. 參考文獻(References)

1. In 1962, Derek J. de Solla Price, a Yale University historian of science, gave a series of lectures at the Brookhaven National Laboratories on the growth of science that were published in 1963 under the title of *Little Science, Big Science*.
2. Price, D. J. de Solla. (1963). *Little science, big science*. London: Columbia University Press.
3. 台大開放式課程--普通化學 <http://ocw.aca.ntu.edu.tw/ntu-ocw/index.php/ocw/cou/099S125/18>
4. 余瑞琳(2016)。〈參加 2016 BCCE 並發表普通化學實驗翻轉教學〉，《台灣化學教育》，第 16 期(11 月)，<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=21208>。
5. 翁榮源(2017)。「翻轉教室在基礎化學課程實施的經驗談。臺灣化學教育，第 19 期(5 月)，<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=23195>。
6. Stewart, J. L.; Bentley, A. K.; Johnson, A. R.; Nataro, C.; Reisner, B. A. and Watson, L. A. (2018). Teaching from the primary inorganic literature: lessons from Richard Andersen. *Dalton Transactions*, 47(39), 13755-13760.
7. Keshavarz, E. (2018). Hand-Made, Three-Dimensional Molecular Model for Active Inorganic Chemistry Learning. *Creative Education*, 9, 1168- 1173.
8. Carriazo, J. G. (2011). Laboratory projects using inquiry-based learning: an application to a practical inorganic course. *Quím. Nova*, 34(6), 1085-1088.
9. Hargis, J. (2014). The Effect of Computers on Learning Inorganic Chemistry Formulation with Secondary Students. *Journal of Science Education*, 15(1), 19-21.
10. 李靖、東佳玲、陳豔、嶽瑋、堵錫華(2016)。重複提取理論對無機化學教學的實踐。大學化學，7，39-43。www.zhazhi.com/lunwen/hxjy/wujihuaxuelunwen/127905.html。
11. 柳海萍(2016)。無機化學教學改革研究。當代教育實踐與教學研究，第 10 期(9 月)，www.zhazhi.com/lunwen/hxjy/wujihuaxuelunwen/129906.html。
12. 劉洋 (2017) 。大學無機化學"翻轉課堂"教學模式的設計。廣州化工，4，142-143。
13. Chemistry – MIT OpenCourseWare: <https://ocw.mit.edu/courses/chemistry/>
14. The Interactive Online Network of Inorganic Chemists (IONiC), <https://marm2019.org/introduction-to-ionic-viper-using-and-sharing-inorganic-chemistry-education-resources/>
15. The Virtual Inorganic Pedagogical Electronic Resource, website: www.ionicviper.org

16. Brooks, J. G. & Brooks, M. G. (1999). *In Search of Understanding: The Case for Constructivist Classrooms*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
17. Stahl, G. (2012). Theories of collaborative cognition. In S. Goggins & I. Jahnke (Eds.), *CSCL at work*. New York, NY: Springer.
18. Jarvela, S., Volet, S. & Jarvenoja, H. (2010). Research on motivation in collaborative learning: Moving beyond the cognitive-situative divide and combining individual and social processes. *Educational Psychologist*, 45(1), 15-27.
19. 林煥祥 (2009)。科學素養的評量。科學發展，438，66-69。
20. 曹亞倫 (2011)。大學績效與學生學習成效新視野—美國高等教育轉變之啟發。評鑑雙月刊，2011年7月，第32期。網址：
<http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2011/07/01/4588.aspx>

三. 附件(Appendix) (請勿超過 10 頁)

學生評量工具網址連結已經附在第 8 頁內文中，部分教學活動剪影如下，完整相簿連結則提供於在第 7 頁內文中。



