

「數據，看世界」教師手冊

壹、給教師的話

在科學上，有許多的理論都是「經驗」公式，而這些經驗公式都是歷經多次的實驗、修正、再實驗，所得到的實驗數據歸納出的結果，因此實驗數據是連接研究問題通往結論中間的橋樑。在科學上，數據的意義往往不只是用來統計、歸納出結論，更重要的是如何篩選數據？如何從數據中找到修正實驗方法？這些對於科學上更有其意義。

隨著科技日新月異，利用電腦程式模擬實驗、理論計算也漸漸成為科學理論的來源之一，透過參數的設定與選擇，便可將現實中難以控制的變因加以控制，並且透過高速的運算，可以獲得大量的數據，所以更需要善用軟體來處理，篩選出有用的數據，進而分析、比對物理量的關係，最後統整出結論。因此在教學上，我們可以融入「數位化學習」，讓學生方便操作與理解原理，而且具有安全、高重複性的優點，迅速體會到定性的關係。

然而，在現實的實驗當中是沒辦法將控制變因完全鎖定的，再加上測量必定有誤差，因此在現實中必須更謹慎的設計，所以我們實驗出來的數據必須再三確認其合理性，並且從實驗數據中，思考如何改善實驗步驟，甚至抽換各種不同的實驗器材、測量工具，以比較出最佳的實驗安排。

因此我們選用 5E 學習環，來作為本次課程的主軸。5E 學習環分別為：投入(Engagement)、探索(Exploration)、解釋(Explanation)、精緻化(Elaboration)、評鑑(Evaluation)，在課程當中，我們讓學生實際操作所有的實驗過程，配合著文本、補充資料的閱讀，探索物理量之間的關係，觀察所得的實驗數據應讓學生嘗試整理、做圖，對實驗的結果進行解釋，而從實驗數據與結果中，必須能夠讓學生反芻思考是否能針對實驗步驟精進，讓整個實驗臻於完善，最後再將所有的實驗數據、圖片整理後，提出完整的實驗報告，甚至可以嘗試讓學生舉一反三，提出新的實驗規劃，開始新一輪的 5E 學習環。

所以老師在進行本課程中，須特別著重探索、解釋、精緻化這三個過程，包括實驗數據紀錄的完整性、將實驗數據繪製程圖的能力培養、從圖表中要能帶領學生解釋物理量之間的關係、最後要能從實驗數據中反思並精緻實驗步驟，減少實驗誤差。因此老師在引導時可以給予學生清楚的實驗表格，讓學生能夠透過明瞭的數據記錄，轉換成實驗圖表。而在製作圖表時，要能清楚指示圖表具有哪些必要元素、如何解釋圖表，以及擬合線的意義，此時可以給予學生多一點時間去比較不同的實驗中圖表的差異，進行誤差來源的比較。最後帶領學生思考精緻實驗的過程中，指令不宜過於開放，畢竟八年級上學期的學生初入理化課程，若是回答過於輻散恐難以聚焦，因此在精緻化的過程要給學生一些提示，讓學生有個基礎進行討論。

另外，本課程總共 16 節課，每周兩節課來計算的話，預計八周可以完成本課程，所以適合與其他課程搭配對開，例如：可與情意課程、資料蒐集與資料庫的建立、獨立研究

其他增能課程...等，進行單雙周對開，以達成 Renvulii 三合充實模式第二模式，並準備八下進行第三模式——進行獨立研究。課程當中也有部分需要資訊能力，例如：Arduino 程式語言、基本 Excel 介面與圖表繪製，老師可以利用寒暑假或者假日的舉辦營隊，將必要的能力先交給學生。

貳、課程/教學單元描述（含教材分析與課程架構）

本課程分為兩個主題，第一個主題是以單擺實驗為主軸，是改變不同的測量方法，來測量單擺週期、繪製成圖而佐證經驗公式，並比較不同測量方法之間的差異性；第二個主題是以酸鹼滴定實驗為主軸，是希望透過獲得的實驗數據，來修正實驗的方法，藉此得到精緻化的過程。

在第一主題課程中共有三堂課，分為「觀察」、「實作」、「組織分析」三堂。第一堂課以「科學發展史」作為開頭，讓學生進入科學家的研究背景，身歷其境感受科學研究的艱辛與嚴謹。接著透過設計實驗、模擬軟體模仿科學家所做的實驗，發現影響單擺週期的主因是擺長與重力加速度量值，更進一步地也能讓學習速度較快的學生深入討論擺角、質量等問題。而第二堂課經由 Arduino 光電閘、碼表進行實作，讓學生比對不同測量工具對於實驗的差異。並且透過實驗裝置架設理解支點的設置、線材的選用、擺長的測量等都可能形成額外的變因，並藉此學習實驗技巧如何精進。最後第三堂課經由數據處理學習數據分析技巧，並與力學分析後的理論比對，感受數據科學與理論的相互輝映。再將學生拉回科學故事之中，統整本主題學習的知識與技能，讓學生能在未來獨立研究的數據分析上更得心應手。

第二個主題課程也分為三堂課，分為「模擬」、「實作」、「精緻化實作」。第一堂課主要是透過模擬實驗讓學生體會到濃度、莫耳數、以及酸鹼中和時各離子的濃度變化，理解酸鹼中和的概念及公式。第二堂課是讓學生真正操作酸鹼滴定實驗，但是在這堂課當中並沒有涉及空白實驗、潤洗及添加指示劑的標準步驟，單純讓學生抽換三種不同的指示劑滴定，所以實驗誤差會很大，這個時候再引導學生思考誤差來源是什麼，並且要如何修正實驗步驟？最後引導出空白實驗、潤洗及添加指示劑的標準步驟，精緻化實驗步驟。第三堂課是利用精緻化的步驟進行實驗，先進行三種指示劑的空白試驗，作為變色的依據，再進行酸鹼滴定實驗，透過實驗數據的計算，來推算鹽酸的濃度，並且比較各指示劑的誤差，最後引導出如何選取合適的指示劑，且完成強鹼滴定弱酸的實驗設計，藉以了解學生是否清楚所有的概念。

參、課程計畫

一、基本資料與學習目標

課程名稱	數據，看世界		特殊需求	獨立研究
教學年級/ 班級/組別	八年級上學期資優班		相關領域	☐ 語文 ☐ 數學 ☒ 自然 ☐ 社會 ☐ 健體 ☐ 藝文
實驗學校/ 日期	國中資優班		重大議題	無
教學時間	共 16 節 720 分鐘		教學者/ 設計者	劉睿荷、周振華、張翔凱
教材來源	1. 自行編寫 2. PhET interactive simulations 3. Titration simulation : 網址詳見課程大綱的教學資源連結。		參考資料	1. 格物致知－前人的足跡 2. 師大物理系普物實驗講義 3. 師大化學系普化實驗講義 4. 高中普通化學(二)基本反應 5. 高中選修化學(一)酸鹼鹽
十二年國教 課綱 核心素養與 學習重點	核心素養	獨-J-A2 提出適切的探究問題，依據習得的知識，透過獨立思考與分析，提出可能的問題解決模式，並實際驗證及解析。 獨-J-B1 能分析歸納、製作圖表，整理蒐集之資訊或數據，並運用複雜形式之口語、文字、影像、繪圖或實物，表達獨立研究之過程、發現或成果、價值和限制。 獨-J-B2 能善用科技、資訊與媒體，分辨資料蒐集可信程度，以獲得獨立研究過程中所需之資料。 獨-J-C2 透過獨立研究小組學習，發展與同儕溝通、共同參與、執行及討論的能力，能接納不同意見，具備與人和諧互動技巧。		
	學習表現	1a-IV-3 能透過動手解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。 1b-IV-2 能主動與同儕合作完成小組獨立研究活動內容並達成目標。 1c-IV-1 能從他人研究成果、良師典範學習中及自己研究歷程及成果中，養成研究動機及熱忱。 1d-IV-2 能自我監控、據實蒐集、處理研究資料及報告研究發現，避免捏造、篡改及剽竊不當研究行為。 2a-IV-1 能選用適當的研究方法及程序，並運用於獨立研究中。 2b-IV-1 能將蒐集的數據或資料，加以分析、比較，提出關聯與差異。 2b-IV-2 能比較與判斷自己及他人對於蒐集資料的解釋，在方法及程序上合理性，並提出問題或批判，並用實證加以驗證之。 2b-IV-3 能知道自己及他人所觀察、記錄或收集資料所得的現象、實驗數據，並推論其中的關聯性。		

		2b-IV-4 能運用領域知識，提出自己的主張、理由及證據解釋自己的觀點。 2b-IV-5 能運用簡單數理演算公式、科學證據或理論，理解領域知識或理論及其因果關係，或提出他人論點限制，進而提出不同論點。 3c-IV-1 能運用圖書館、網路、線上資料庫、期刊等，依據研究主題，搜尋相關資料。 3d-IV-2 能獨立或依據操作指引，正確安全操作研究物品、器材儀器、科技設備與資源。 3e-IV-1 能運用思考能力、撰寫研究日誌、製作圖表、使用統計等方法，有效整理、分析及比較已有的資訊或數據。 3e-IV-2 能從得到的資訊或數據，分析出差異，形成解釋、獲知因果關係。 3e-IV-3 能從得到的資訊或數據，分析出差異，提出研究結果與發現。 3e-IV-4 能從得到的資訊或數據，分析出差異，解決問題或發現新問題。
	學習內容	✧ 一般探索：特質與潛能:優勢/專長領域能力與興趣 ✧ 研究方法訓練： 1. 思考能力訓練：問題解決技能 2. 研究方法介紹：量化、質性 3. 實驗器材、科技設備操作技能 4. 資料蒐集與文獻探討。 ✧ 獨立研究實作： 1. 研究資料整理與分析： (1) 基本統計分析介紹與應用 (2) 圖表製作技巧（解讀、繪製、分析） 2. 研究成果展現： (1) 研究發現與討論（結果與討論） (2) 研究結論與應用（結論與建議）
獨立研究課程能力指標 (計畫研發)		1.1.1.1 能從日常生活、學習經驗或自然環境觀察等向度發現或提出自己感興趣的方向或內容。 1.3.2.1 能與同儕相互討論研究內容，提出合理且具體的評價或建議。 1.2.3.2 能分析研究過程未臻理想的原因，並積極尋找解決策略。 1.2.3.3 在研究過程中，能面對各種問題，嘗試堅持找出解決方案。 2.3.1.1 能了解可透過研究，分析與探究問題，進而著手驗證，尋找可能的答案或解決方法。 2.2.2.1 在教師的引導下，能針對不同的研究問題認識不同的研究方法。 2.1.2.2 在教師的引導與協助下，能選用適切的研究方法進行研究。 2.1.3.2 能閱讀教師提供或自行蒐集的資料，並摘出與研究相關的內容。 2.1.3.5 在教師的引導與協助下，能以簡單的圖表將所閱讀的資料加以整理呈現。

	2.1.4.1 在教師的引導下，能依主題進行研究設計（實驗、調查）並實際操作。 2.1.4.2 在教師的引導下，能依研究需求，挑選或設計適合的研究工具或器材。 2.2.4.3 能熟悉各種研究操作方法，並能控制變因以增進研究精確性。 2.2.5.1 能使用常見之文書或統計軟體分析、歸納、及呈現研究資料或結果。 2.1.6.2 能在師長引導下完成研究報告撰寫。 3.2.1.1 能針對研究主題提出有關的主張及其理由。 3.2.1.2 能分析統整研究資料，提出支持結論的邏輯性理由及證據。 3.2.2.2 能將研究資料依內容結構、脈絡加以分析與歸納，提出可能需要釐清之處。 3.2.4.3 能針對研究主題提出構想，並在教師引導下設計適切的研究工具與方法(調查、實驗等)。
單元目標	1. 從模擬軟體發現單擺的規律及其變因。 2. 利用 Arduino 光電閘、碼表等工具進行實作。 3. 透過數據整理體會統計科學與理論科學的交互輝映。 4. 從模擬實驗中體會酸鹼中和的理論。 5. 進行較粗略的滴定實驗，討論如何精緻化實驗。 6. 進行精緻化的滴定實驗，並反思整個酸鹼滴定原理、流程。
學習目標*	認知目標 1-1-1 學生能透過閱讀了解單擺理論與應用的演進。 1-1-2 學生能透過閱讀了解單擺擺盪的等時性，是能應用在時鐘上的關鍵。 1-1-3 學生能理解自變量、應變量、控制不變量的意義。 1-1-4 學生能透過模擬軟體操作發現單擺的擺長與週期的相關性。 1-1-5 學生能透過模擬軟體操作發現重力加速度與週期的相關性。 1-1-6 學生能透過模擬軟體操作發現單擺的擺角、質量、材質會些微影響週期。 1-1-7 學生能理解科學發展背景，並思考計時工具及標準問題。 2-1-1 學生能理解實驗器材的使用方法。 2-1-2 學生能理解為何單擺端點必須固定。 2-1-3 學生能理解為何測量擺長前，需先讓單擺擺動幾次，才可進行測量。 2-1-4 學生能理解如何測量擺長。 2-1-5 學生能理解如何測量週期。 2-1-6 學生能回顧並理解模擬軟體的現象，預測並精進實驗結果。 2-1-7 學生能發現模擬與實際的差異。 3-1-1 學生能理解如何將數據化為圖表。 3-1-2 學生能透過數據分析和理論文獻比對，了解統計與理論是能互相呼應的。 3-1-3 學生能透過資料蒐集，理解地球上每個地方的重力加速度量值不同。 4-1-1 學生能模擬實驗中看出分子質量、莫耳數、濃度的關係。 4-1-2 學生能從酸鹼滴定過程中，看到各離子的濃度變化，並了解酸鹼中和的關係。 4-1-3 學生能理解指示劑的變色結果。

	4-1-4 學生能觀察滴定 pH 曲線圖。 5-1-1 學生能理解酸鹼滴定的實驗裝置。 5-1-2 學生能透過個指示劑的滴定，推算出 HCl 之濃度，並計算誤差後比較各指示劑的差異性。 5-1-3 學生能分析誤差來源，理解潤洗、空白實驗、指示劑的適量添加的重要性。 5-1-4 學生能透過所得的實驗數據誤差分析，修正實驗步驟。 6-1-1 學生能透過空白實驗，確認滴定完成時的顏色。 6-1-2 學生能經過空白實驗的修正，推算出 HCl 的實驗濃度。 6-1-3 學生能透過滴定 pH 曲線圖，得知指示劑選取的適切性。 6-1-4 學生能根據指示劑選取的適切性，延伸設計強鹼滴定弱酸的實驗步驟。 情意目標 1-2-1 學生能透過閱讀感受到科學家的發現是令人驚豔的。 1-2-2 學生能透過閱讀感受科學的演進是有趣的。 2-2-1 學生能感受科學研究是嚴謹且艱辛的。 3-2-1 學生能透過數據分析培養對誤差、近似的感覺。 3-2-2 學生能透過數據分析培養對數據處理的敏感度。 3-2-3 學生能透過討論了解每個人對於實驗數據的看法。 3-2-4 學生能透過數據分析和理論文獻比對，感受到數學與理論是存在生活中的。 4-2-1 學生能勇於發表自己觀察的數據及結論。 4-2-2 學生能願意與他人溝通、討論，並尊重對方的看法。 4-2-3 學生能積極參與課程，並與生活經驗結合。 技能目標 1-3-1 學生能自行規劃實驗觀察現象。 1-3-2 學生能自行設計表格以紀錄實驗。 1-3-3 學生能針對更細微的變化進行討論與提問。 2-3-1 學生能學會如何架設實驗器材。 2-3-2 學生能學會使用 Arduino 光電閘來進行測量。 2-3-3 學生能學會使用碼表來進行測量。 3-3-1 學生能將實驗數據繪製成圖表。 3-3-2 學生能根據實驗結果進行討論。 3-3-3 學生能學會估計所在地的重力加速度。 4-3-1 學生能操作模擬實驗介面，並能指出每一個選項的意義。 4-3-2 學生能紀錄實驗過程中的數據，並完成學習單內的表格。 5-3-1 學生能依照老師的指示，架設好酸鹼滴定的實驗裝置。 5-3-2 學生能根據實驗步驟、學習滴定手法，完成酸鹼滴定。 6-3-1 學生能進行空白實驗。 6-3-2 學生能完成潤洗的步驟，並注意指示劑的添加量。
--	---

教學資源	本課程是針對數據對科學的意義，而設計的課程，因此會以不同實驗方法所得的數據進行比較、呈現，以及從實驗數據中看出如何修正實驗步驟，這兩個基礎來凸顯數據在科學的意義，並且加入數位學習、模擬實驗，讓學生思考在科技進步的時代，可以以不同的方式學習新知。
教學方法/ 教學型態	引導式探究教學法、5E 學習環
教學環境/ 地點	一般教室、電腦教室、實驗室

註：在學習目標方面，可視學生能力及程度分為高能力組（H）、中能力組（M）與較弱能力組（L）擬定不同層次目標，並在各學習目標後面註明該目標適用的對象。例如：三組皆須達到的標準（H, M, L）或高組要達到的標準（H）。

二、區分性教學設計

學生組別	高能力組	中能力組
學習優弱勢 分析	➤ 具備較佳的資訊能力，包括精熟 Excel 的使用、Arduino 的程式邏輯與電路實際的呈現。 ➤ 具備良好的數感能力，能迅速從實驗數據中分析結果，並思考其數據的合理性。	➤ 資訊能力中等，尚須老師指導方能操作各種程式軟體，以及實體電路呈現。 ➤ 能透過層層遞進的表格計算出數據，並接受老師的指導或與同學討論，理解數據所呈現的物理意義。
起點行為 (研究能力)	➤ 能將實驗中所發生的現象，加以觀察、紀錄，並能嘗試推論其可能的結果。 ➤ 能針對實驗數據辨別其合理性，並從中修正、精緻實驗步驟。	➤ 能將實驗中所發生的現象，加以觀察、紀錄。 ➤ 能將實驗數據詳實的記錄，並能透過給予的提示，解釋數據的意義。
教學策略	➤ 學生若能迅速地從數據中分析、歸納出結論，則可多反問幾個由結論的題目，並給予相關資料或網路查詢概念，以培養其自學的態度。	➤ 善用清楚、有邏輯的表格，讓學生能夠依循著數據，層層推演出最後的結論。
評量方式/ 評量標準	➤ 觀察評量 ➤ 實驗操作 ➤ 學習單	➤ 觀察評量 ➤ 實驗操作 ➤ 學習單

三、教學計畫與進度(可自行增列)

單元 名稱	學習目標	教學規劃/活動/內容	時間	教學評量
擺鐘 之謎 1	1-1-1~1-1-7 1-2-1~1-2-2 1-3-1~1-3-3	1. 透過科學家發明鐘擺的故事，讓學生了解人類如何精準掌握時間，作為引起動機。 2. PhET 模擬動畫： (1) 第一階段：讓學生自己操作，模仿科學家發現規律的過程。 (2) 第二階段：提示學生分別改變質量、擺長、星球、擺角等變項，並將結果記錄起來，從數據中找尋規律。 3. 統整學生發現的規律，並說明之後實驗所需的事前準備。	2 節	課堂表現、 學習單
擺鐘 之謎 2	2-1-1~2-1-7 2-2-1 2-3-1~2-3-3	1. 分組進行單擺實驗，讓學生發現實際操作的不同： ※使用 arduino 光電計時器輔助計時 (1) 改變不同材質的線進行實驗 (2) 改變不同質量的懸掛物 (3) 改變不同擺長 (4) 改變不同擺角 2. 透過 excel 紀錄實驗數據，並使用曲線擬合技能找出單擺規律。	4 節	課堂表現、 學習單
擺出 真相	3-1-1~3-1-3 3-2-1~3-2-4 3-3-1~3-3-3	1. 透過比對實際實驗與電腦模擬的差異，討論實驗誤差來源。 2. 簡單說明此實驗可使用理論力學分析，並給學生文獻閱讀。 3. 深入討論實驗內容，說明經驗公式只適用於特定角度內。 4. 給予學生進階題目，並分組討論，促進學生表達能力。 5. 最後帶著學生回顧科學家如何從實驗數據歸納出理論的過程，讓學生了解什麼是「科學」。	2 節	課堂表現、 學習單
酸鹼 滴定 模擬 實驗	4-1-1~ 4-1-4 4-2-3	✧ 背景知識閱讀：阿瑞尼士酸鹼學說、莫耳數、濃度 1. 透過酸鹼滴定模擬實驗的介面操作，理解莫耳數質量、莫耳數與濃度的關係。	2 節	學習單、觀 察評量

單元 名稱	學習目標	教學規劃/活動/內容	時間	教學評量
	4-3-1 4-3-2	2. 透過模擬實驗，讓學生思考酸鹼中和的概念。 3. 認識各階段溶液顏色之變化，與指示劑的選用介紹。 4. 透過模擬實驗的數據，記錄酸的使用量，並利用習得的酸鹼中和概念，推算 NaOH 的濃度。		
酸鹼 滴定 (一)	5-1-1~ 5-1-4 4-2-1 4-2-2 5-3-1 5-3-2	1. 介紹滴定的裝置、操作手法。 2. 實驗步驟的介紹，但僅介紹各器材應填充之溶液；不涉及快到當量點時的流速控制細節與變色判斷標準。 3. 進行酸鹼滴定，並記錄酸的使用體積。換成其他指示劑，重複之。 4. 分析實驗數據，並回推 HCl 的濃度。 5. 從實驗數據中，討論各種可能減少誤差的方法，最後帶出潤洗、空白滴定、達當量點前的流速控制細節、變色判斷標準。 6. 透過上述討論結果，修改實驗步驟。	4 節	實驗操作、 學習單
酸鹼 滴定 (二)	6-1-1~ 6-1-4 4-2-1 4-2-2 6-3-1 6-3-2	1. 複習上次所改寫的實驗步驟(包括潤洗、空白實驗、添加指示劑的量)。 2. 進行酸鹼滴定實驗，並記錄酸的使用體積。換成其他指示劑，重複之。 3. 分析實驗數據，並回推 HCl 的濃度。 4. 根據滴定 pH 曲線圖，了解選取指示劑的適切性。 ➤ 分析並比較模擬實驗、粗略滴定與精緻滴定的數據差異，並說明有無其他改進方法。	2 節	實驗操作、 學習單

四、應用與建議

延伸應用	1. 本課程可以作為獨立研究之前導課程，目的在於提升學生量化分析及數據邏輯探討的概念，並針對圖表呈現的意義作合理的推論與解釋，可加強學生在未來進行實驗、獨立研究、科展對數據處理的細膩度，抑或生活上對於統計數據的正確知識與概念。 2. 若學生有興趣，可以往上學習更進階的數據分析軟體，如 SciDavis、Origins 等
對超前或落後學生的建議	若超前的學生，可以讓他嘗試針對歷屆科展作品書進行分析，順便指導如何以「方法論」欣賞一件好的研究成果，將該作品的數據處理、圖表一一檢視給出優缺點分析，並以自己的角度思考，若要展覽或 PPT 簡報時，應該要放上哪些表格、圖表來呈現，使得整個邏輯架構較為完整。

肆、課程大綱

擺鐘之謎

教學資源連結：[Pendulum - lab](#)

一、背景故事介紹：(第一堂課)

- ✓ 發下第一、二張學習單，並給予參考數據紀錄格式。
- ✓ 簡介伽利略、惠更斯在時鐘演變上的貢獻，並提及此發明幫助人類精準掌握時間，以貼近學生生活歷程。
- ✓ 講解故事時，盡量避免提及惠更斯發現的明確關係。

二、模擬實驗：(第一堂課)

- ✓ 簡介此模擬介面可以做哪些操作，如改變質量、長度、擺角、摩擦力、星球，以及新增鐘擺、時間工具、數據圖等等。
- ✓ 請學生自行透過軟體操作、記錄數據找到單擺的特殊行為，但先不給做法。
- ✓ 第一節課結束後，給予尚未找出規律的學生提示卡；已找出規律的人給予進階卡（1 偏數學、2 偏物理）。
- ✓ 統整學生發現的趨勢與結果，並說明此程式的結果只能趨近於現實。
- ✓ 發下單擺實驗學習單，讓學生預習實驗，並將學生分組。
- ✓ 請學生下次一組帶一台筆電、至少 150 公分不同材質的線材。

三、單擺實驗：(第二堂課)

- ✓ 於上課前幾天發下剩餘的學習單，讓學生預習實驗。
- ✓ 請學生檢查 Arduino 光電閘可否使用。
- ✓ 實驗前有以下幾點需提醒學生：
 1. 單擺端點必須固定。
 2. 測量擺長前，需先讓單擺擺動幾次，使繩長不再改變才可測量。
 3. 擺長的測量，必須由支點至擺錘質心。
 4. 提醒測量週期必須取來回擺動約 10 次的平均值。
 5. 提醒使用碼表者皆要同一位。
- ✓ 每組抽籤決定做擺錘質量、線材、擺角為變項的實驗。
- ✓ 請學生於課程結束後一日於線上繳交 excel 圖表。

四、擺出真相：(第三堂課)

- ✓ 展示每組學生之圖表，帶領學生討論實際實驗與電腦模擬的差異，討論誤差來源。如擺長前後差異、裝置水平問題、摩擦力問題等。
- ✓ 發放單擺的力學分析文獻，並說明無論由理論下手或是實驗數據說話，都能互相輝映。
- ✓ 透過文獻、數據提出經驗公式僅適用於小角度的情況，並請學生討論何謂「小角度」？可以請學生透過模擬軟體，改變不同星球，找尋「小角度」的意義。
- ✓ 請學生討論市面上的擺鐘的特性是否相同？
- ✓ 若有拿到進階卡 1 的同學，可以提示他們找尋「泰勒展開式」，藉此給他們更精確的「近似」概念。
- ✓ 若有拿到進階卡 2 的同學，可以提示他們找尋「複擺」，藉此讓學生對於轉動有更深刻的理解。
- ✓ 回顧本實驗，讓學生體會科學並不是必然，而是一種解讀。建議可以使用伽利略所述：「自然的複雜現象可以用簡單的數學關係來描述與掌握」，讓學生理解數據處理是進入科學世界的重要工具。

酸鹼滴定模擬實驗

背景知識閱讀：什麼是酸？什麼是鹼？

- ✓ 阿瑞尼士酸鹼學說
- ✓ 莫耳數
- ✓ 濃度

教學資源連結：

http://glencoe.mheducation.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=swf::800::600::/sites/dl/free/0023654666/117354/Titration_Nav.swf::Titration%20Simulation

一、介紹介面

- ✓ 調整 NaOH 的質量，紀錄其他的表格變化，包含濃度、mole 數，以及圖表中的變化。
- ✓ 結合背景閱讀的概念，理解 mole 數與濃度的概念。
- ✓ 觀察各種水溶液的顏色，並記錄下來。

二、進行模擬實驗

- ✓ 先讓學生調整各 NaOH 質量，並進行滴定，記錄下濃度、莫耳數變化，以及變色時的顏色。
- ✓ 紀錄變色時，滴定的酸溶液體積。
- ✓ 透過上述模擬操作，先讓學生思考究竟在滴定的過程中，錐形瓶內發生了什麼事情？觀察實驗紀錄，何謂中和的概念？
- ✓ 溶液中的模擬， H^+ 和 OH^- 形成 H_2O 的過程。
- ✓ 點出酸鹼中和的意義。

三、數據分析與討論

- ✓ 將記錄下來的酸體積，求出平均值。
- ✓ 利用中和原理的概念，計算反推 NaOH 的濃度。

四、指示劑

- ✓ 透過實驗過程的紀錄，思考各溶液階段的呈色原因。
- ✓ 介紹指示劑的原理與呈色現象。
- ✓ 利用各種強弱酸鹼對 pH 的滴定圖，讓學生思考選取正確指示劑的方式。

酸鹼滴定(一)

一、滴定操作技法

- ✓ 滴定的操作手法，左手控制流速開關，右手搖晃被滴定之錐形瓶。
- ✓ 實驗步驟的介紹，但僅介紹滴定裝置架設，以及各器材應填充之溶液；不涉及快到當量點時的流速控制細節與變色判斷標準。

二、進行實驗

- ✓ 紀錄滴定 NaOH 的體積以及各階段溶液的呈色變化。
- ✓ 變換不同的指示劑，紀錄滴定 NaOH 的體積，以及各階段溶液的呈色變化。

三、實驗數據分析與討論

- ✓ 利用酸鹼中和的概念，推算 HCl 的濃度。
- ✓ 思考變換不同的指示劑對實驗的影響為何。
- ✓ 比較 HCl 濃度的理想值，讓學生思考可能誤差為何？並且思考如何減少誤差值？
- ✓ 討論帶出潤洗、空白滴定、達當量點前的流速控制細節、變色判斷標準。

酸鹼滴定(二)

一、滴定操作技法

- ✓ 複習上次討論精緻化實驗的概念。
- ✓ 滴定技巧的複習。

二、進行實驗

- ✓ 用各種不同的酸鹼指示劑，進行空白實驗
- ✓ 紀錄滴定 NaOH 的體積以及各階段溶液的呈色變化。
- ✓ 變換不同的指示劑，紀錄滴定 NaOH 的體積，以及各階段溶液的呈色變化。

三、實驗數據分析與討論

- ✓ 利用酸鹼中和的概念，推算 HCl 的濃度。
- ✓ 比較 HCl 濃度的理想值及上次實驗的粗略數據，讓學生思考、比較數據上的差異，並再思考有無更準確的方法。
- ✓ 透過滴定 pH 曲線圖，以及搭配提示卡(附於該份學習單的最末頁)，讓學生理解如何選取適用的指示劑。
(盡量避免提到當量點、中性點、滴定終點的專有名詞)

擺鐘之謎

姓名： _ _ _ _ _

一、背景知識閱讀

在 16 世紀時，人類雖然尚未學會使用電，不過已有沙漏、齒輪鐘、水鐘等計時裝置能於入夜後仍能掌控時間，但其中卻有不少的誤差存在，而這一切因為一位偉大的科學家－伽利略的發現有了重大變革。

西元 1583 年伽利略在比薩大學念書時，每個禮拜天都固定到比薩天主教堂望彌撒。一次的禮拜儀式由一位教士講了一篇非常冗長無聊的演說，感到不耐煩的伽利略在教堂的拱形天花板上望來望去，而這時他的目光被頭頂上一盞來回擺盪的吊燈所吸引。當時就讀醫學系的伽利略下意識地使用脈搏來量測吊燈的擺動，竟發現了一個驚人的現象。

伽利略的這個發現對製作精準的時鐘有相當大的貢獻，但有擺錘的時鐘卻是在他死後才出現。承襲著伽利略的發現，西元 1656 年另一位偉大的科學家－惠更斯於他的著作《擺鐘論》中用數學形式表示出單擺的特性。之後更於他的代表作《擺式時鐘或用於時鐘上的擺之運動的幾何證明》中解決擺鐘設計上的困難，以及提出單擺的不嚴格等時特性。

單擺的概念引入時鐘設計之後，人類從此能更精準掌握時間，擺鐘更取代沙漏作為短時間計時的重要儀器。

二、模擬實驗

1. 你認為單擺有著什麼特性，讓惠更斯使用它作為時鐘的重要元件？現在，請你使用電腦模擬軟體，改變變因以模擬伽利略的實驗，你能從其中找到伽利略發現的現象，甚至是惠更斯提出的不嚴格等時性嗎？

2. 根據上一題的概念，(1)請你設計實驗方法及記錄表格，一次更動一個變因，試著找出與單擺運動有相關的變因。e. g. 將某變因X變大，發現單擺的Y特性跟著變大。(2)並列點說明這些變因與第一題的概念有什麼關聯？(3)最後請用一句話說明你的實驗結果。

[illegible]

你是否也和伽利略當時對單擺的結論一樣是：

3. 加分題：話說當時因為沒有精準的時鐘，伽利略使用了「脈搏」來量測，卻發現比任何一個時鐘都還要準！若是你生活在 16 世紀的話，你會使用什麼東西為單擺計時呢？

--

三、實作

接著，請你根據目前掌握的規律，實際使用單擺來驗證先前的發現。

1.實驗器材：

器材	數量	器材	數量
水平儀	1 個	量角器（鑽孔	1 個
筆電（一組一台）	1 台	碼表	1 個
Arduino 光電閘	1 組	不同尺寸、重量的球	各 1 個
直立鐵架	1 座	捲尺	1 捲
鐵棒	1 根	棉線、塑膠線	各 1 條

2.實驗步驟：

- 將鐵架、鐵棒架設好，並使用水平儀確保鐵棒平行於地面。
- 將電腦、Arduino 光電閘準備好，確認裝置能正常運作。
- 決定線材、擺錘、擺角，並記錄於 excel 中。
- 決定擺長(50~150 cm)，並記錄於 excel 中。
- 先使用 Arduino 光電閘測量週期，並將結果紀錄於 excel 中。
- 接著使用碼表測量週期，並將結果紀錄於 excel 中。
- 變更擺長（50~150 cm），重複 4~6 步驟，共改變 5 次擺長。

以上步驟完成後，改為固定擺長、改變籤上變因的實驗，並記錄於 excel 中。

3.1 請將電腦模擬程式的數據結果記錄在表格中，並依指示製作關係圖：（參考表格）

測量器材	電腦		
擺角		擺錘質量	
擺長 L (m)	週期 T (s)		週期平方 T ² (s ²)
擺長 L (m)			
星球	重力加速度 g (m/s ²)	週期 T (s)	1/T ² (1/s ²)
地球			
月球			
木星			
X 星	?		

3.2 繪圖

- A. 繪製一張以長度 L 為橫軸、週期 T 為縱軸的關係圖（簡稱 T - L 關係圖），並使用曲線擬合功能找出關係 L vs. T 的關係，同時將圖貼在範圍內。

- B. 繪製一張 T^2 - L 關係圖，同時將圖貼在範圍內。

- C. 請查詢木星、月球的重力加速度，並繪製一張重力加速度 g 為橫軸、週期 T 為縱軸的關係圖（ T - g 圖），並使用曲線擬合功能找出關係，同時將圖貼在範圍內。

D. 根據前一張圖，求出X星球的重力加速度為多少？

4.1 請將單擺實驗的數據結果以下列方式製作關係圖：

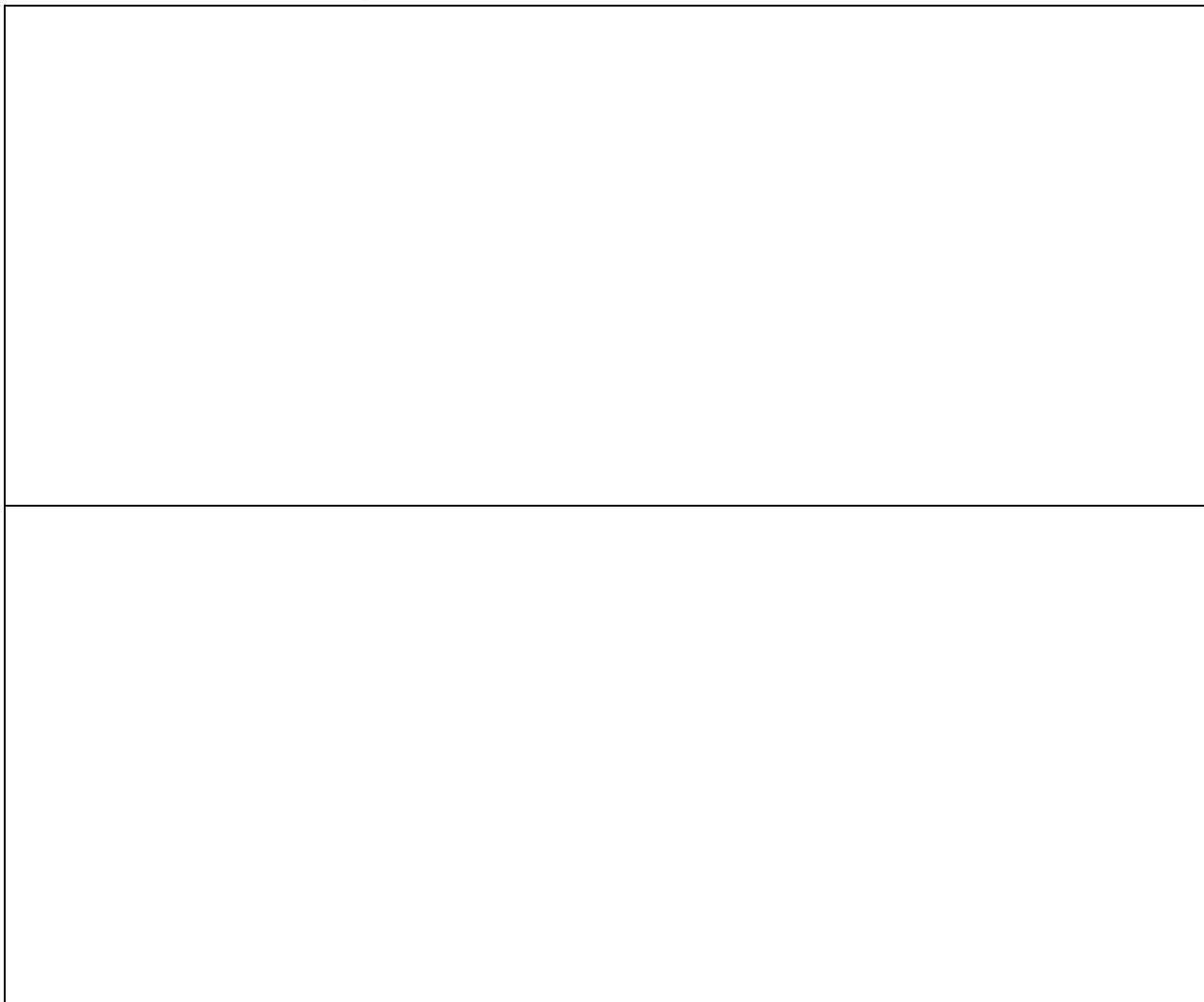
測量器材	Arduino 光電閘		
線材		擺錘直徑	
擺角		擺錘質量	
擺長 L (m)	週期 T (s)		週期平方 T^2 (s ²)

測量器材	碼表		
線材		擺錘直徑	
擺角		擺錘質量	
擺長 L (m)	十次震盪週期 (s)	週期 T (s)	週期平方 $T^2 (s^2)$

4.2 繪圖

A. 將光電閘讀出的數據，畫成 T-L 關係圖、 T^2 - L 關係圖，同時將圖貼在範圍內。

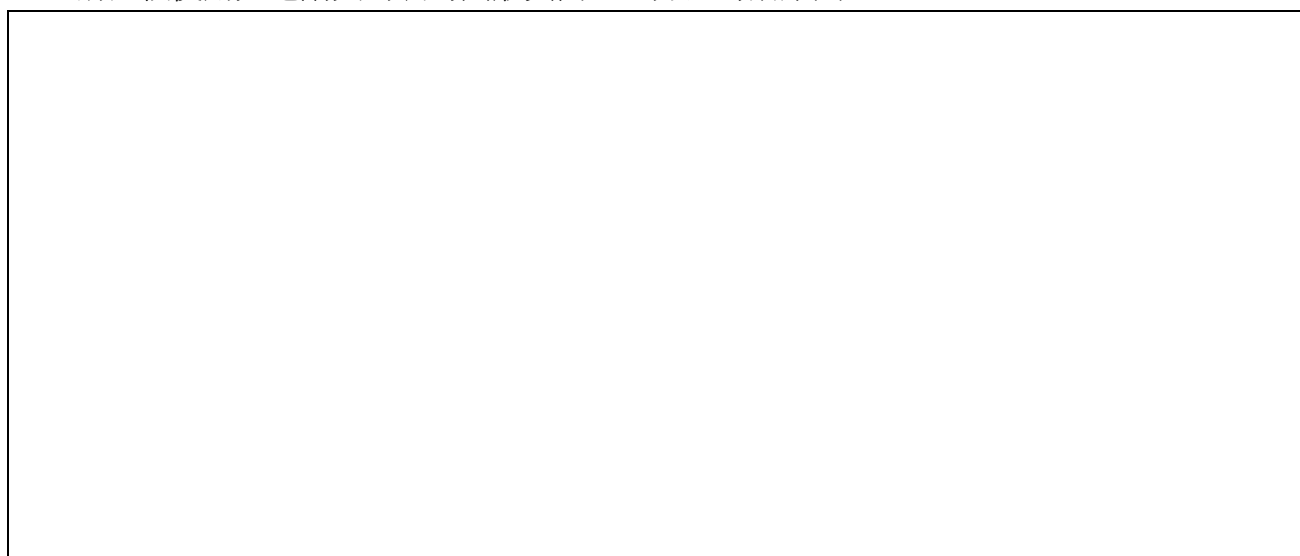
B. 將碼表讀出的數據畫成 T - L 關係圖、 T^2 - L 關係圖。



Two large empty rectangular boxes are provided for plotting data. The top box is intended for a T - L relationship graph, and the bottom box is intended for a T^2 - L relationship graph.

實驗數據討論

A. 請比較使用光電閘與碼表的圖形異同，並分組討論原因。



A large empty rectangular box is provided for discussing the experimental data, comparing the results from the photogate and the stopwatch.

B.請比較模擬程式與單擺實驗的異同，並分組討論原因。

C.請與別組同學比較，試著討論單擺的週期與線材、擺錘質量、擺角有無關聯？

延伸閱讀與討論

目前的你應該更精確地發現一個事實：

單擺的長度與時間的平方成正比、重力加速度與時間的平方成反比。

事實上，在惠更斯 1673 年的著作《擺鐘論》中，已經精確地寫出關係式：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

上面的式子中，比例常數 2π 是惠更斯經由研究圓周運動後算出的。

可敬的是，最開始提出「加速度」概念的雖是觀察自由落體運動的伽利略，但要一直到 1687 年牛頓才在《自然哲學的數學原理》中才提出精確的加速度概念，這距離惠更斯在 1673 年寫下這個「重力加速度 g 」還有 14 年之久。

惠更斯當年使用一條 3.0565 英尺的單擺，測出重力加速度量值為： 9.8 m/s^2 ，這與現今公認值僅有在精度上的差異。他甚至還提出了使用秒擺的概念來定義長度的單位呢！

而自從惠更斯使用「單擺的等時性」製作擺鐘後，歐洲的計時器從每天 15 分鐘的誤差，改進至每週 1 分鐘的誤差。而這誤差來源，惠更斯在他的另一本著作《擺式時鐘或用於時鐘上的擺之運動的幾何證明》鐘提到「單擺運動的不嚴格等時」，說明了前面的經驗公式只適用於「小角度」的情況！並提出了單擺必須用符合「擺線」的條件運動，才有等時性。

1. 請使用我們先前的數據，計算出學校的 g 值約為多少？並上網查詢所在縣市的 g 值做對照。（提示： $T^2 - L$ 關係圖的斜率為 $4\pi^2/g$ ）

2. 惠更斯指的「小角度」，究竟要多小呢？請你使用模擬軟體，計算 5、10、20、30 度的週期，與 1 度的週期誤差百分比為多少？計算示例： $\frac{T_5 - T_1}{T_1} \times 100\%$

3. 請與同學討論，市面上擺鐘內的鐘擺都要一樣長嗎？為什麼？

➤ 教師授課使用

伽利略的發現解答：

改變單擺的長度，會改變擺動的週期；但是擺錘的重量、擺幅的大小和擺動的週期無關

電腦模擬課可選擇操作之提示與進階卡：

提示卡 1：

請開啟時間軌跡圖形，並一次改變一個變項，觀察變量與擺盪週期的關係

提示卡 2：

請選用不同星球，重複先前的各種設置，進行模擬。

進階卡 1：

請試著改變角度，看看先前發現的規律有沒有什麼影響？

進階卡 2：

請試著改變質量，看看先前發現的規律有沒有什麼影響？

補充資料—力學分析

一個理想的單擺是質量集中在一點的擺錘，用無質量的細繩所懸掛的物體。懸點到擺錘中心(亦為質心)的距離叫做擺長。

在小角度的單擺運動中，當擺錘自平衡位置向上擺動 θ 角小於 5° 時，我們可以利用簡諧運動的結果來求得單擺的擺盪週期。在運動過程中，單擺受到重力加速度 g 的作用，再沿著擺線的方向分力為 $mg \cos \theta$ ，垂直方向分力為 $mg \sin \theta$ ，將此垂直方向分力視為簡諧運動中的回復力，在小角度中，利用弧長近似直線距離可得到 $\sin \theta \cong \theta = s/l \cong x/l$ 代入前式，可得單擺的回復力為：

$$F = mg \sin \theta = mg(-x)/l = -(mg/l)x = -(m\omega^2)x$$

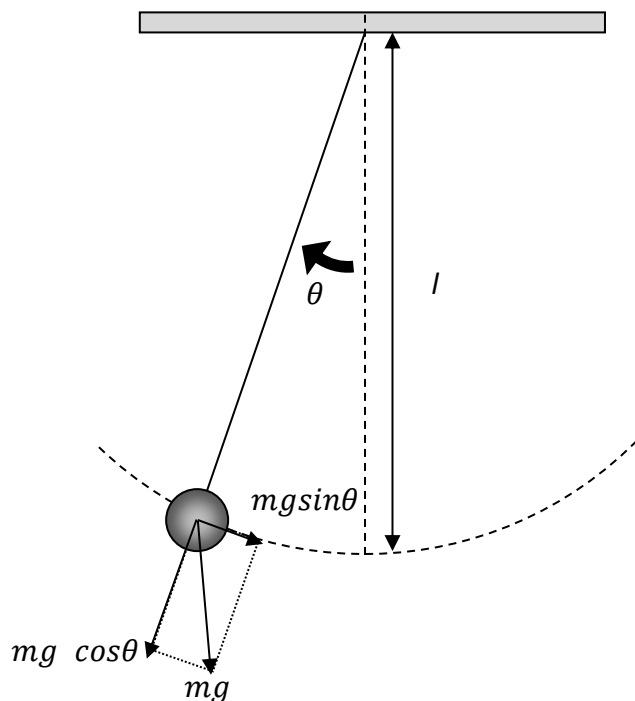
上式中， x 為直線距離，具向量特性，在計算

中加近一負號 ω 為簡諧運動中的角頻率，因此我們可得到 $\frac{g}{l} = \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ ，且擺動頻

$$\text{率 } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}, \text{ 週期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}。$$

[表 1] 為在不同小角度時， θ 與 $\sin \theta$ 值的差異：

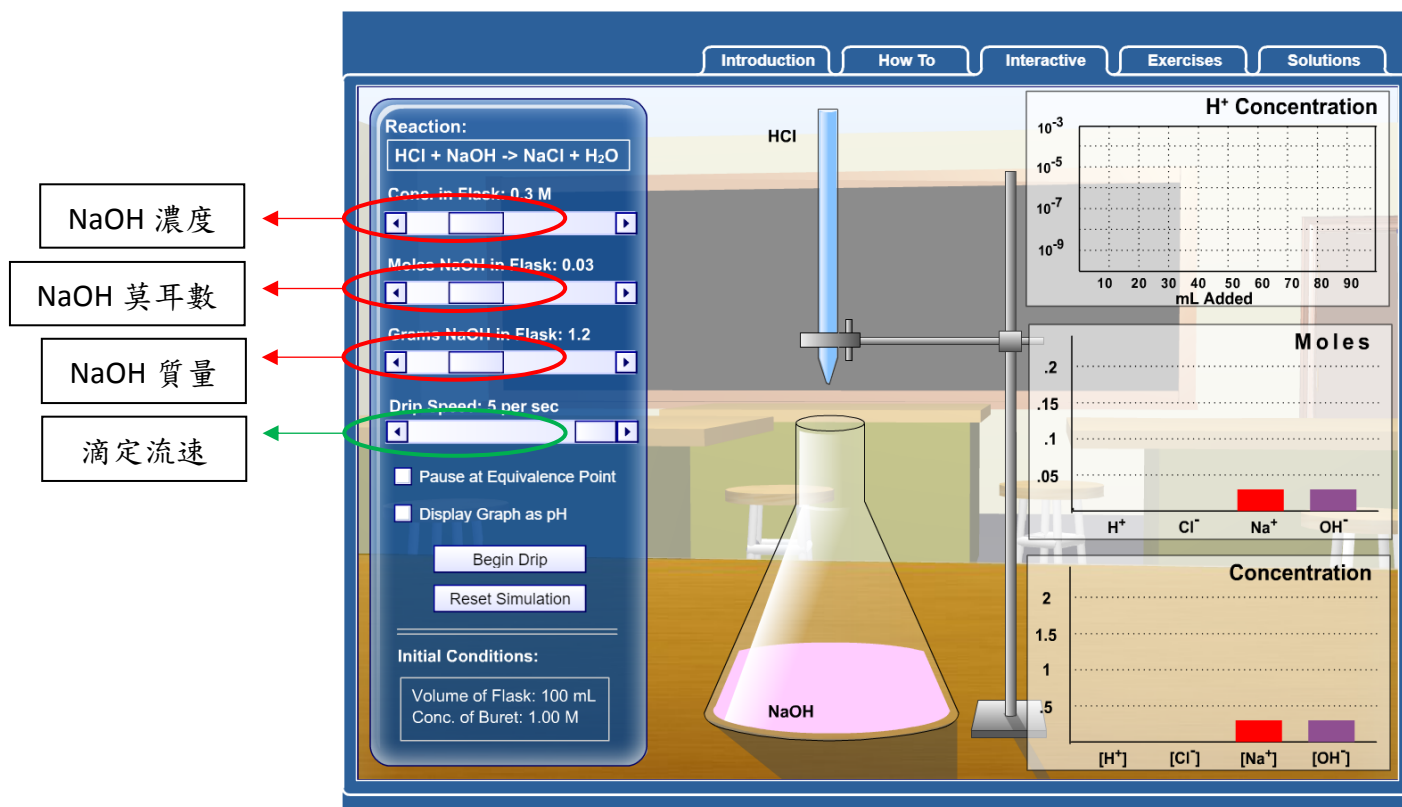
θ	θ 值	$\sin \theta$ 值	不確定度百分比
5°	0.08727	0.08716	0.13%
10°	0.1745	0.1736	0.18%
15°	0.2618	0.2588	1.14%
20°	0.3491	0.3420	2.02%
25°	0.4363	0.4226	3.14%



資料來源：國立臺灣師範大學物理學系普物實驗講義

模擬酸鹼滴定

一、介面介紹



二、調整 NaOH 的質量(維持錐形瓶內溶液總體積 100mL)

1.(1)調整 NaOH 質量的捲軸，紀錄莫耳數與濃度的變化在下表中：

質量(g)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8
莫耳數							
濃度(M)							

(2)請繪出質量 vs.莫耳數及莫耳數 vs. 莫耳濃度的圖

質量 vs.莫耳數	莫耳數 vs.莫耳濃度

- 2.請依據上述表格所得之觀念，完成下列空格
(維持錐形瓶內溶液總體積為 100mL 的狀況下)

質量(g)	0.6			2.2			4.0
莫耳數	0.015		0.035		0.72		
濃度(M)		0.12				0.8	

- 3.請依據上述表格所得之觀念，完成下列空格
(錐形瓶內溶液總體積不同時)

質量(g)	0.4	0.4	0.4	1.2	1.2	1.2	2.0
莫耳數							
濃度(M)							
體積(mL)	100	200	300	100	200	300	300

三、進行模擬滴定實驗前，先動動腦吧！

- 1.在滴定的過程中，滴定管與錐形瓶中的溶液顏色一開始為何？滴定完成後又會呈現什麼顏色呢？(錐形瓶中的指示劑為酚酞)

- 2.在滴定開始後，你認為 H^+ 、 OH^- 、 Na^+ 、 Cl^- 的莫耳數與濃度會如何變化？

--

- 3.在滴定的過程中，你認為錐形瓶內發生了什麼事？pH 會上升或下降？

--

四、進行模擬實驗

依下表，調整 NaOH 的質量以進行模擬滴定，記錄中和時所顯示的各項數據，並將溶液最終的顏色記錄下來。

NaOH 質量(g)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8
NaOH 莫耳數							
NaOH 濃度(M)							
HCl 體積(mL)							
溶液最終顏色							

五、實驗結果討論

- 1.在滴定的過程中，滴定管與錐形瓶中的溶液顏色一開始為何？滴定完成後又會呈現什麼顏色呢？

- 2.在模擬介面的右邊圖表中，你認為 H^+ 、 OH^- 、 Na^+ 、 Cl^- 的莫耳數與濃度在滴定過程中會如何漸進變化？

--

- 3.由以上的推論，你認為在滴定的過程中，錐形瓶內發生了什麼事？pH 會如何變化？

- 4.從滴定時所形成的滴定曲線來看，要如何判定酸鹼是否達到中和？溶液會呈現什麼改變呢？(從顏色、pH 值變化…)

5.從實驗數據來分析，達中和時的 H^+ 與 OH^- 離子的關係為何？

--

6.利用上題的觀念，試推算滴定前，錐形瓶內所裝 NaOH 的原來濃度為何？並比較理論值與實驗值的異同。

NaOH 質量(g)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8
NaOH 理論濃度 (M)							
實際消耗 HCl 體積(mL)							
推算 NaOH 濃度 (M)							

六、補充資料—酸鹼指示劑

一、什麼是指示劑？

反應在進行時，常常會伴隨著一些現象的產生，而我們可以透過這些現象，來觀察反應進行的過程，通常我們觀察的現象包括：氣體體積的改變、顏色變化、結晶的產生、溫度變化、壓力變化.....等。然而，有些無色溶液的反應，或者顏色變化不明顯的反應，就需要指示劑加色，來凸顯整個反應的變化。

指示劑可以應用範圍相當廣，例如：酸鹼的指示劑、氧化還原的指示劑。常用的酸鹼指示劑與其變色範圍的 pH 值如下：

指示劑種類	低於變色 pH 範圍的顏色	變色範圍	高於變色 pH 範圍的顏色
甲基紫	黃	0.0-1.6	紫藍
甲基黃	紅	2.9-4.0	黃
甲基橙	紅	3.1-4.4	黃
溴甲酚綠	黃	3.8-5.4	藍綠
甲基紅	紅	4.2-6.3	黃
石蕊	紅	5.4-8.0	藍
溴百里酚藍	黃	6.0-7.6	藍
酚紅	黃	6.4-8.2	紅
酚酞	無色	8.3-10.0	粉紅
茜素黃 R	黃	10.1-12.0	橙紅

(資料來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/酸鹼指示劑>)

低於變色 pH 值指的是變色範圍以下的 pH 值；高於變色 pH 值指的是變色範圍以上的 pH 值；而在變色範圍中的 pH 值，顏色會介於高低顏色兩者之間。舉例來說：溴百里酚藍在溶液 pH 低於 6.0 時，顏色呈現黃色；溶液 pH 高於 7.6 時，顏色呈現藍色；而溶液 pH 介於 6.0~7.6 之間時，顏色呈現綠色。而這些指示劑都可以讓我們進行酸鹼滴定時，方便判斷是否達到了酸鹼中和。

而酸鹼指示劑自己本身就是一種弱酸或弱鹼，因此在進行滴定时，不宜加入太多，避免影響實驗結果，通常只需要幾滴的量就會有很好的呈色效果。

七、補充資料—莫耳數與體積莫耳濃度

一、莫耳數

莫耳數的概念，其實就像是一打一樣，是一種表示數量的單位。一打氣水有 12 罐，而一莫耳的汽水又有幾罐呢？

莫耳的起源要先追溯至 19 世紀初原子量的定義，道耳吞在 1805 年發表了原子質量表，並將氫原子的相對質量訂為 1，因為這張表是依據元素在化合物中的質量比而訂定的。而後在質譜分析法問世後，氧-16 成為標定原子相對質量的新元素；最後在 1960 年代，持續到現在所使用的標準，是以碳-12 作為標準物，爾後個元素的原子量都是以此為標準，利用比值的方式定義出來的。

optic 的

物理小站

化學元素週期表

Periodic Table of Elements

1 氫 H 1.008	金屬元素																非金屬元素										2 氦 He 4.003																
原子序 ← 1 元素中文名稱 ← 氫 H 原子量 ← 1.008 元素符號 →																																											
																	5 硼 B 10.81		6 碳 C 12.01		7 氮 N 14.01		8 氧 O 16.00		9 氟 F 19.00		10 氖 Ne 20.18																
																																13 鋁 Al 26.98		14 矽 Si 28.09		15 磷 P 30.97		16 硫 S 32.07		17 氯 Cl 35.45		18 氬 Ar 39.95	
11 鈉 Na 22.99	12 鎂 Mg 24.31	19 鉀 K 39.10	20 鈣 Ca 40.08	21 鈦 Sc 44.96	22 鈦 Ti 47.88	23 鈦 V 50.94	24 鉻 Cr 52.00	25 錳 Mn 54.94	26 鐵 Fe 55.85	27 鈷 Co 58.93	28 鎳 Ni 58.69	29 銅 Cu 63.55	30 鋅 Zn 65.32	31 鎵 Ga 69.72	32 鍺 Ge 72.59	33 砷 As 74.92	34 硒 Se 78.96	35 溴 Br 79.90	36 氪 Kr 83.80																								
37 鉀 Rb 85.47	38 鐳 Sr 87.62	39 鈾 Y 88.91	40 鋅 Zr 91.22	41 鈾 Nb 92.91	42 鉬 Mo 95.94	43 碲 Te 127.6	44 鈦 Ru 101.1	45 銻 Rh 102.9	46 鈾 Pd 106.4	47 銀 Ag 107.9	48 鎘 Cd 112.4	49 鋇 In 114.8	50 錫 Sn 118.7	51 銻 Sb 121.8	52 碲 Te 127.6	53 碘 I 126.9	54 氙 Xe 131.3																										
55 銣 Cs 132.9	56 鋇 Ba 137.3	鐳系元素		72 鉿 Hf 178.5	73 鉭 Ta 180.9	74 錫 W 183.9	75 鐳 Re 186.2	76 銻 Os 190.2	77 銻 Ir 192.2	78 鉑 Pt 195.1	79 金 Au 197.0	80 汞 Hg 200.6	81 鉍 Tl 204.4	82 鉛 Pb 207.2	83 鉍 Bi 209.0	84 鉍 Po (210)	85 鉍 At (210)	86 氡 Rn (222)																									
87 銣 Fr (223)	88 鐳 Ra (226)	鐳系元素		104 鐳 Rf (261)	105 鐳 Db (262)	106 鐳 Sg (263)	107 鐳 Bh (262)	108 鐳 Hs (265)	109 鐳 Mt (267)	110 鐳 Uun (269)	111 鐳 Uuu (272)	112 鐳 Uub																															
鐳系元素		57 鐳 La 138.9	58 鐳 Ce 140.1	59 鐳 Pr 140.9	60 鐳 Nd 144.2	61 鐳 Pm 144.9	62 鐳 Sm 150.4	63 鐳 Eu 152.0	64 鐳 Gd 157.3	65 鐳 Tb 158.9	66 鐳 Dy 162.5	67 鐳 Ho 164.9	68 鐳 Er 167.3	69 鐳 Tm 168.9	70 鐳 Yb 173.0	71 鐳 Lu 175.0																											
鐳系元素		89 鐳 Ac (227)	90 鐳 Th 232.0	91 鐳 Pa (231)	92 鐳 U 238.0	93 鐳 Np (237)	94 鐳 Pu 239.1	95 鐳 Am 243.1	96 鐳 Cm 247.1	97 鐳 Bk 247.1	98 鐳 Cf 251.1	99 鐳 Es 252.1	100 鐳 Fm 257.1	101 鐳 Md 261.1	102 鐳 No 259.1	103 鐳 Lr 260.1																											

提供學習 歡迎轉寄

作者：曹佑民老師 <http://home.phy.ntnu.edu.tw/~optic/> Email: optic@home.phy.ntnu.edu.tw 版權所有：optic 的物理小站

而科學家從原子量的概念繼續深入發想，若原子量為 12 的碳-12 這個元素，我取 12 克會有多少個原子呢？莫耳的概念就此浮現，根據國際標準度量衡局的定義，1 莫耳的定義即為：12.0000 公克的碳-12 所含的原子數量。實驗計算後，這樣的數量約為 6.02×10^{23} 個，因為各元素的原子量是與同樣個數的碳-12 的質量比較結果，所以 6.02×10^{23} 個鈉原子質量應約為 23 克，稱為 1 莫耳鈉原子的質量；同理， 6.02×10^{23} 個金原子的質量也約為 197 克，稱為 1 莫耳金原子的質量。所以我們可以將原子量數值後加上克，即為該原子的「莫耳質量」。

同理，分子是由原子構成的，所以分子量也是組成分子的原子量總和，將分子量數值後加上克，即為該分子的「莫耳質量」。

二、體積莫耳濃度的概念

濃度的意義是指某物質在總量中所佔的比例。例如：(1)「質量百分濃度」是特定物質的質量相對於所有物質總質量的比例(2)「體積百分濃度」指每 100 毫升的溶液中所含溶質毫升數。(3)「百萬分濃度 (ppm)」：指每 1000 克溶液所含的溶質質量（以毫克計）。

而我們現在所使用到的「體積莫耳濃度」指的是：每 1 公升的溶液中所含的溶質莫耳數。體積莫耳濃度的公式如下：

$$\text{體積莫耳濃度(M)} = \frac{\text{溶質莫耳數(mol)}}{\text{溶液體積(L)}}$$

一杯氫氧化鈉水溶液，其中氫氧化鈉是溶質(被溶物)；水是溶劑(把人家溶解)，溶質與溶劑合起來通稱溶液。若將氫氧化鈉 1 莫耳(溶質)，溶於水中並配成體積共 1 公升的水溶液，則體積莫耳濃度為 1M；若將氫氧化鈉 2 莫耳溶於水中，並配成總體積為 0.5 公升的水溶液，則體積莫耳濃度為 4M。

那麼假設我要取一莫耳的氫氧化鈉(NaOH)溶到水裡，應該要秤取幾克呢？從上一段的補充資料中，我們可以瞭解了原子量與莫耳數的關係，而氫氧化鈉(NaOH)是由 1 個 Na、1 個 O、1 個 H 原子所組成的分子，其「分子量」則是把每個原子的原子量加總，Na 的原子量為 23、氧為 16、氫為 1，因此 NaOH 的分子量為 23+16+1=40。所以一莫耳的氫氧化鈉質量即為 40g。

綜合以上所述，要配置溶液體積 1 公升，體積莫耳濃度為 0.5M 的 NaOH 水溶液，需要取多少克的 NaOH 呢？又要如何配製溶液呢？

從體積莫耳濃度的公式，我們可以計算：

$$\text{體積莫耳濃度(M)} = \frac{\text{溶質莫耳數(mol)}}{\text{溶液體積(L)}} \rightarrow 0.5\text{M} = \frac{\text{NaOH 的莫耳數}}{1 \text{ 公升}}$$

因此，我們解得 NaOH 的莫耳數為 0.5 莫耳。而 0.5 莫耳是幾克呢？NaOH 的分子量為 40，1 莫耳的 NaOH 為 40 克，所以 0.5 莫耳就是 20 克了！所以我們可以取少量水，加入 20 克的 NaOH，並攪拌使溶解。然後加入水直到溶液總體積為 1 公升為止。

酸鹼滴定(一)

一、實驗藥品&器材

品項	數量	品項	數量
NaOH 0.1M	200mL	滴管	數支
HCl 未知濃度	300mL	漏斗	1 個
酚酞	小滴瓶裝	白紙	1 張
溴瑞香草酚藍	小滴瓶裝	滴定管	1 支
甲基橙	小滴瓶裝	直立鐵架	1 個
125mL 錐形瓶	3 個	滴定夾	1 個
250mL 燒杯	3 個		

二、實驗步驟

1. 取未知濃度的 HCl 25ml 放入錐形瓶中，並滴入 3~5 滴的酚酞指示劑。
2. 取 0.1M 的 NaOH 置入滴定管中。
3. 將滴定管用滴定夾固定於直立鐵架上，盛有 HCl 的錐形瓶則置於滴定管下，並在錐形瓶底下墊張白紙。
4. 開始進行滴定，達到酸鹼中和時，紀錄滴定时所消耗的酸體積，並推算 HCl 的濃度。
5. 將指示劑依序換成溴瑞香草酚藍及甲基橙，重複 1~4 步驟各 3 次。

三、實驗結果

1. 以酚酞做指示劑，滴定未知濃度的 HCl
(1)

表 1

	滴定前刻度 (mL)	滴定後刻度 (mL)	消耗 NaOH 體積 (mL)	HCl 濃度 (M)
第一次				
第二次				
第三次				

(2)溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3)利用所消耗的 NaOH 體積，推算 HCl 的平均濃度=_____M

2. 以溴瑞香草酚藍做指示劑，滴定未知濃度的 HCl

(1)

表 2

	滴定前刻度 (mL)	滴定後刻度 (mL)	消耗 NaOH 體積 (mL)	HCl 濃度 (M)
第一次				
第二次				
第三次				

(2)溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3)利用所消耗的 NaOH 體積，推算 HCl 的平均濃度=_____M

3. 以甲基橙做指示劑，滴定未知濃度的 HCl

(1)

表 3

	滴定前刻度 (mL)	滴定後刻度 (mL)	消耗 NaOH 體積 (mL)	HCl 濃度 (M)
第一次				
第二次				
第三次				

(2)溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3)利用所消耗的 NaOH 體積，推算 HCl 的平均濃度=_____M

四、實驗討論

1. 將三種指示劑所推算的 HCl 濃度的實驗值，與老師公布的理論值做比較。

表 4

	HCl 濃度實驗值	HCl 濃度理論值	誤差(%)
酚酞			
溴瑞香草酚藍			
甲基橙			

註：誤差 = $\frac{\text{HCl 實驗值} - \text{HCl 理論值}}{\text{HCl 理論值}} \times 100\%$

2. 以分組討論方式，依照實驗步驟或原理，討論可能的誤差來源。

(e.g.在正式滴定前，是否有用 NaOH 沖洗過滴定管？添加指示劑的量是否對滴定結果有影響？滴定終點的顏色是否需要一致？)

3. 經過誤差來源分析後，請依序修正實驗步驟，並將之列下。

酸鹼滴定(二)

一、實驗藥品&器材

品項	數量	品項	數量
NaOH 未知濃度	200mL	漏斗	1 個
HCl 0.1M	300mL	白紙	1 張
酚酞	小滴瓶裝	滴定管	1 支
溴瑞香草酚藍	小滴瓶裝	直立鐵架	1 個
甲基橙	小滴瓶裝	滴定夾	1 個
125mL 錐形瓶	2 個	滴管	數支
250mL 燒杯	2 個		

二、實驗步驟

A. 空白滴定

1. 取 25mL 蒸餾水至錐形瓶當中，並滴入 3 滴酚酞指示劑。
2. 取滴定管，以清水洗淨後用少量 0.1M 的 NaOH 沖洗滴定管，再利用滴定夾架設於直立鐵架上。
3. 旋轉滴定管的活栓，用較高的流速趕走尖端的氣泡。
4. 利用漏斗將滴定管內的 NaOH 溶液補到零點刻度，並開始滴定至錐形瓶溶液變色，且能維持 30 秒不變回去為止。
5. 紀錄所消耗 NaOH 的量，並作為標準滴定終點。

B. 滴定未知 HCl

1. 取 25mL 未知濃度的 HCl 至錐形瓶中，並滴入 3 滴酚酞指示劑。
2. 取滴定管，以清水洗淨後用少量 0.1M 的 NaOH 沖洗滴定管，再利用滴定夾架設於直立鐵架上。
3. 旋轉滴定管的活栓，用較高的流速趕走尖端的氣泡。
4. 利用漏斗將滴定管內的 NaOH 溶液補到零點刻度，並開始滴定至錐形瓶溶液變色與標準滴定終點相同，維持 30 秒不變回去為止。
5. 紀錄所消耗 NaOH 的量並重複 1~4 步驟 3 次。
6. 將指示劑依序換成溴瑞香草酚藍及甲基橙，重複 1~5 步驟各 3 次。

三、實驗數據

A. 空白實驗

(1)

表 1

		滴定前刻度(mL)	滴定後刻度(mL)	消耗 NaOH 體積 (mL) $V_{乙}$
酚酞	第一次			
	第二次			
	第三次			
溴瑞 香草藍	第一次			
	第二次			
	第三次			
甲基橙	第一次			
	第二次			
	第三次			

B. 滴定未知 HCl

4. 以酚酞做指示劑，滴定未知濃度的 HCl

(1)

令：

$V_{甲}$ = 滴定未知 HCl 所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V_{乙}$ = 空白實驗所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V = V_{甲} - V_{乙}$ 實際消耗的 NaOH 體積(mL)

表 2

	滴定前刻 度(mL)	滴定後刻 度(mL)	消耗 NaOH 體 積 (mL) $V_{甲}$	$V = V_{甲} - V_{乙}$	HCl 濃度 (M)
第一次					
第二次					
第三次					

(2) 溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3) HCl 的平均濃度=_____M

5. 以溴瑞香草酚藍做指示劑，滴定未知濃度的 HCl

(1)

令：

$V_{\text{甲}}$ = 滴定未知 HCl 所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V_{\text{乙}}$ = 空白實驗所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V = V_{\text{甲}} - V_{\text{乙}}$ 實際消耗的 NaOH 體積(mL)

表 3

	滴定前刻度(mL)	滴定後刻度(mL)	消耗 NaOH 體積 (mL) $V_{\text{甲}}$	$V = V_{\text{甲}} - V_{\text{乙}}$	HCl 濃度 (M)
第一次					
第二次					
第三次					

(2) 溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3) HCl 的平均濃度=_____M

6. 以甲基橙做指示劑，滴定未知濃度的 HCl

令：

$V_{\text{甲}}$ = 滴定未知 HCl 所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V_{\text{乙}}$ = 空白實驗所消耗的 NaOH 體積(mL)

$V = V_{\text{甲}} - V_{\text{乙}}$ 實際消耗的 NaOH 體積(mL)

表 4

	滴定前刻度(mL)	滴定後刻度(mL)	消耗 NaOH 體積 (mL) $V_{\text{甲}}$	$V = V_{\text{甲}} - V_{\text{乙}}$	HCl 濃度 (M)
第一次					
第二次					
第三次					

(2) 溶液顏色變化：滴定前_____色；滴定後_____色

(3) HCl 的平均濃度=_____M

四、實驗數據分析與討論

1. 做空白實驗的意義為何？滴定前用少量 0.1M 的 NaOH 沖洗滴定管的目的是為何？

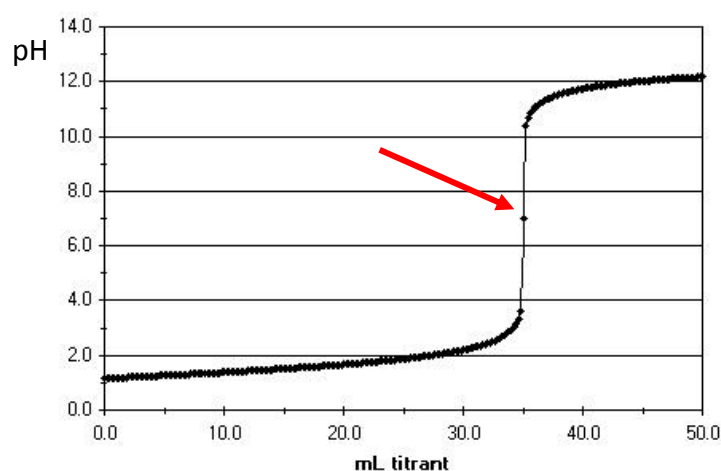
2. 將三種指示劑所推算的 HCl 濃度的實驗值，與老師公布的理論值做比較。

表 5

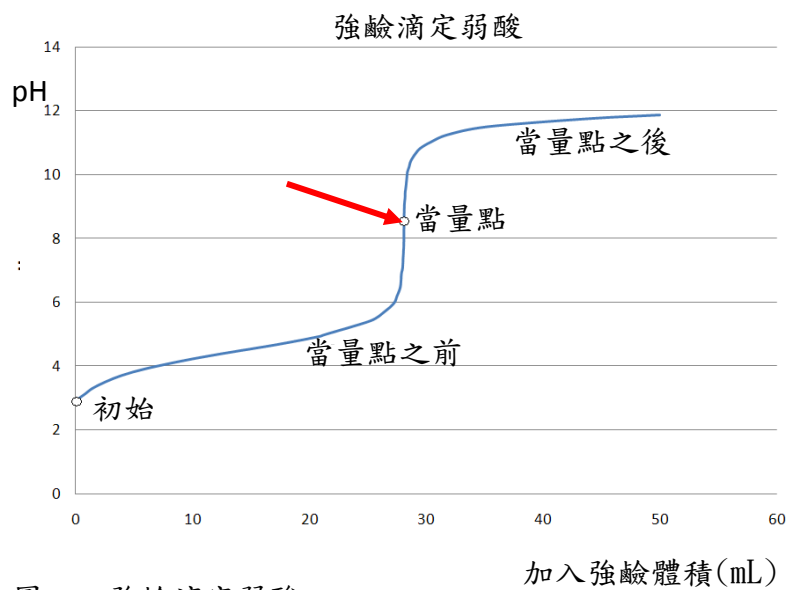
	HCl 實驗值	HCl 理論值	誤差(%)
酚酞			
溴瑞香草酚藍			
甲基橙			

註：誤差 $\frac{\text{HCl 實驗值} - \text{HCl 實驗值}}{\text{HCl 理論值}} \times 100\% =$

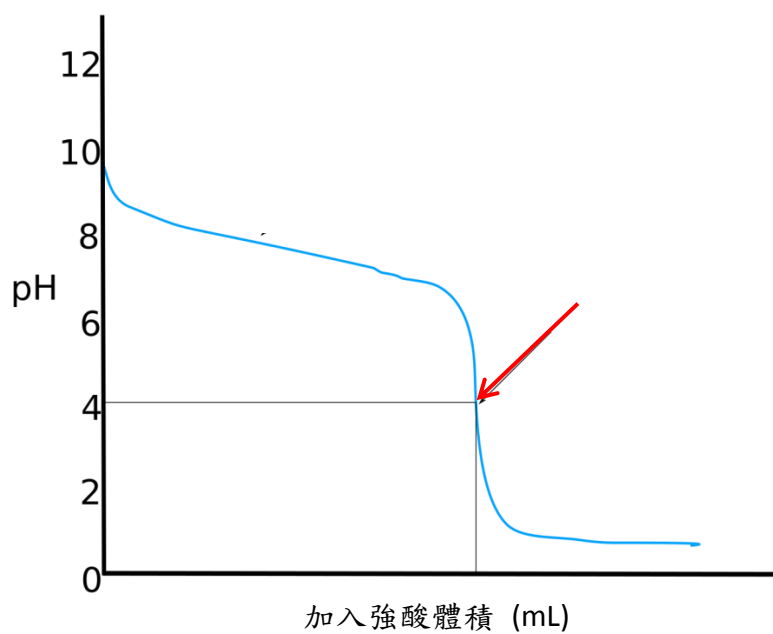
3. 比較上述三種指示劑所算出來的 HCl 濃度差異，並試著從滴定曲線上說明原因，以及如何選取正確的指示劑。



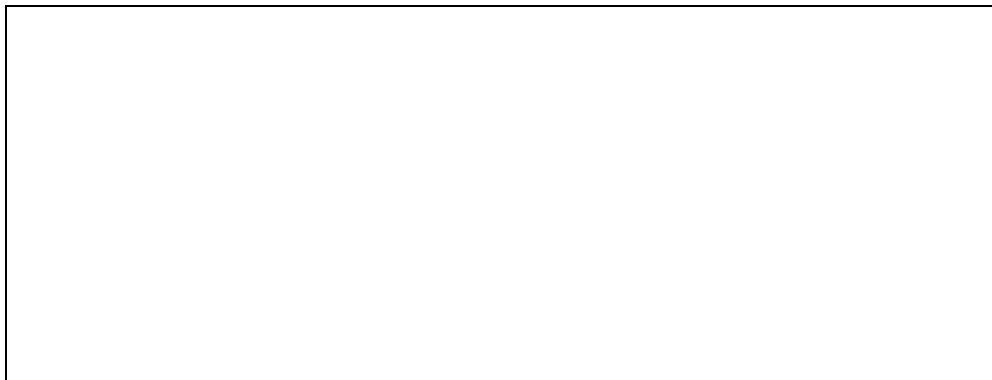
圖一、強鹼滴定強酸



圖二、強鹼滴定弱酸



圖三、強酸滴定弱鹼



4. 根據上題所得指示劑選用的概念，若是將 HCl 換成弱酸 CH_3COOH (醋酸)，要如何設計實驗步驟呢？
(包含：指示劑的選用、空白實驗的設計、滴定未知物濃度的步驟)

選用指示劑：

空白實驗：

滴定未知物：

➤ 實驗數據分析與討論第 3 題之提示卡：(老師依序給予學生提示)

提示卡 1：

指示劑是用來確認酸鹼中和完成的，而在酸鹼中和完成時，指示劑會變色。

且圖中箭頭所指的點，即為酸鹼中和時的 pH 值。

提示卡 2：

請將酚酞、甲基橙、溴瑞香草酚藍的 pH 變色範圍標示於三張圖中。

提示卡 3：

指示劑的 pH 變色範圍，要盡量靠近圖中所指的點，但變色範圍一定要超過 (包含)該點才能變色，才能確實表示酸鹼中和有完成。