

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第一名

030212

酸鹼滴定研究及自製微量滴定裝置

學校名稱：嘉義縣私立協同高級中學(附設國中)

作者： 國二 陳首銘 國二 吳子穫	指導老師： 郭建載
---------------------------------	------------------

關鍵詞：酸鹼滴定、螺旋、氣流

得獎感言

我們的科展初體驗

我們一開始做科展時，先是每天都要學習實驗會用到的基本知識，持續了幾個禮拜辛苦的學習後，終於要開始進到實驗室進行實驗了，但是接下來的辛苦卻是不減反增，我們每天中午、周末放假和寒假的時候都要做科展不能休息，要做實驗、紀錄數據、拍實驗照片，中間也遇到了許多困難的問題要解決，但是每當實驗有所突破時，我們都會很有成就感，也讓我們有持續做下去的動力，最後成功完成了我們的作品。

我們的實驗過程有許多困難的地方，像是如何準確地呈現出實驗結果，我們就要找到一個空間，可以讓我們控制燈光的位置和亮度、攝影機的角度。還有我們為了要讓實驗結果更精準，所以要重複實驗做三十次，如果失敗了還要再重新再來，真的很辛苦。再加上這次的全國科展還受到颱風的影響從，從原本的兩天的實體報告改成了線上報告，這讓我們原本準備好的報告都要重頭來過，又花了很多的時間練習線上報告，不過往好處想，這也讓我們體驗到了實體的海報布置，和線上的報告，其實也還不錯。

我們很開心能夠成功做出這麼棒的實驗結果，不只是因為我們在比賽上得到了好的結果，更多的是因為我們做出來的實驗裝置能夠讓酸鹼滴定這個實驗變得更好操作，實驗結果也能比以前更精準，而且我們的裝置能夠讓實驗的廢液減少，減少資源的浪費。

這次的科展讓我們學到了做實驗要有的謹慎、寫說明書和海報要怎麼才能展現出作品的優點，也訓練了我們報告時的信心和勇氣。我們要感謝指導我們的老師，在我們實驗遇到問題的時候都能給予我們很好的解決辦法，也很努力的幫我們練習報告，才能讓我們成功的完成所有的研究。



全國科展開幕典禮



賀

 一所充滿愛與理想的學校

協同中學 112 學年度
**第 64 屆全國中小學
 科學展覽會**

榮獲國中組化學科大會獎 第一名
聯發科技創造無限可能獎 特優獎

作品題目	學生	指導老師
酸鹼滴定研究及自製微量滴定裝置	陳首銘、 吳子穫	郭建載



我們的獲獎



拍攝實驗結果

摘要

首先以滴管、滴定管、水平微量滴定管等現有滴定裝置進行酸鹼滴定測試，滴定終點時呈現的色澤深淺並不一致，經實驗發現，造成滴定終點色澤深淺不同的主因，是現有滴定裝置產生液滴過大所致。接著針對液滴過大之缺點進行改良，利用螺旋擠壓原理搭配針頭為液滴出口，自製第一代滴定裝置；進而應用氣流吹落殘液，自製第二代滴定裝置。本研究改良型滴定裝置，具備螺旋擠壓液滴、氣流吹落殘液等兩大亮點，可使產生之液滴更微小。最後經實際測試，使用改良型滴定裝置所產生液滴更微小，可使滴定終點更接近當量點，所呈現的淡粉紅色深淺較一致。此全新改良型滴定裝置具備精準度高、操作簡易、成本低廉等優點，深具實用價值，未來有商品化之潛力。

壹、前言

一、研究動機

在課餘時間，我們到到一個好玩的化學實驗－酸鹼中和測試，以酚酞當指示劑，滴定過程會出現紅色又消失。但當到達滴定終點時，紅色就不會再消失。我們發現實驗有趣的地方，每次在滴定終點時，呈現顏色深、淺不同，我們好奇是什麼原因所造成，在網路上找到這個實驗的教學影片⁽⁷⁾，如右圖所示，發現滴定的方法與過程必需相當嚴謹，甚至還要使用專業的實驗器材，操作上的誤差或設備使用錯誤都會造成終點顏色呈現不一樣的結果。



取自：<https://www.learnmode.net/flip/video/50802>.⁽⁷⁾

因此，我們想要知道，實驗中所指的真正滴定終點的顏色應該是什麼顏色？影響每次顏色不相同的原因是什麼？我們萌生一個想法，構想製作一個成本低廉又能精準控制的裝置，讓我們在酸鹼中和實驗中可以精準操作，應該會讓實驗的滴定終點顏色呈現一致，所以開始了我們的研究。

二、研究目的

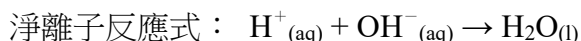
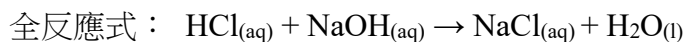
- (一) 瞭解酸鹼中和反應過程及溶液顏色的變化，探討在滴定終點時，溶液顏色不同的原因。
- (二) 自製一個**操作簡便、穩定控制、滴定量小**的改良型滴定裝置，改善現有滴定裝置的缺點。
- (三) 降低製作成本，使改良型滴定裝置可作為未來酸鹼滴定實驗中有力的實驗器材。

三、文獻回顧

(一) 酸鹼滴定

1. 酸鹼中和 (1)(3)(6)(7)

酸(HCl)加鹼(NaOH)會產生酸鹼中和反應，氫離子(H^+)和氫氧根離子(OH^-)結合產生水(H_2O)及鹽類(NaCl)，其反應式如下：



以強鹼(NaOH)滴定強酸(HCl)，其酸鹼中和反應之示意圖，如圖 1 所示。

- (A) 以 $NaOH_{(aq)}$ 滴定 $HCl_{(aq)}$ ，酚酞當指示劑。
- (B) 錐形瓶內 $[H^+] > [OH^-]$ 時，呈現無色。(搖晃後，顏色維持無色)
- (C) 錐形瓶內 $[H^+] = [OH^-]$ 時，呈現無色。(搖晃後，顏色維持無色)
- (D) 錐形瓶內 $[H^+] < [OH^-]$ 時，呈現紅色。(搖晃後，顏色維持紅色)

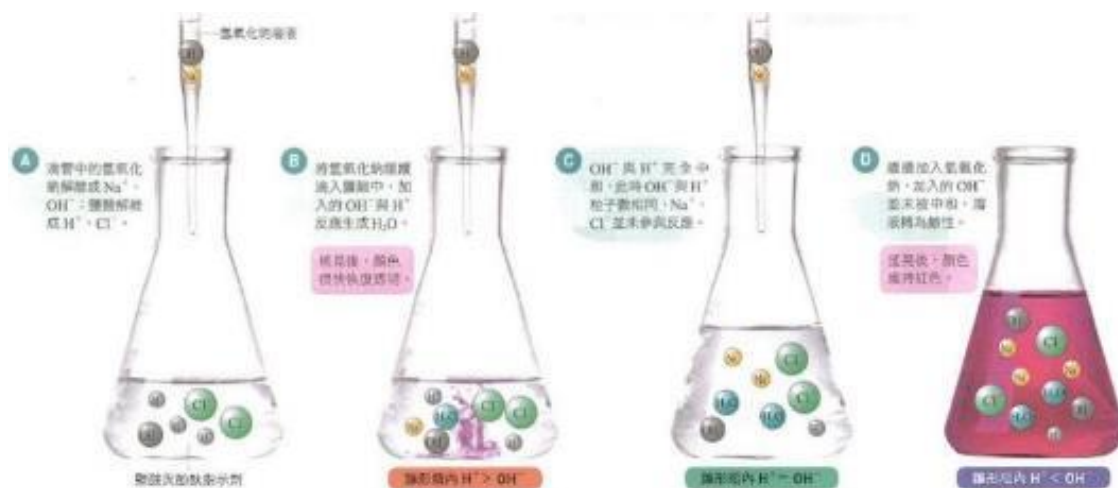


圖 1. 以強鹼(NaOH)滴定強酸(HCl)其酸鹼中和反應之示意圖 (6)

2. 滴定曲線 (1)(2)(3)(11)

將強鹼(NaOH)消耗之體積為橫軸，待測溶液之 pH 值為縱軸進行繪圖，此類關係圖稱為滴定曲線，如圖 2 所示。由滴定曲線可看出滴定時溶液 pH 值的趨勢，可藉由滴定曲線找出合適的指示劑。

在酸鹼滴定過程中，有下列幾個關鍵點：

- (1) **當量點**：當待測溶液之 $[OH^-] = [H^+]$ 時。(強鹼滴定強酸**當量點**之 $pH = 7$)
- (2) **中和點**：當待測溶液之 $[OH^-] = [H^+]$ 時， $pH = 7$ 時。(強鹼滴定強酸**當量點**=**中和點**)
- (3) **滴定終點**：當待測溶液之 $[OH^-] > [H^+]$ 時。(指示劑開始變色時)

指示劑變色時稱為**滴定終點**，強鹼滴定強酸可選用酚酞指示劑，因為酚酞的變色範圍： $pH = 8.3 \sim 10.0$ ，所以**滴定終點** $pH > 8.3$ ，而**當量點** $pH = 7$ ，二者 pH 值並不相同。在滴定過程中，最理想的指示劑應該能恰好在當量點時發生顏色變化，也就是使**滴定終點**剛好為**當量點**，但實際上卻很難使兩點恰為相同，通常可將**滴定終點**視為**當量點**。

3. 酚酞指示劑 (1)(2)

強鹼滴定強酸之滴定曲線如圖 2 所示，達到當量點時，pH 值等於 7 又可稱為中和點。在當量點前後，只要滴定溶液微小的體積變化就能使 pH 值產生甚大之變化。酚酞的變色範圍：pH8.3~10.0，如圖 3 所示，是位於 pH 值變化最大的範圍內，因此酚酞適合做為強鹼滴定強酸之指示劑。

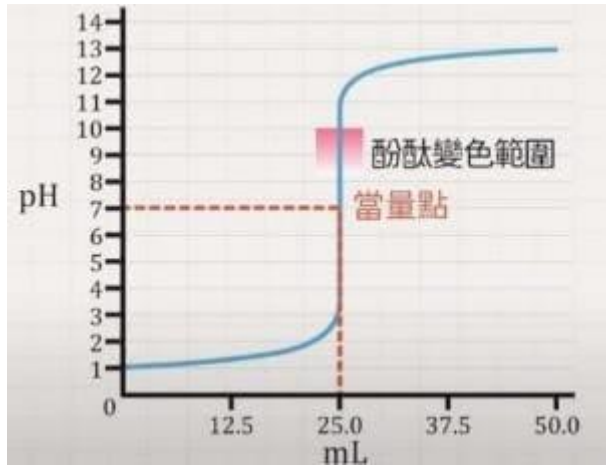


圖 2. 強鹼滴定強酸之滴定曲線⁽¹⁾



圖 3. 酚酞的變色範圍：pH8.3~10.0⁽¹⁾

(二) 微量滴定⁽⁸⁾

1. 微量滴定裝置

將注射針筒、移液管、磨平的注射針頭，三者可組合而成一組「微量滴定裝置」。如圖 4 所示。微量滴定裝置具有：藥品減量、器材縮小、成本更低、操作簡易、減少操作時間等優點。

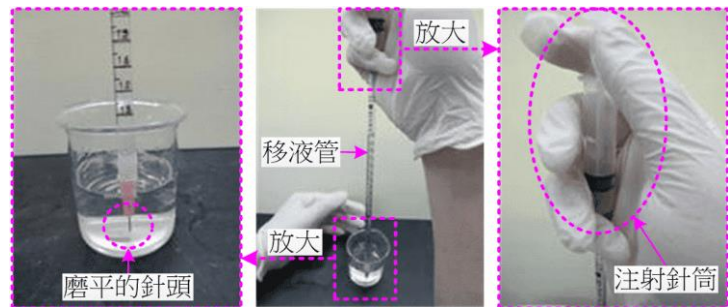


圖 4. 微量滴定裝置⁽⁸⁾

2. 液滴粒徑大小⁽⁴⁾

由相關文獻發現，可利用不同號數之醫療用針頭，產生不同粒徑之水滴。採用質量法測定水滴粒徑大小，藉由電子天秤量測水滴質量，透過密度換算出水滴粒徑大小。結論：隨著針頭號數遞增(針頭口徑遞減)，水滴粒徑也隨之遞減，如圖 5、表 1 所示。

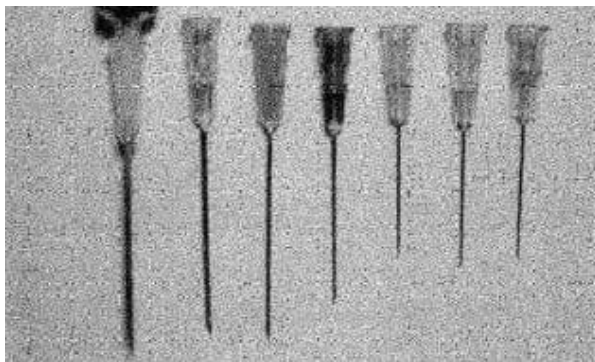


圖 5. 不同號數之醫療用針頭有不同口徑⁽⁴⁾

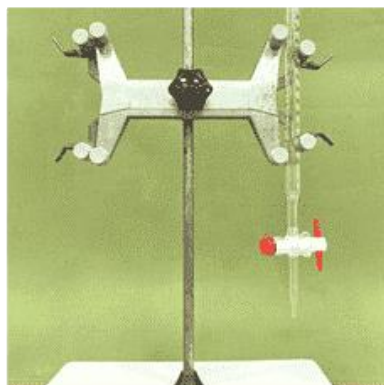
表 1. 針頭口徑遞減水滴粒徑隨之遞減⁽⁴⁾

針號	滴數	總重量(g)	平均水重(g)	水滴粒徑(cm)
1	50	5.368	0.10772	0.5903
2	50	5.001	0.10002	0.5759
3	50	3.243	0.06486	0.4985
4	50	1.877	0.03754	0.4154
5	50	1.263	0.02546	0.3640
18	50	0.921	0.01842	0.3277
19	50	0.846	0.01692	0.3185
20	50	0.610	0.01223	0.2856
21	50	0.581	0.01162	0.2801
22	50	0.483	0.00960	0.2642
23	50	0.401	0.00802	0.2483
24	50	0.421	0.00842	0.2524
25	50	0.311	0.00622	0.2282
26	50	0.313	0.00626	0.2287
27	50	0.296	0.00592	0.2244

貳、研究設備及器材



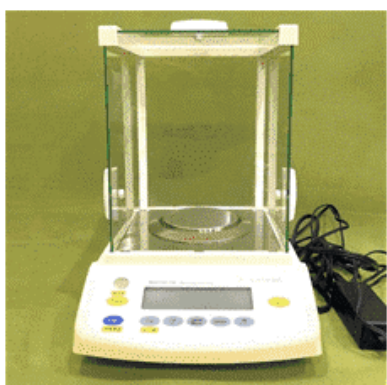
滴管



滴定管



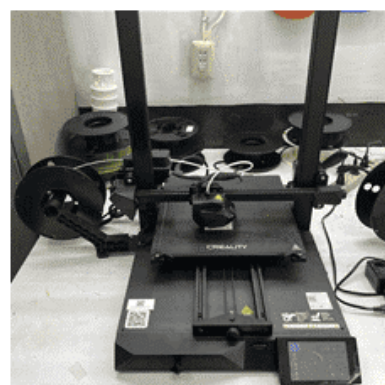
水平微量滴定管



電子天平
Sartorius BSA224S-CW



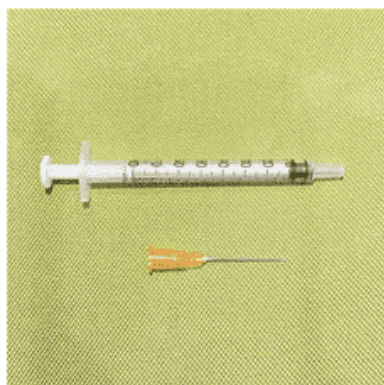
智慧型手機
iPhone 15 Pro



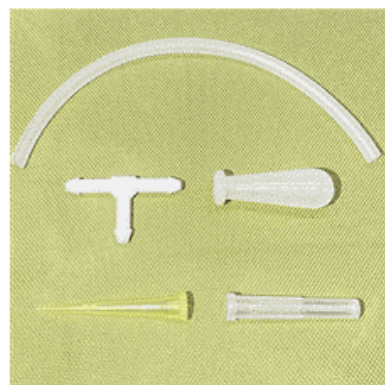
3D 列印機
CREALITY CR-10



公制螺絲(M8×1.25×50)
公制螺帽(M8×1.25)



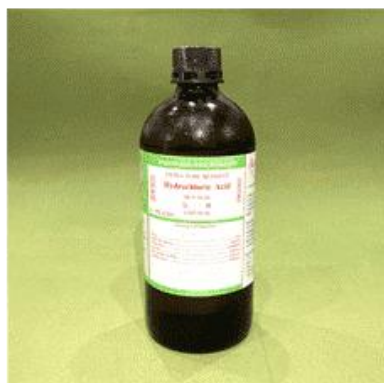
注射針筒(1ml)
注射針頭(0.5×16mm)



氣流裝置零組件



Sodium Hydroxide
(NIHON SHIYAKU REAGENT)



Hydrochloric Acid
(NIHON SHIYAKU REAGENT)



Phenolphthalein
(CHONEYE PURE CHEMICALS)

叁、研究過程與方法

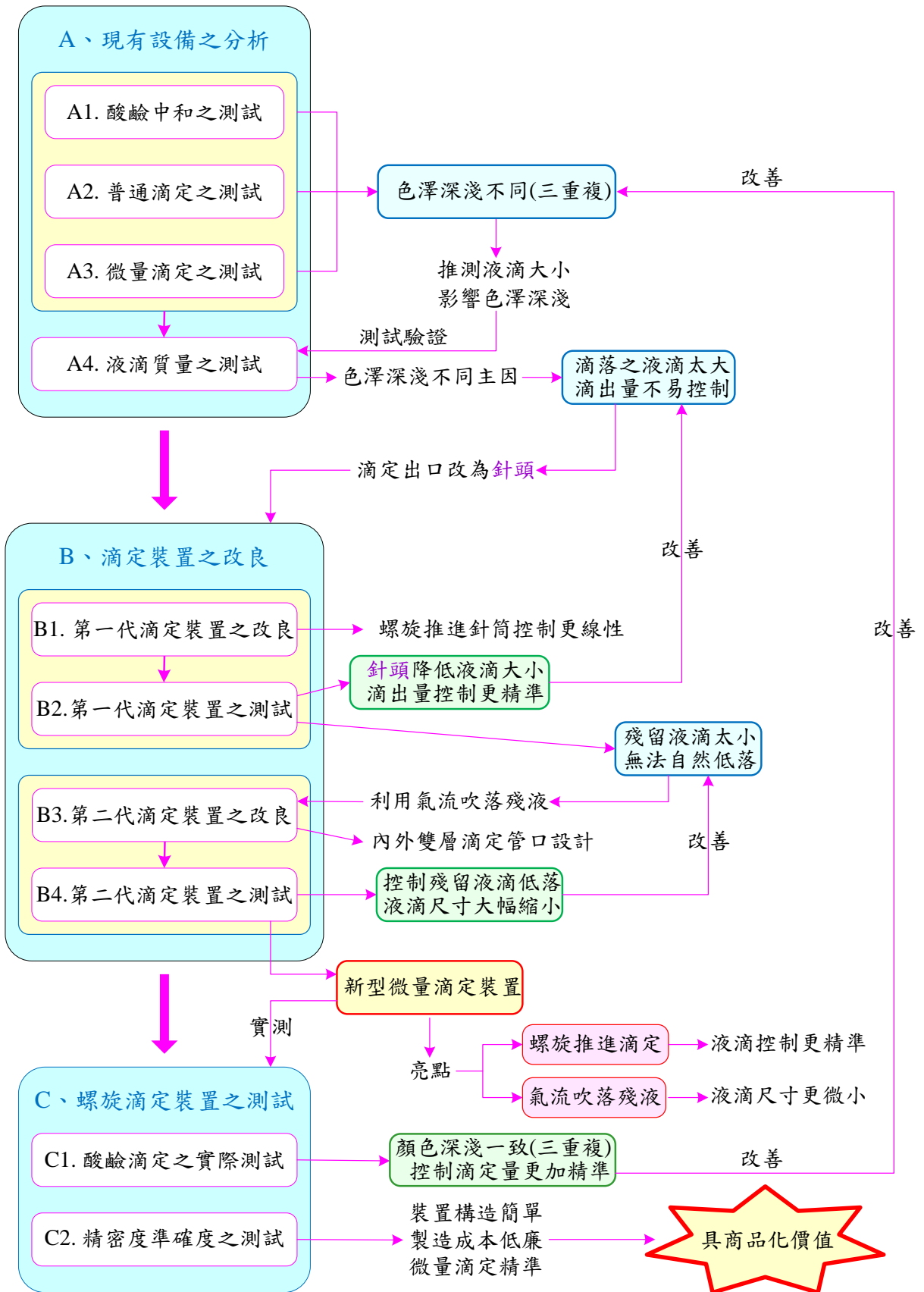


圖 6. 研究架構

一、實驗【A】現有滴定裝置之分析

(一)實驗【A1】酸鹼中和之測試

藉由一般「滴管」進行國中課本中的「酸與鹼的反應」實驗，觀察「酸鹼中和」反應過程之顏色變化情形。

實驗步驟如下：

1. 參考自然科學課本⁽⁶⁾實驗「酸與鹼的反應」方法，進行「酸鹼中和」-將強鹼加入強酸中。
2. 量取 0.1 M 鹽酸溶液 10 mL 置入錐形瓶中，加入 3 滴酚酞指示劑。
3. 以滴管吸取 0.1M 氫氧化鈉溶液，立刻滴定至微紅色，並能維持 30 秒不褪色為終點，如右圖所示。
4. 觀察並拍攝錐形瓶中溶液顏色。
5. 再持續加入氫氧化鈉溶液，觀察並拍攝溶液顏色。
6. 重複《步驟 1~5》，進行三次重複測試。



(二)實驗【A2】普通滴定之測試

本實驗採用可控制滴定管液體流量的「滴定管」進行酸鹼滴定，希望能更精準呈現滴定終點之顏色，預期**滴定終點**之色澤應該較為一致。

實驗步驟如下：

1. 參考高中化學課本⁽³⁾「酸鹼滴定實驗」的方法，進行酸鹼中和滴定-將強鹼加入強酸中。
2. 量取 0.1M 鹽酸溶液 10 mL，置於錐形瓶中，加入 3 滴酚酞指示劑。
3. 將 0.1M 氫氧化鈉溶液倒入「**滴定管**」中，立刻滴定至微紅色，並能維持 30 秒不褪色為終點，如右圖所示。
4. 觀察並拍攝錐形瓶中溶液顏色。
5. 再持續加入氫氧化鈉溶液，觀察並拍攝溶液顏色。
6. 重複《步驟 1~5》，進行三次重複測試。



(三)實驗【A3】微量滴定之測試

本實驗藉由市售的「**水平微量滴定管**」進行酸鹼滴定，希望能更精確控制滴液的大小，預期**滴定終點**之色澤應該較為一致。

實驗步驟如下：

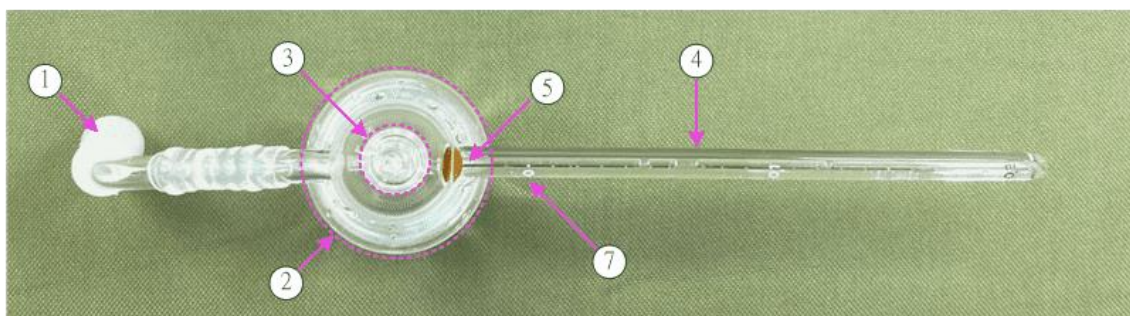
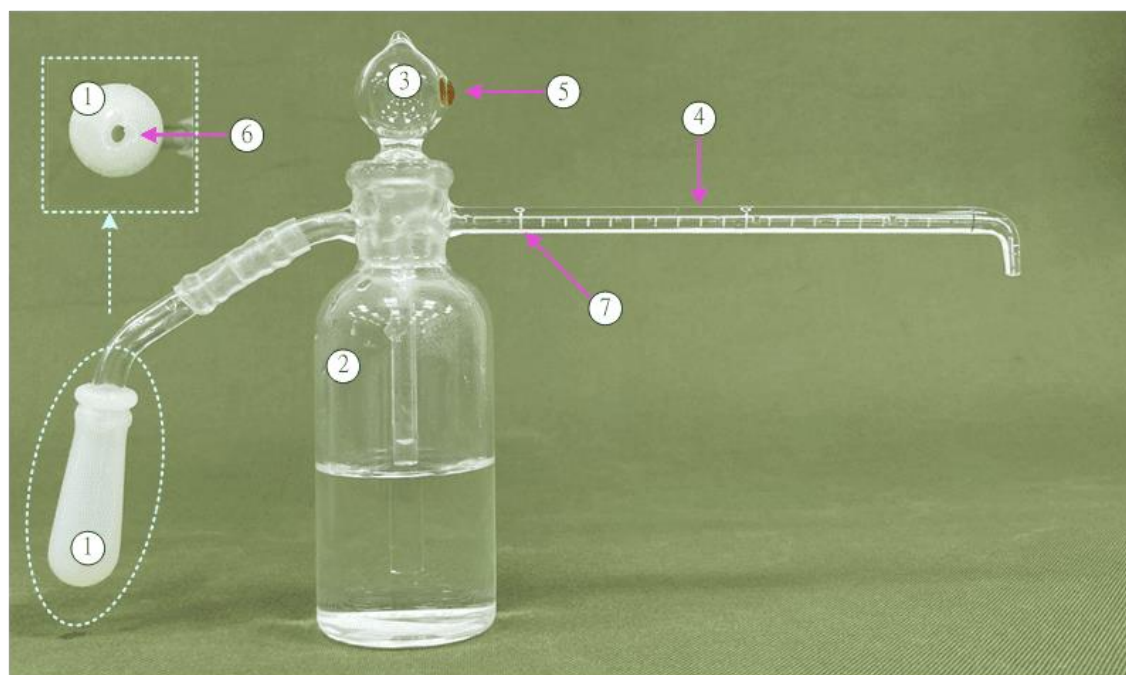
1. 採用市售的「**水平微量滴定管**」如圖 7 所示，進行酸鹼中和滴定-將鹼加入酸中。

- 量取 0.1M 鹽酸溶液 10 mL，置於錐形瓶中，加入 3 滴酚酞指示劑。
- 將 0.1M 氫氧化鈉溶液倒入「水平微量滴定管」中，立刻滴定至微紅色，並能維持 30 秒不褪色為終點，如右圖所示。
- 觀察並拍攝錐形瓶中溶液之顏色。
- 再持續加入氫氧化鈉溶液，觀察並拍攝溶液顏色。
- 重複《步驟 1~5》，進行三次重複測試。



註：「水平微量滴定管」如圖 7 所示，其操作步驟如下⁽⁹⁾：

- 將 0.1M 氫氧化鈉溶液倒入瓶身，再把「③轉頭」插入「②瓶身」。
- 將「③轉頭」的「⑤突出點」轉到指向「④滴定臂」方向。
- 塞住「①橡皮頭」的「⑥底部小孔」。擠壓「①橡皮頭」，使「②瓶身」之氫氧化鈉溶液充滿「④滴定臂」，並排除臂內之氣泡。
- 迅速將「③轉頭」順時針旋轉 45 度，滴定液就會保持於「④滴定臂」中不動。再緩慢的將「③轉頭」以順時針再轉動 45 度。
- 輕壓「①橡皮頭」，使「④滴定臂」之滴定液歸零，即可開始進行滴定。



① 橡皮頭 ② 瓶身 ③ 轉頭 ④ 滴定臂 ⑤ 突出點 ⑥ 底部小孔 ⑦ 零點

圖 7. 「水平微量滴定管」之細部構造圖 (※作者自行拍攝)

(四)實驗【A4】液滴質量之測試

由實驗【A1】、【A2】、【A3】等實驗結果顯示，三次重複測試之滴定終點色澤不一致的原因，我們推測是每一滴鹼液太大所致。本實驗希望針對實驗【A1】、【A2】、【A3】之滴定裝置，大幅增加重複滴定次數，希望更進一步瞭解滴定液體之液滴大小。

實驗步驟如下：

1. 實驗變因：不同滴定裝置 (A1、A2、A3)。

A1：【實驗 A1】所使用之「滴管」。

A2：【實驗 A2】所使用之「滴定管」。

A3：【實驗 A3】所使用之「水平微量滴定管」。

2. 使用手機慢動作影片拍攝功能，拍攝 A1、A2、A3 液滴落下過程之影片，如圖 8 所示。

3. 將《步驟 2》所拍攝液滴落下過程之影片進行截圖，彙整比較不同滴定裝置 (A1、A2、A3) 液滴之大小。



圖 8. 拍攝滴落之液滴大小

4. 分別使用不同滴定裝置 (A1、A2、A3)，進行滴定液質量之量測，如圖 9 所示。



A1 (滴管)



A2 (滴定管)



A3 (水平微量滴定管)

圖 9. 使用不同滴定裝置進行滴定液質量之量測

5. 滴下一滴水至電子天平(靈敏度：0.0001 g)上，並記錄一滴水之質量。
6. 進行《步驟 4~5》三十次重複測試，並紀錄一滴水之質量。
7. 利用 Excel 軟體，計算各不同滴定裝置 (A1、A2、A3)液滴質量之平均值與標準差。
8. 利用 SigmaPlot 軟體進行繪圖，比較不同滴定裝置 (A1、A2、A3)差異。

二、實驗【B】滴定裝置之改良

本研究針對現有的滴定裝置之缺點進行改良，希望能有效降低滴落液滴之大小，預期可較精準控制滴定終點之 pH 值之位置，有時較接近當量點；有時較遠離當量點，這是造成滴定終點呈色不一致的主因。由蒐集到的資料⁽⁸⁾顯示，其「滴定微量裝置」的設計是由移液管、塑膠注射筒、磨平的注射針所組成。操作滴定時，如右圖⁽⁸⁾所示，使用手指擠壓推拉桿的方式，動作不宜過大。我們認為用手指擠壓的力道控制是很難的，這個方式不但操作不穩定而且很難控制滴量，因此這個方式還有很大的改良空間。



塑膠注射筒⁽⁸⁾

(一)實驗【B1】 第一代滴定裝置之改良

國中自然科學課本⁽⁵⁾簡單機械單元，提到螺旋是斜面的一種變形，螺旋上下兩螺紋的垂直距離稱為螺距。順著螺紋轉動一圈，就會軸向移動一個螺距距離。如圖 10 所示，運用螺旋原理，螺桿可以搭配合適的旋鈕，我們就能運用轉動旋鈕的周長距離，來推動螺距位移的距離。我們認為使用手指轉動旋鈕的方式，不會有動作過大。操作上可以穩定且容易控制滴量。

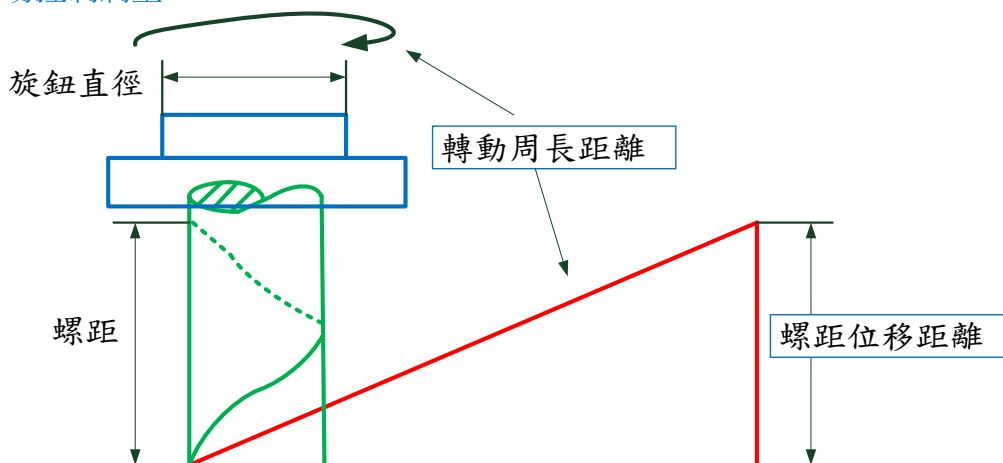


圖 10. 螺旋原理示意說明 (※作者自行繪圖)

本實驗希望能將螺旋推進的方法應用在滴定實驗的操作上，設計一個穩定推進且不會漏液的滴定裝置。

製作步驟如下：

1. 選擇容易購買的 $M8 \times 1.25 \times 50$ 的公制六角長螺絲與螺帽當作螺旋推進桿。
2. 選擇容易購買的小支針筒作為滴定裝置的推進筒。
3. 利用 Solidworks 軟體進行 3D 電腦繪圖，繪製推進裝置框架圖，如圖 11A、11B 所示。
4. 經電腦模擬可行後，利用 3D 印表機列印出推進裝置框架成品，如圖 11C、11D 所示。

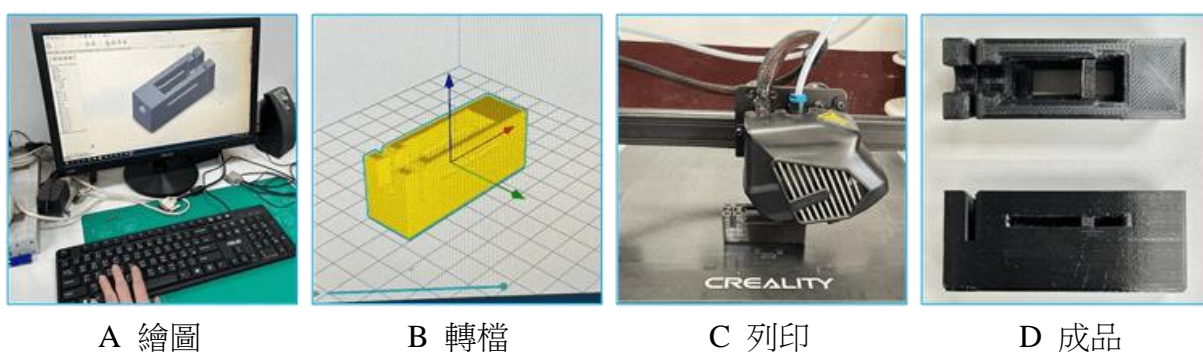
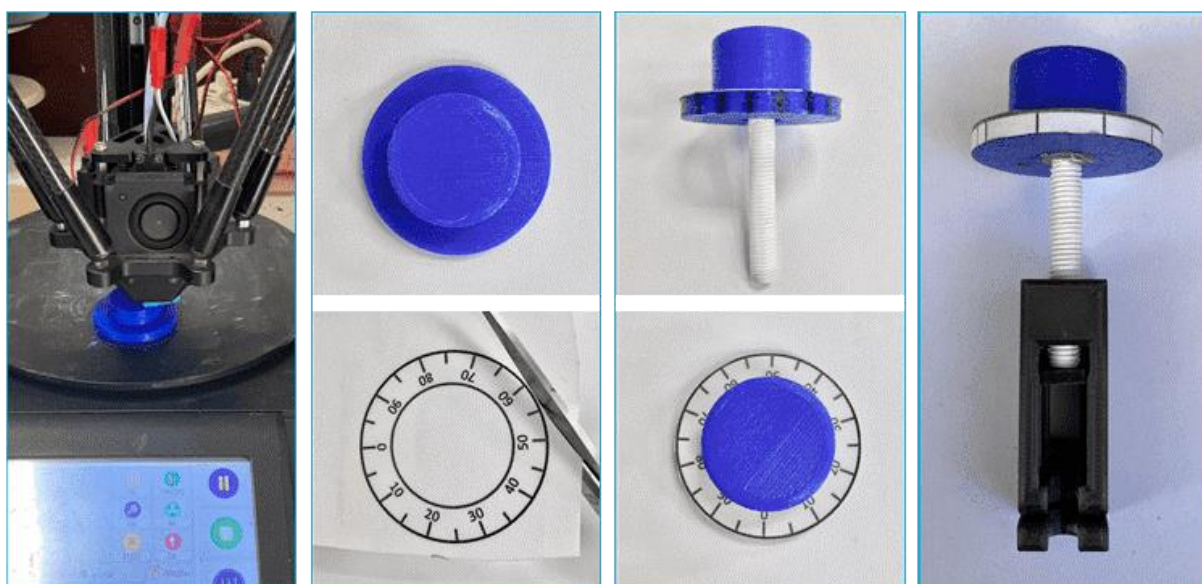


圖 11. 推進裝置框架製作

5. 為了可以準確操作，利用 3D 印表機列印出一個旋鈕，在製作出轉盤刻度，如圖 12A、12B 所示。
6. 完成螺旋推進桿、轉盤刻度與推進裝置框架組裝，如圖 12C、12D 所示。
7. 進行測試，並修正改良。



A 列印轉盤

B 製作刻度

C 螺桿組裝

D 組裝完成

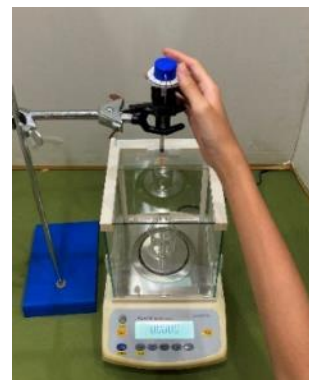
圖 12. 轉盤刻度與螺旋推進裝置製作

(二)實驗【B2】第一代滴定裝置之測試

本實驗希望透過滴定質量的量測，觀察滴定裝置(B1)的每滴液滴質量差異。並比對實驗【A4】結果，觀察自製的第一代滴定裝置是否可穩定操作。

實驗步驟如下：

1. 實驗變因：滴定裝置(B1)，為實驗【B1】所製作之第一代滴定裝置。
2. 使用手機慢動作影片拍攝功能，拍攝 B1 液滴落下過程之影片。
3. 將所拍攝液滴落下過程之影片進行截圖，彙整比較滴定裝置 (A1、A2、A3) 液滴之大小。
4. 使用第一代滴定裝置 (B1)，進行滴定液質量之量測，如右圖所示。
5. 滴下一滴水至電子天平(靈敏度：0.0001 g)上，並記錄一滴水之質量。
6. 進行《步驟 5》三十次重複測試，並紀錄每一滴水之質量。
7. 利用 Excel 軟體，計算 (B1)液滴質量之平均值與標準差，並比較不同滴定裝置(A1、A2、A3、B1)的滴定質量量測結果。
8. 利用 SigmaPlot 軟體進行繪圖，比較不同滴定裝置 (A1、A2、A3、B1)差異。



(三)實驗【B3】第二代滴定裝置之改良

經實驗得知 A3(水平微量滴定管)之液滴質量為 (0.0522 ± 0.0030) g，但滴定管設計可判讀最小刻度為 0.0020 mL。我們猜想，滴定實驗上，想必有滴定更微小質量的需求。因此我們想要思考，是否可以讓第一代滴定裝置可以更微量化，讓每滴滴下的液滴質量可以更小。

由相關文獻⁽⁴⁾指出採用不同口徑大小的針頭去測量所滴出的水滴質量。發現當針頭口徑小到一個程度後，滴出的殘液質量不會隨著針頭口徑尺寸成等比例下降。這可能與殘液與針口的附著力有關，所以想要讓質量較小的殘液滴落，必須給予外力。

實驗【B2】過程也發現，針頭出口處會停留一顆質量較小的殘液。我們構想設計可吹氣的氣流裝置，如圖 13 所示。在針頭出口處，套上一個可吹氣的外管，利用氣體流動將殘液直接吹落，透過實驗評估螺旋推進裝置+自行製作的氣流裝置是否可讓每滴滴下的液滴質量可以更小。

製作步驟如下：

1. 裁切針頭瓶蓋，取用上緣部位，當作針頭連接座使用，如圖 14A 所示。
2. 裁切 T 型連接管，取用直角部位連接管，當作連接吹氣管使用，如圖 14B 所示。
3. 裁切塑膠錐型針頭，取用可連接 T 型連接管部位，當作集中氣流，以吹落殘液使用，如圖 14C 所示。
4. 使用熱熔膠槍，將針頭連接座、直角連接管及塑膠錐型外管接合，完成氣流裝置的吹氣用外管，如圖 14D 所示。

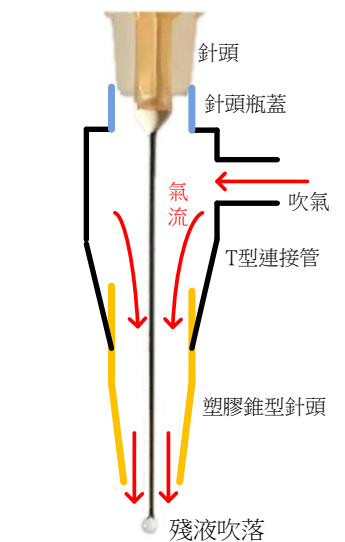


圖 13. 氣流設計示意圖
(※作者自行繪圖)

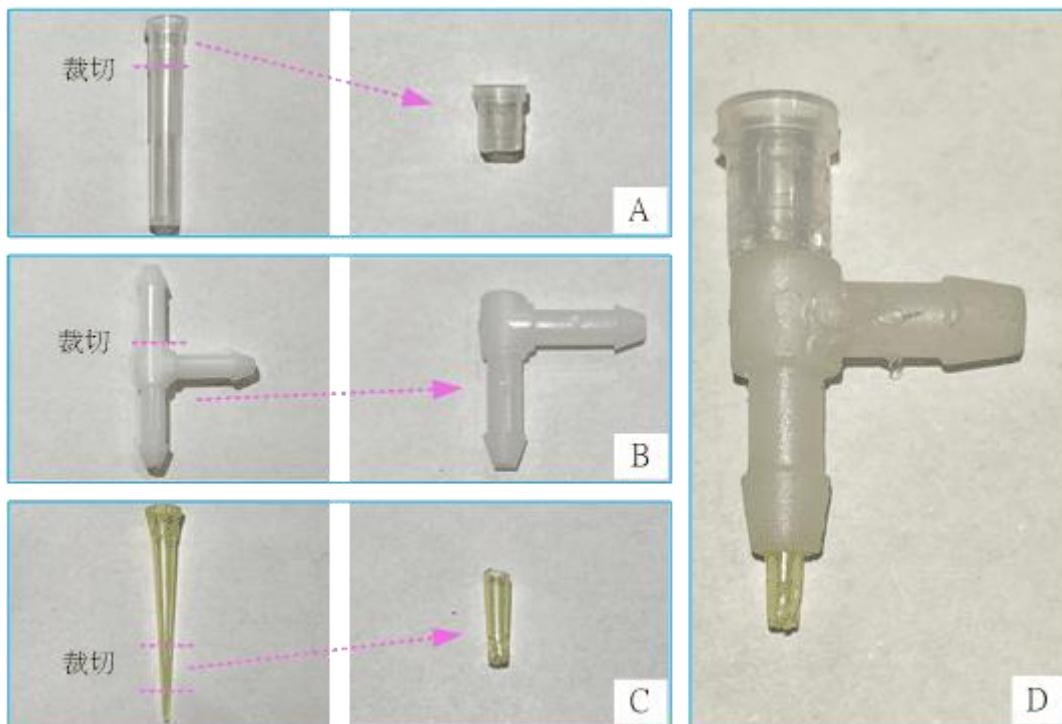
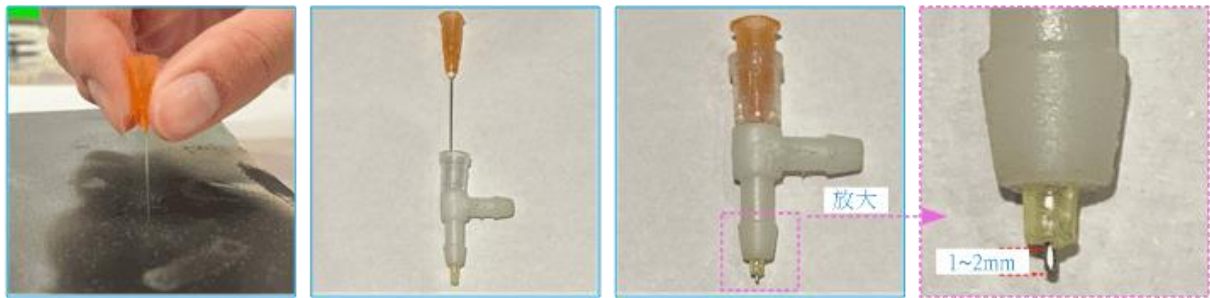


圖 14. 氣流裝置之吹氣用外管製作

5. 取適合的長度針頭進行平頭研磨，作為氣流裝置的內管。並置入於外管內，再調整塑膠錐型外管長度，使內管突出外管距離約 1~2 mm，如圖 15 所示。



A 內管製作

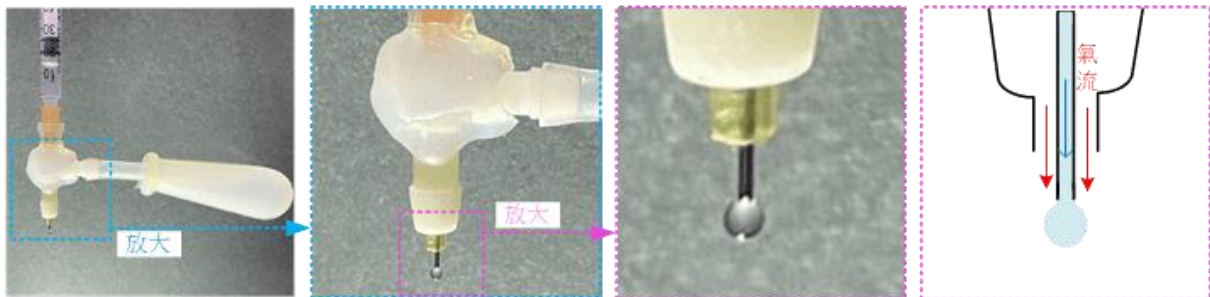
B 置入外管

C 完成製作

D 內管突出外管

圖 15. 氣流裝置之內管製作

6. 使用橡皮頭擠壓吹氣，通氣軟管連接橡皮頭與外管吹氣口，外管上方可順利連接針筒，完成氣流裝置製作，如圖 16 所示。



A 完成組裝

B 氣流裝置

C 內外管配合

D 氣流示意圖

圖 16. 氣流裝置製作完成

(四)實驗【B4】第二代滴定裝置之測試

本實驗希望透過滴定質量的量測，觀察滴定裝置(B3)的滴定質量差異。並比對實驗【A4】、【B2】結果，觀察螺旋推進裝置+氣流裝置，讓滴定液滴質量可微量化。

實驗步驟如下：

1. 實驗變因：滴定裝置(B3)，為實驗【B2】所製作之螺旋推進裝置+氣流裝置。
2. 使用手機慢動作影片拍攝功能，拍攝 B3 液滴落下過程之影片。
3. 將所拍攝液滴落下過程之影片進行截圖，彙整比較滴定裝置(A1、A2、A3、B1)液滴之大小。
4. 使用滴定裝置(B3)，進行滴定液質量之量測，如右圖所示。
5. 每次旋轉轉盤刻度一大格($\frac{1}{10}$ 圈)，再將滴定殘液吹落至電子天平(靈敏度：0.0001 g)上，並記錄一滴水的質量。
6. 進行《步驟 5》三十次重複測試，並紀錄每次吹落殘液之質量。
7. 利用 Excel 軟體，計算(B3)液滴質量之平均值與標準差，並比較不同滴定裝置(A1、A2、A3、B1、B3)的滴定質量量測結果。
8. 利用 SigmaPlot 軟體進行繪圖，比較不同滴定裝置(A1、A2、A3、B1、B3)差異。



三、實驗【C】改良型滴定裝置之測試

(一)實驗【C1】酸鹼滴定之實際測試

使用自製的改良型滴定裝置，進行鹼(氫氧化鈉溶液)加入酸(鹽酸溶液)之實驗測試，瞭解酸鹼中和反應過程及溶液顏色的變化，觀察滴定終點時，呈現溶液的顏色差異。

實驗步驟如下：

1. 參考「酸鹼滴定」相關資料。
2. 取 0.1M 鹽酸溶液 10.00 mL，置於小燒杯中。
3. 於小燒杯中加入 3 滴酚酞指示劑。
4. 量取溶液 1.00 mL，置於小玻璃瓶中，立刻用 0.1M 氫氧化鈉溶液滴定至微紅色，並維持 30 秒不褪色為終點，如右圖所示。
5. 持續逐滴加入氫氧化鈉溶液，直到小玻璃瓶內溶液顏色改變，且維持 30 秒不消失，觀察並拍攝溶液顏色。
6. 觀察並拍攝小玻璃瓶中溶液顏色。
7. 再持續加入氫氧化鈉溶液，觀察並拍攝溶液顏色。
8. 重複《步驟 4~7》，進行三次重複測試。



(二)實驗【C2】精密度精準度之測試

完成自製的改良型滴定裝置後，可以進一步度量每個轉盤刻度的滴定質量，作為預測需要轉動圈數的參考依據。

實驗步驟如下：

1. 分別轉動轉盤刻度：「1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0」圈
2. 再將滴定殘液吹落至電子天平上，並記錄每一滴水的質量。
3. 精細分別轉動轉盤刻度「0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0」圈。
4. 再將滴定殘液吹落至電子天平上，並記錄每一滴水的質量。
5. 各刻度滴定質量，取三重複，並紀錄之。
6. 利用 Excel 軟體，計算各轉盤刻度的滴定質量的平均值與標準差。
7. 利用 SigmaPlot 軟體進行繪圖，觀察轉盤刻度與滴定質量之趨勢曲線。

肆、研究結果

一、實驗【A】現有滴定裝置之分析

(一)實驗【A1】酸鹼中和之測試

1. 以 0.1M 氫氧化鈉溶液滴定至粉紅色，並能維持 30 秒不褪色，此時為**滴定終點**。我們進行三次重複測試，但滴定終點呈現的粉紅色深淺並不一致，如圖 17A 所示。
2. 持續加入氫氧化鈉溶液，錐形瓶中溶液呈現較深的紅色，此時為**滴定過量**，再持續滴入氫氧化鈉溶液，紅色並沒有再加深。我們進行三次重複測試，**滴定過量**呈現的紅色深淺一致，如圖 17B 所示。



圖 17. 以一般「**滴管**」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

(二)實驗【A2】普通滴定之測試

1. 以 0.1M 氫氧化鈉溶液滴定至粉紅色，並能維持 30 秒不褪色，此時為**滴定終點**。我們進行三次重複測試，但滴定終點呈現的粉紅色深淺並不一致，如圖 18A 所示。
2. 持續加入氫氧化鈉溶液，錐形瓶中溶液呈現較深的紅色，此時為**滴定過量**，再持續滴入氫氧化鈉溶液，紅色並沒有再加深。我們進行三次重複測試，**滴定過量**呈現的紅色深淺一致，如圖 18B 所示。



圖 18. 以「**滴定管**」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

(三)實驗【A3】 微量滴定之測試

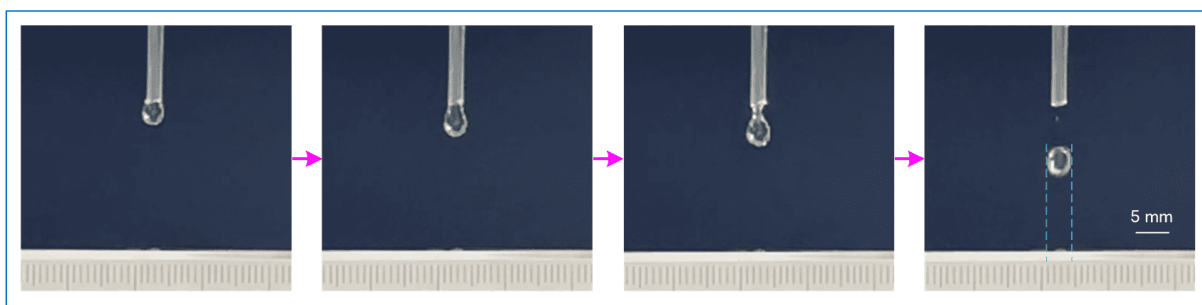
1. 以 0.1M 氫氧化鈉溶液滴定至粉紅色，並能維持 30 秒不褪色，此時為**滴定終點**。我們進行三次重複測試，但採用**滴定終點**呈現的粉紅色深淺並不一致，如圖 19A 所示。
2. 持續加入氫氧化鈉溶液，錐形瓶中溶液呈現較深的紅色，此時為**滴定過量**，再持續滴入氫氧化鈉溶液，紅色並沒有再加深。我們進行三次重複測試，**滴定過量**呈現的紅色深淺一致，如圖 19B 所示。



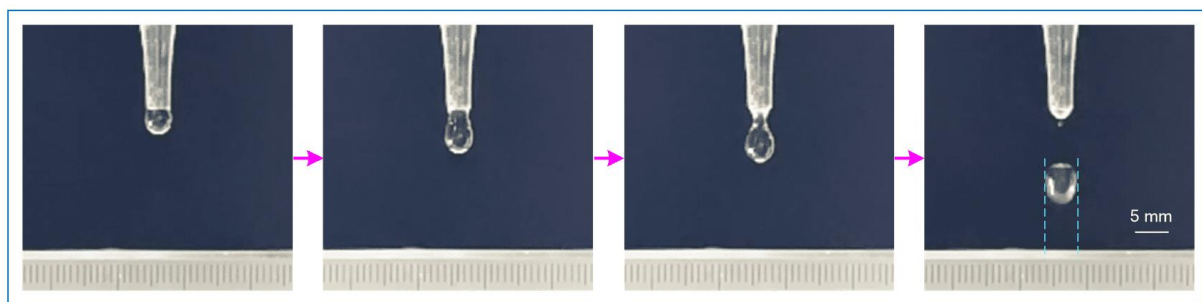
圖 19. 以「水平微量滴定管」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

(四)實驗【A4】 液滴質量之測試

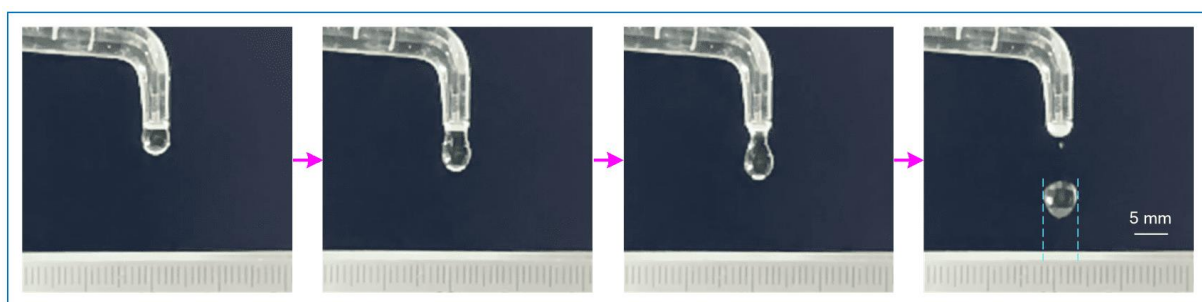
1. 將 A1、A2、A3 液滴落下過程之影片進行截圖，不同滴定裝置所滴落液滴之大小，如圖 20 示。A1 (滴管) 所滴落之液滴尺寸明顯較小；A2 (滴定管)與 A3 (水平微量滴定管) 二者所滴落之液滴尺寸大小相近，但明顯大於 A1 (滴管)所滴落之液滴。
2. 由表 2、圖 21 顯示，現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴之質量。A1(滴管)液滴之質量 (0.0348 ± 0.0030) g，明顯小於 A2 (滴定管)與 A3 (水平微量滴定管)液滴之質量。但 A2 (滴定管)液滴質量 (0.0486 ± 0.0006) g 與 A3 (水平微量滴定管) (0.0522 ± 0.0030) g，所滴落液滴之質量二者則差異不明顯。



A1 (滴管)



A2 (滴定管)



A3 (水平微量滴定管)

圖 20. 現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴大小之差異

表 2. 現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴質量之差異

使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030

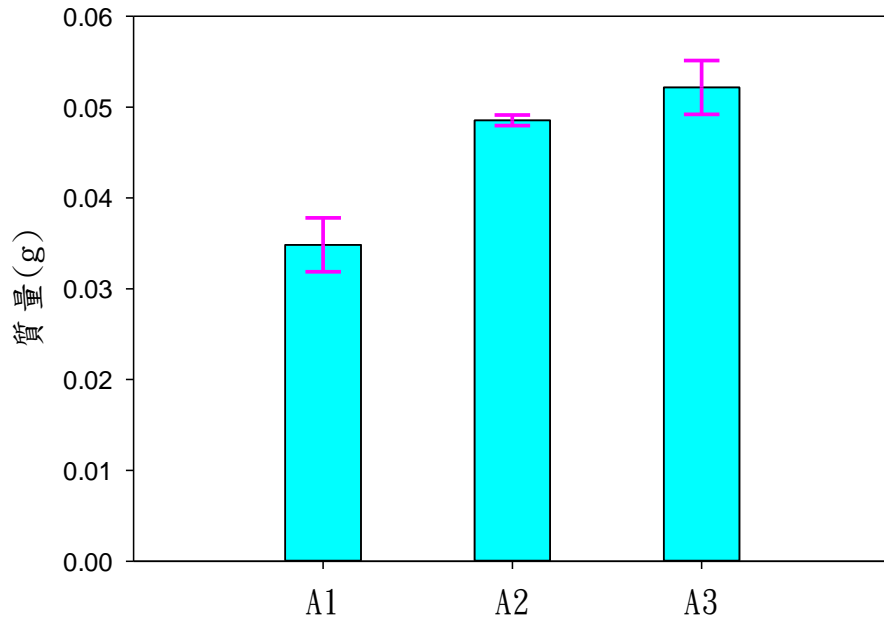


圖 21. 現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴質量之比較

二、實驗【B】滴定裝置之改良

(一)實驗【B1】第一代滴定裝置之改良

1. 螺旋推進裝置，可讓推進桿緩慢的軸向位移，設計一個針筒固定溝槽，方便針筒拿取及固定於推進裝置框架上，設計一個軸向滑槽，讓螺旋推進桿可以軸方向推動針筒推拉桿，如圖 22 所示。

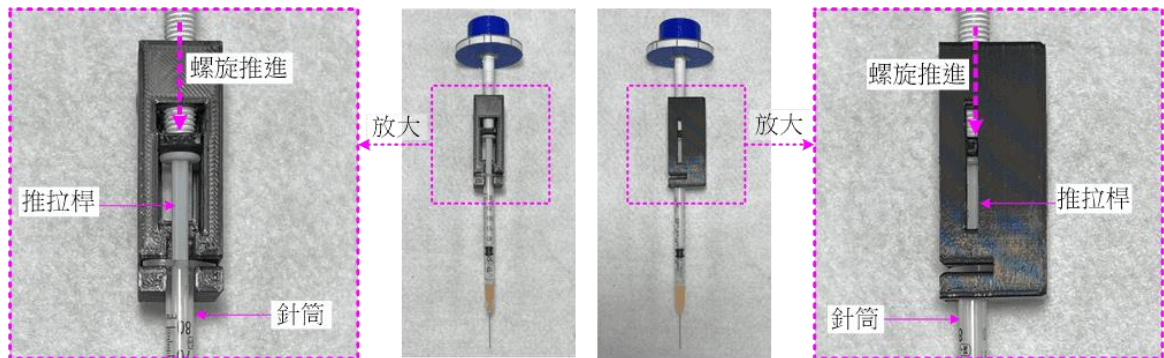


圖 22. 第一代滴定裝置構造之說明

2. 螺旋推進可穩定控制，讓溶液附著於針頭出口處形成液滴，再緩慢增加質量而自然滴落，如圖 23 所示。

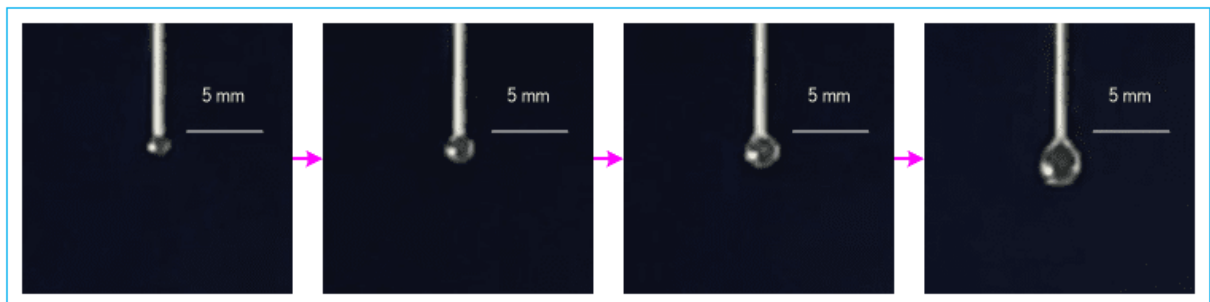


圖 23. 螺旋推進使針頭出口處液滴逐漸變大

(二)實驗【B2】第一代滴定裝置之測試

1. 將 B1 液滴落下過程之影片進行截圖，第一代滴定裝置所滴落液滴之大小，如圖 24 所示。B1 (第一代滴定裝置)所滴落之液滴尺寸明顯更小。

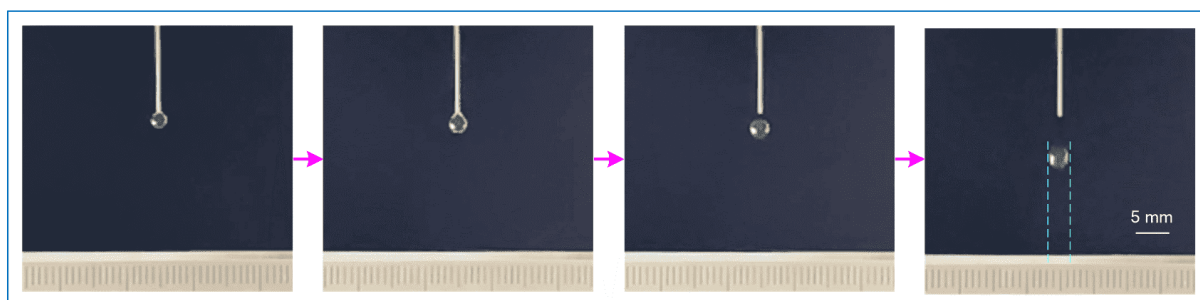


圖 24. 第一代滴定裝置之測試

2. 由表 3、圖 25 顯示，使用第一代滴定裝置與實驗【A4】結果差異。B1 (第一代滴定裝置)液滴之質量 (0.0094 ± 0.0002) g，明顯小於 A1 (滴管)、A2 (滴定管)與 A3 (水平微量滴定管)等現有滴定裝置液滴之質量。

表 3. 第一代滴定裝置與現有滴定裝置之液滴質量差異

使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030
B1 (第一代滴定裝置)	0.0094	0.0002

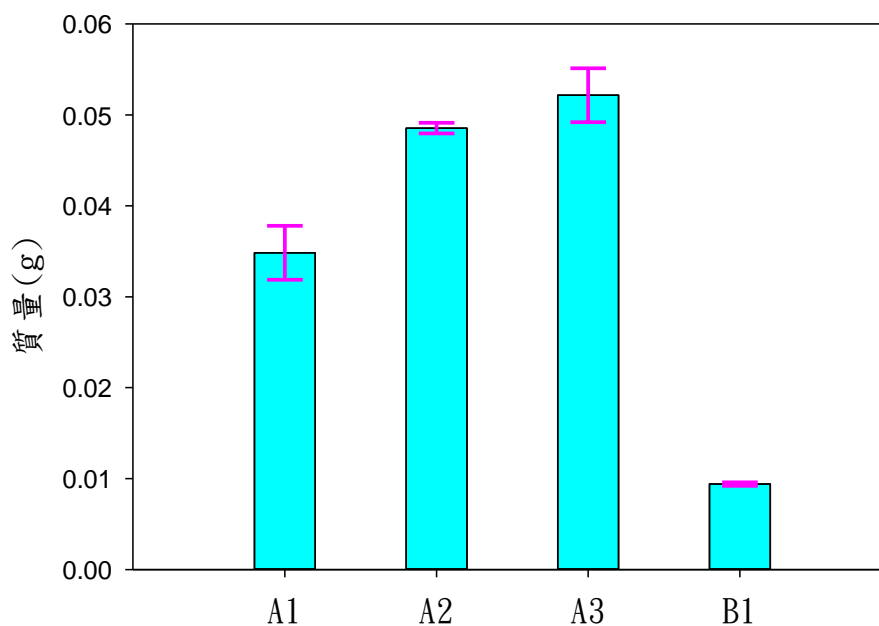
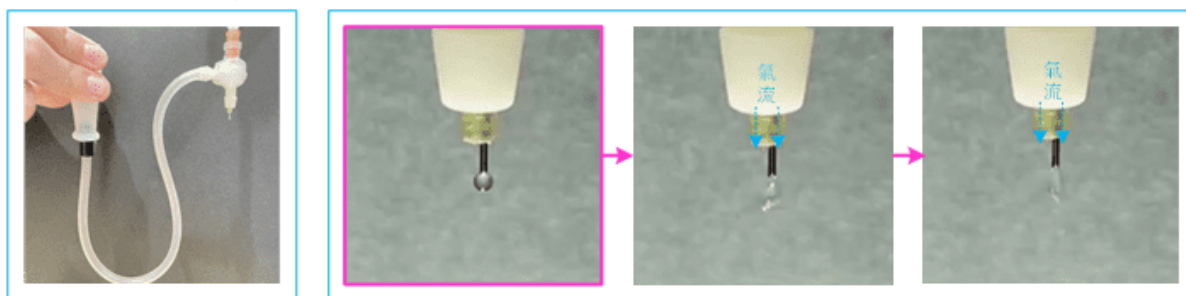


圖 25. 第一代滴定裝置與現有滴定裝置之液滴質量比較

(三)實驗【B3】 第二代滴定裝置之改良

1. 可調整塑膠錐型外管長度，使內管突出外管約 1 ~ 2 mm 距離。
2. 擠壓橡皮頭測試，如圖 26A 所示；微小的氣體擠壓可以將針頭出口處的殘液直接吹落如圖 26B 所示。



A. 擠壓橡皮頭

B. 殘液吹落

圖 26. 擠壓橡皮頭吹落殘液之測試

3. 自製完成改良型滴定裝置(第二代滴定裝置)，如圖 27 所示。

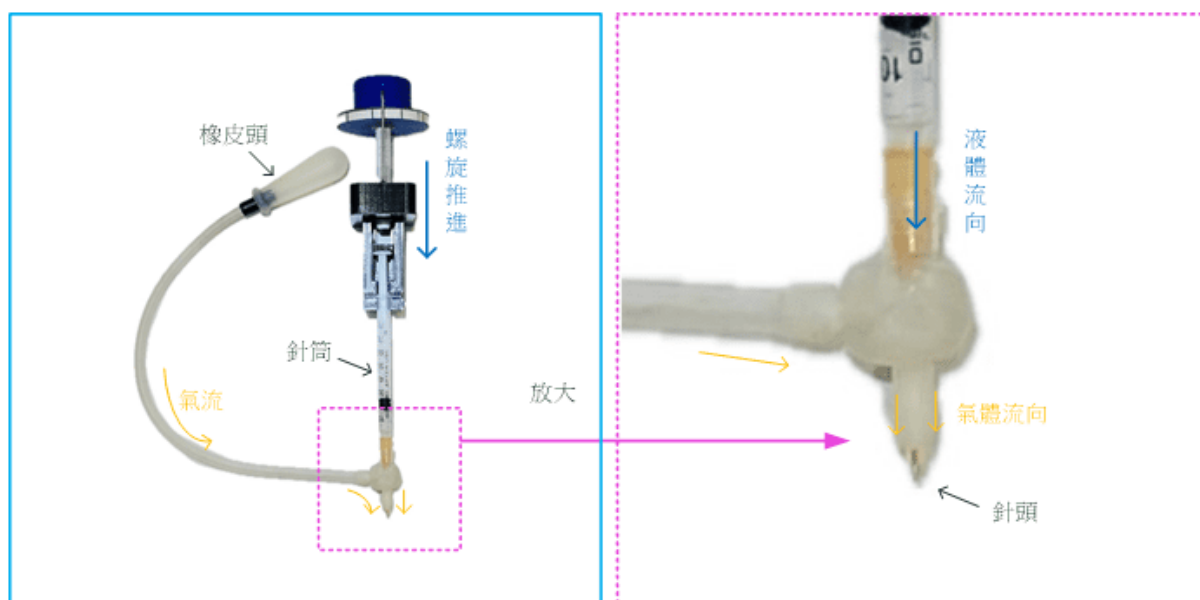


圖 27. 自製的改良型滴定裝置(第二代滴定裝置)

(四)實驗【B4】 第二代滴定裝置之測試

1. 將 B3 吹落殘液過程之影片進行截圖，螺旋推進裝置+氣流裝置所吹落液滴之大小，如圖 28 所示，B3(第二代滴定裝置)所吹落之液滴尺寸明顯更小。

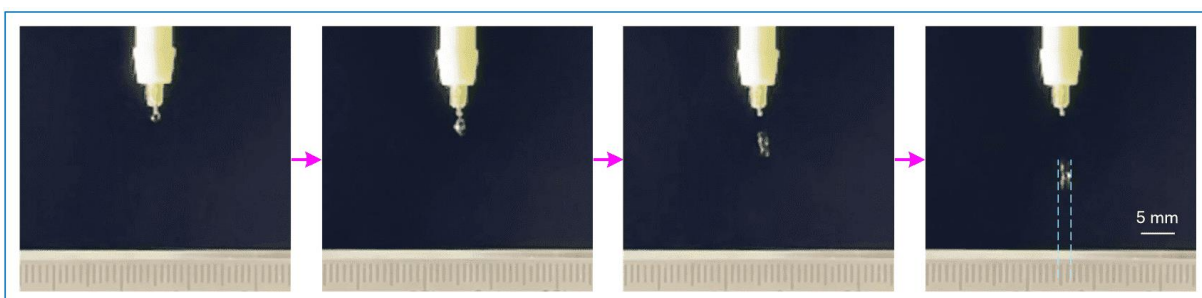


圖 28. 氣流裝置之測試

2. 由表 4、圖 29 顯示，螺旋推進裝置+氣流裝置所吹落液滴結果差異，B3 (第二代滴定裝置)液滴質量 (0.0022 ± 0.0003) g，明顯更小於 B1 (第一代滴定裝置)液滴質量。

表 4. 不同滴定裝置的液滴質量之差異

使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030
B1 (第一代滴定裝置)	0.0094	0.0002
B3 (第二代滴定裝置)	0.0022	0.0003

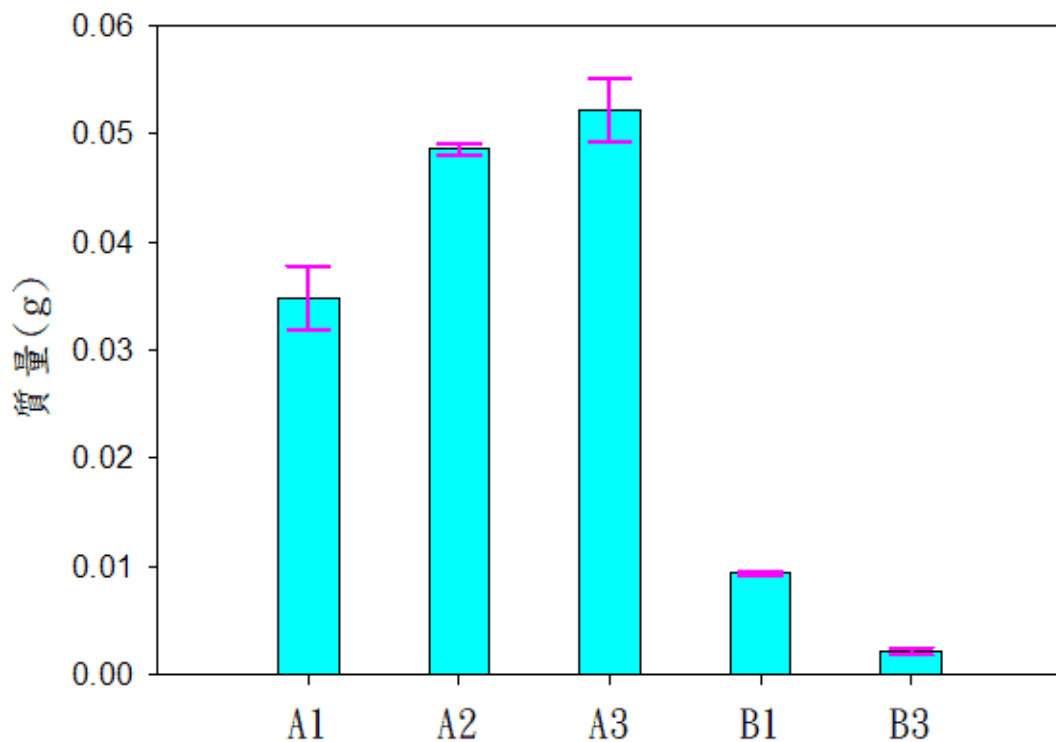


圖 29. 不同滴定裝置的液滴質量之比較

三、實驗【C】改良型滴定裝置之測試

(一)實驗【C1】酸鹼滴定之實際測試

1. 滴定終點(溶液顏色維持 30 秒不褪色)的小玻璃瓶中溶液顏色皆呈現淡粉紅色，如圖 30A 所示。
2. 持續加入氫氧化鈉溶液到小玻璃瓶內，使其滴定過量，溶液顏色變得更深也不會褪色，如圖 30B 所示。



圖 30. 以改良型滴定裝置進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

(二)實驗【C2】精密度精準度之測試

1. 由表 5、圖 31 顯示，轉盤刻度(1.0~10 圈)與滴定質量呈現顯著的線性關係。
2. 由表 6、圖 32 顯示，轉盤刻度(0.1~1.0 圈)與滴定質量呈現顯著的線性關係。

表 5. 轉盤刻度(1~10 圈)之滴定質量差異

刻度	質量(g)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1.0	0.0226	0.0228	0.0229	0.0228	0.0002
2.0	0.0458	0.0462	0.0457	0.0459	0.0003
3.0	0.0687	0.0696	0.0698	0.0694	0.0006
4.0	0.0948	0.0930	0.0941	0.0940	0.0009
5.0	0.1126	0.1137	0.1124	0.1129	0.0007
6.0	0.1403	0.1401	0.1386	0.1397	0.0009
7.0	0.1629	0.1640	0.1643	0.1637	0.0007
8.0	0.1858	0.1857	0.1857	0.1857	0.0001
9.0	0.2081	0.2083	0.2089	0.2084	0.0004
10.0	0.2321	0.2333	0.2332	0.2329	0.0007

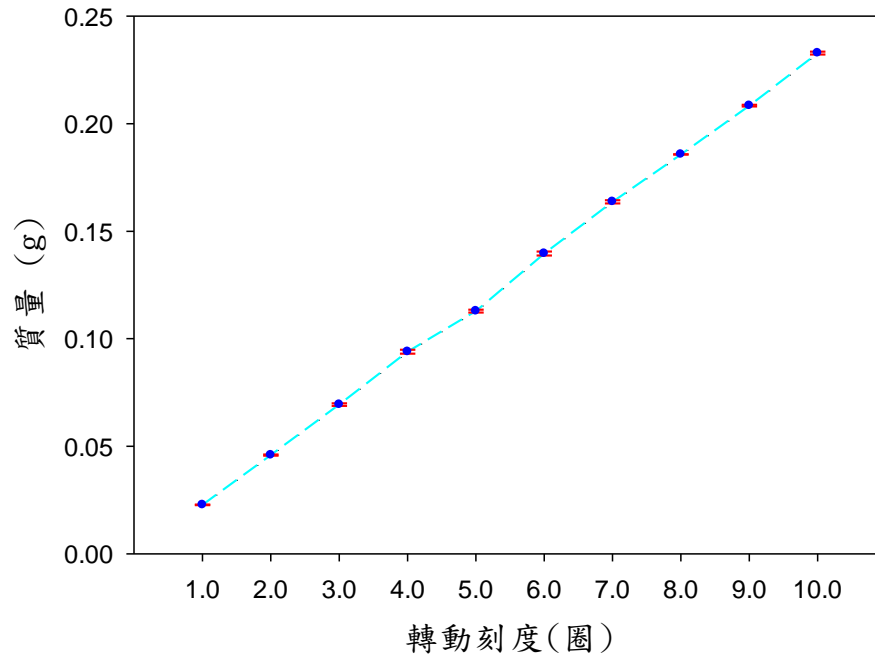


圖 31. 轉盤刻度(1~10 圈)與滴定質量關係圖

表 6. 轉盤刻度(0.1~1.0 圈)之滴定質量差異

刻度	質量(g)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
0.1	0.0021	0.0025	0.0020	0.0022	0.0003
0.2	0.0040	0.0045	0.0043	0.0043	0.0003
0.3	0.0062	0.0064	0.0064	0.0063	0.0001
0.4	0.0090	0.0084	0.0087	0.0087	0.0003
0.5	0.0113	0.0109	0.0107	0.0110	0.0003
0.6	0.0132	0.0136	0.0135	0.0134	0.0002
0.7	0.0158	0.0154	0.0152	0.0155	0.0003
0.8	0.0178	0.0182	0.0183	0.0181	0.0003
0.9	0.0204	0.0207	0.0206	0.0206	0.0002
1.0	0.0226	0.0228	0.0229	0.0228	0.0002

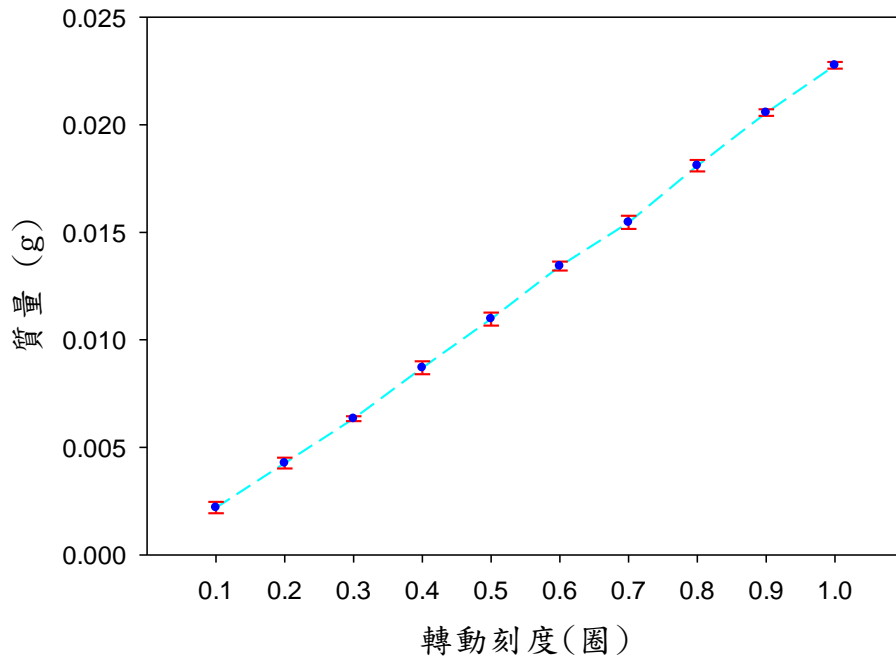


圖 32. 轉盤刻度(0.1~1.0 圈)與滴定質量關係圖

伍、討論

一、現有滴定裝置之實驗操作分析

- (一) 以 **A1 (滴管)**進行滴定實驗時，是使用手指擠壓橡皮頭控制滴定量，但是手指擠壓力道控制不易，每一滴鹼液大小不一，亦可能導致滴定終點色澤深淺不一致。
- (二) **A2 (滴定管) (burette)**，常用於定量分析實驗，可透過活栓(stopcock)較精確控制滴定管液體流量⁽¹⁰⁾。進行滴定實驗時，我們推測每一滴鹼液(氫氧化鈉溶液)太大，是導致**滴定終點**色澤不一致的重要原因。
- (三) **A3 (水平微量滴定管)**，適用於微量的容量分析，其滴定臂之容量：0.15ml，最小刻度：0.002ml，**滴定終點**呈現的粉紅色深淺依然不一致。我們以肉眼觀察，每一滴鹼液仍然太大，推測這是導致**滴定終點**色澤不一致的主因。
- (四) 雖然本實驗所採用的 **A3 (水平微量滴定管)**，適用於微量的容量分析，但操作步驟較為繁瑣。對初次使用者而言，必須耗費較長時間熟悉「**水平微量滴定管**」之滴定操作。
- (五) 由實驗結果顯示，**A1**所滴落之液滴尺寸明顯小於**A2**、**A3**二者。我們推測可能是因**A1**液滴出口管徑較小，導致其所滴落之液滴較小；**A2**、**A3**液滴出口管徑相似，導致二者所滴落之液滴大小相近。
- (六) 我們也發現標準差之差異，**A1**、**A3**液滴質量之標準差(0.0030g)明顯較大；而**A2**液滴質量之標準差(0.0006g)明顯較小。因此我們推測可能是因**A1**、**A3**是靠手指**擠壓橡皮頭**，施力不易穩定控制，導致液滴質量之標準差明顯較大；而**A2**是靠手指**轉動旋鈕**，施力較易穩定控制，導致液滴質量之標準差明顯較小。

二、「水平微量滴定管」結構分析

(一) 深入分析「水平微量滴定管」其結構後，發現其關鍵結構是「轉頭」，「轉頭」下方圓周面共有 4 個孔(3 個小孔及 1 個大孔)，每隔 90 度分布一孔，如圖 33 所示。

(二) 「水平微量滴定管」「轉頭」作動原理如下：

1. 吸取滴定液

將突出點指向滴定臂時，「大孔①」水平方向可連通滴定臂；「大孔①」鉛直方向可連通瓶身底部，形成一個吸取滴定液的管路通道。以手指阻塞橡皮頭底部小孔，同時擠壓橡皮頭，氣體壓力由「小孔③」進入瓶身，氣體壓力擠壓瓶身底部，導致滴定液經由「大孔①」流向滴定臂。

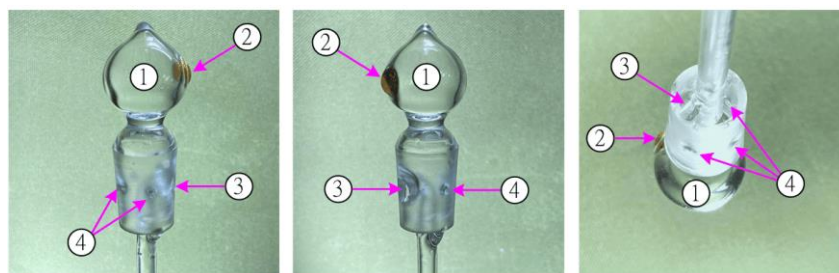
2. 滴定液歸零

接著將轉頭再轉動 45 度，使「大孔①」與「小孔③」不再連通，滴定臂中的滴定液應靜止不動。繼續轉動 45 度，使「小孔②」與「小孔④」連通，此時，以手指阻塞橡皮頭底部小孔，同時擠壓橡皮頭，氣體壓力可由經「小孔②」與「小孔④」之管路通道進入滴定臂，氣體壓力擠壓滴定臂內之滴定液，調整滴定液與刻度「0」對齊，使得滴定液「歸零」。

3. 滴定液流量控制

完成滴定液「歸零」後，「轉頭」固定不動，此時「小孔②」與「小孔④」維持連通狀態，接著以手指阻塞橡皮頭底部小孔，同時擠壓橡皮頭，氣體壓力可由經「小孔②」與「小孔④」之管路通道進入滴定臂，氣體壓力擠壓滴定臂內之滴定液，藉由手指擠壓橡皮頭之力道控制滴定液流量。

(三) 由於水平微量滴定管細部構造較複雜，利用「轉頭」內含 1 個大孔及 3 個小孔將液體與氣體分流，初次使用者真的不容易操作控制，未來應該有很大的改良空間。



①轉頭 ②突出點 ③大孔(突出點方向) ④小孔(共計 3 個)

圖 33. 水平微量滴定管的「轉頭」內含 1 個大孔及 3 個小孔 (※作者自行拍攝)

三、滴定終點呈現溶液顏色差異分析

(一) 我們相關資料⁽¹⁾得知，強鹼滴定強酸可選用酚酞指示劑，指示劑變色時稱為**滴定終點**，而酚酞的變色範圍： $\text{pH } 8.3 \sim 10.0$ ，所以**滴定終點** $\text{pH} > 8.3$ ，但**當量點** $\text{pH} = 7$ ，二者 pH 值並不相同。在滴定過程中，最理想的指示劑應該能恰好在當量點時發生顏色變化，即**滴定終點**剛好為當量點，但實際上卻很難使兩點恰為相同，如圖 34 所示。

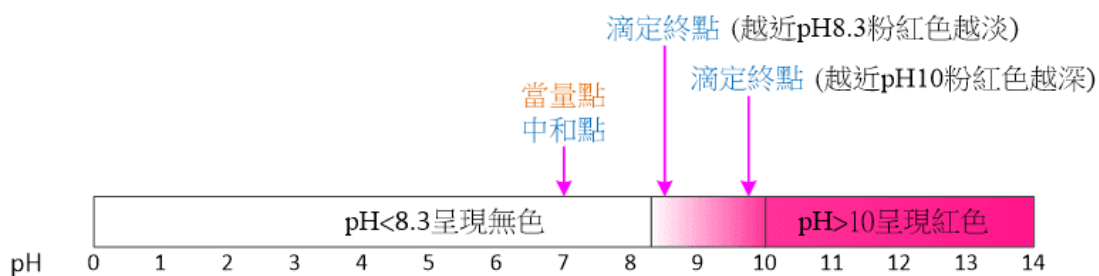
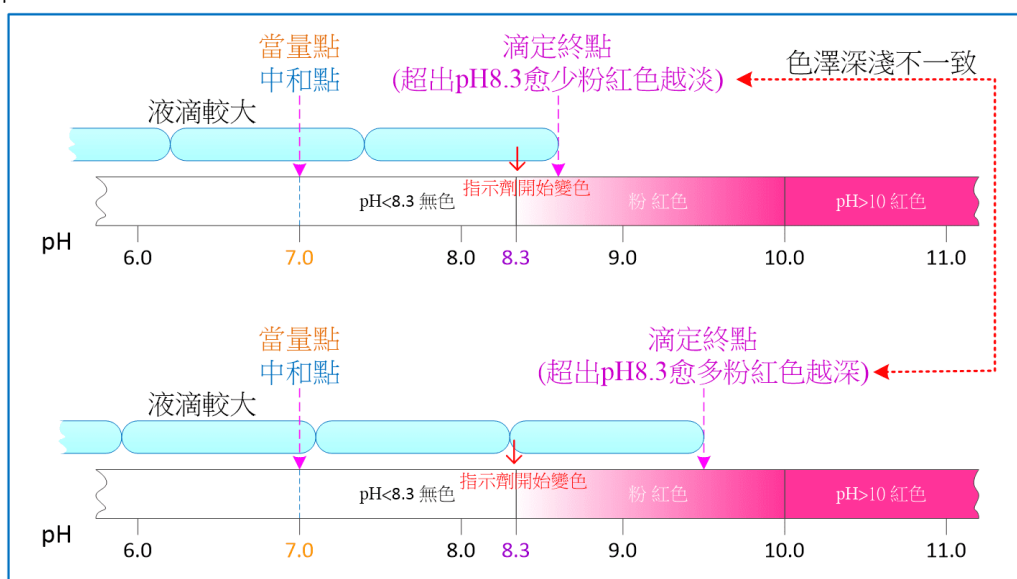
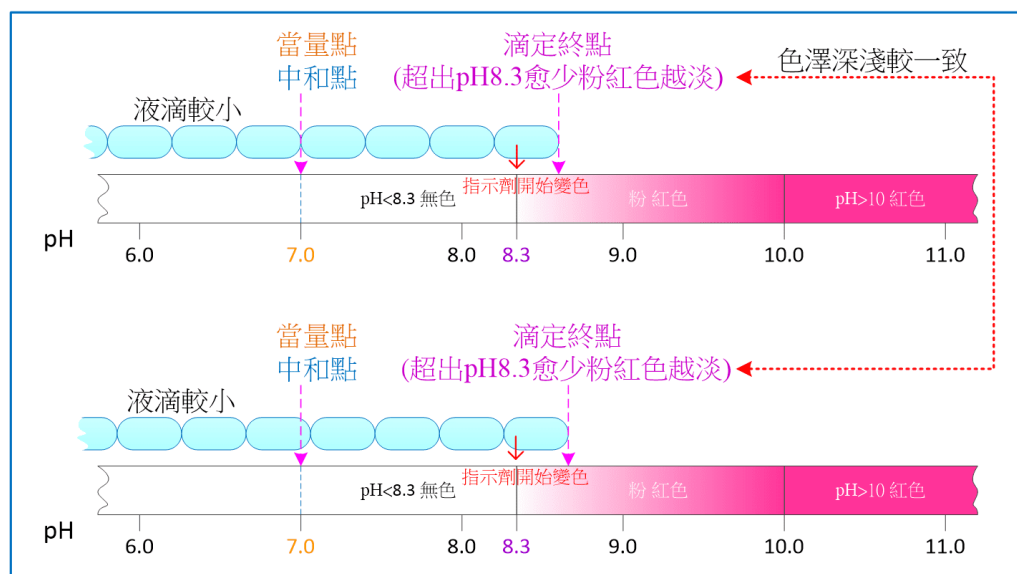


圖 34. 強鹼滴定強酸選用酚酞指示劑在不同的 pH 值呈現不同顏色 (※作者自行繪圖)

(二) 實驗結果得知，A1(滴管)、A2 (滴定管)、A3 (水平微量滴定管)三者所滴落之液滴偏大，無法精準控制**滴定終點**之 pH 值之位置。若是**滴定終點**愈接近**當量點**，則呈現的粉紅色較淡；若是**滴定終點**愈遠離**當量點**，則呈現的粉紅色較深，如圖 35 所示。



A. 現有滴定裝置產生液滴較大**滴定終點**色澤深淺不一致



B. 全新改良之滴定裝置產生液滴較小**滴定終點**色澤深淺較一致

圖 35. 產生液滴大小影響**滴定終點**色澤深淺之一致性(※作者自行繪圖)

四、第一代滴定裝置分析

- (一) 初始之設計，螺旋推進桿是直接接觸針筒推進桿，在轉動螺桿時，會造成針筒推進桿偏心歪斜轉造成不穩的問題，如圖 36A 所示。改良之設計，增加軸向滑槽設計，讓螺旋推進桿可維持直線推動針筒推拉桿，如圖 36B 所示。
- (二) 初始之設計，針筒固定位置是一個 U 型孔，如圖 36B 所示。在針筒置放時，會造成針筒擺動、難以固定的問題。改良之設計一個針筒固定溝槽，如圖 36B 所示，讓螺旋推進桿與針筒可維持直線推進。

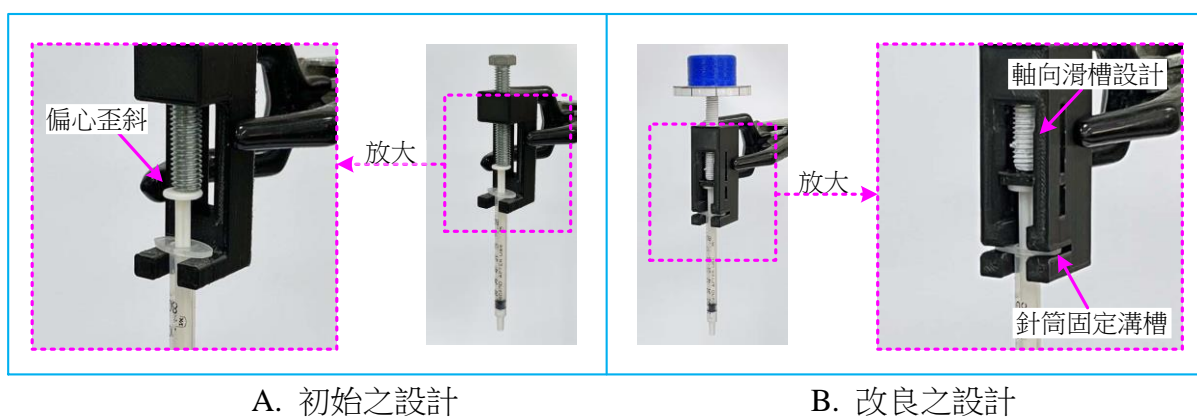


圖 36. 螺旋推進設計之改良過程

- (三) 圖 37A 所示，設計轉動旋鈕合適尺寸為直徑 30mm，推進螺桿選用 1.25mm 螺距的公制螺絲，運用螺旋原理，轉動一圈行程 30π mm 來控制 1.25mm 螺距位移。圖 37B 所示，轉盤刻度設計 10 大格/圈，所以轉動每一大格，螺旋推進僅 0.125mm。轉動旋鈕的力道即使控制不穩，針筒推拉桿能可穩定緩慢的位移。

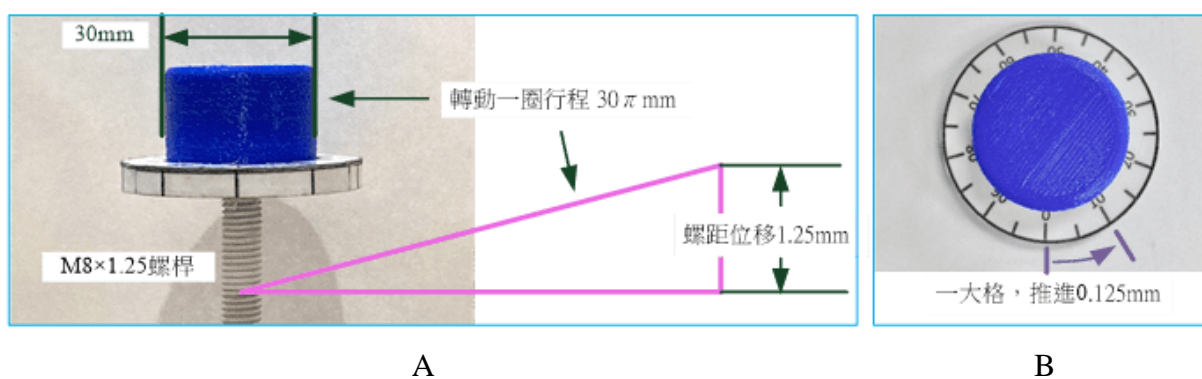


圖 37. 轉動旋鈕設計與螺距位移之關係

- (四) 改良設計之螺旋推進經過測試，不但可穩定控制，進一步透過滴定質量的量測結果。**B1(第一代滴定裝置)**，使用手指轉動旋鈕的方式，轉動 1 圈周長距離僅推動一個螺距。**操作穩定**且容易控制每滴滴量，實驗結果的標準差最小。
- (五) **B1(第一代滴定裝置)**之液滴質量只有 (0.0094 ± 0.0002) g，明顯的比 **A1、A2、A3** 還要小，表示螺旋推進裝置的穩定度很好。觀察滴定結果也發現，在螺旋推進桿停止不動時，停留在針頭出口處的殘液，並沒有溶液持續滴下的情形發生。
- (六) 經實驗得知 **A3(水平微量滴定管)**之液滴質量為 (0.0522 ± 0.0030) g，但滴定管設

計可判讀最小刻度為 0.0020 mL。讓我們猜想，滴定實驗上，想必有滴定更微小質量的需求。因此我們想要思考，是否可以讓螺旋推進裝置可以更微量化，讓每滴滴下的液滴質量可以更小。

五、第二代滴定裝置分析

(一) 自製的氣流裝置，成功克服了殘液與針口的附著力，僅使用橡皮頭擠壓微小氣流即將殘液直接吹落。這個方法是一大亮點，操作不但簡單，成本也很低。

(二) 螺旋推進裝置+氣流裝置進行滴定實驗，可讓滴定液滴質量更小的殘液滴落，組合成一組微量螺旋滴定裝置。

(三) 如圖 38A 所示，針頭出口處停留質量

較小的殘液，因附著力大於殘液本身的重力，故穩定停留在針頭出口處，不會有持續漏液的情形。如圖 38B 所示，可吹氣的氣流裝置額外提供滴定管口一個「向下流動的吹力」，當「向下流動的吹力」+「殘液本身的重力」大於「針頭出口的附著力」時，殘液即形成一顆質量很小的液滴落下。因此，**B3 (第二代滴定裝置)** 實驗結果，液滴質量平均值最小。

(四) **B3 (第二代滴定裝置)** 之液滴質量只有 $(0.0022 \pm 0.0003) \text{ g}$ 。與水平微量滴定管設計可判讀最小刻度為 0.0020 mL 相近，表示氣流裝置的設計，讓螺旋推進裝置的滴定更微量化。

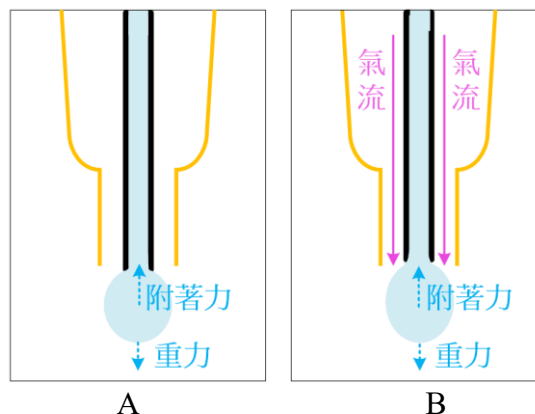


圖 38. 殘液吹落示意圖 (*作者自行繪圖)

六、改良型滴定裝置之實驗操作分析

(一) 螺旋推進設計，操作上相當簡單之外，更可緩慢推進針筒，使推進速度差異不大，並無操作上擔心動作過大的疑慮，轉動每個刻度時，針頭出口處的殘液穩定不滴落，吹落殘液設計，讓可控制滴定量更微小準確。

(二) 使用自製的改良型滴定裝置，在**滴定終點**呈現的淡粉紅色，深淺一致，代表**滴定終點**愈接近**當量點**，滴量控制相當穩定，減少滴定過量造成的誤差。

(三) 轉動轉盤刻度來度量滴定質量結果，轉盤刻度與滴定質量呈現明顯的線性關係，表示改良型滴定裝置可穩定控制滴定質量。

(四) 如圖 40 所示，趨勢線方程式為： $m = 0.0232n - 0.0004$ (n ：轉動圈數、 m ：滴定質量)，可預估轉動圈數所滴定的質量為何。例如：假設轉動 3.7 圈，經計算預估其滴定質量為 0.08544 g ($0.0232 \times 3.7 \text{ 圈} - 0.0004$)。

(五) 自製的改良型滴定裝置是一個**操作簡便、穩定控制**、液滴質量只有 (0.0022 ± 0.0003) g 的微量滴定裝置。

(六) 非但如此，且我們的製作成本極低，可作為未來酸鹼滴定實驗中有力的實驗器材，具備商品化之價值。

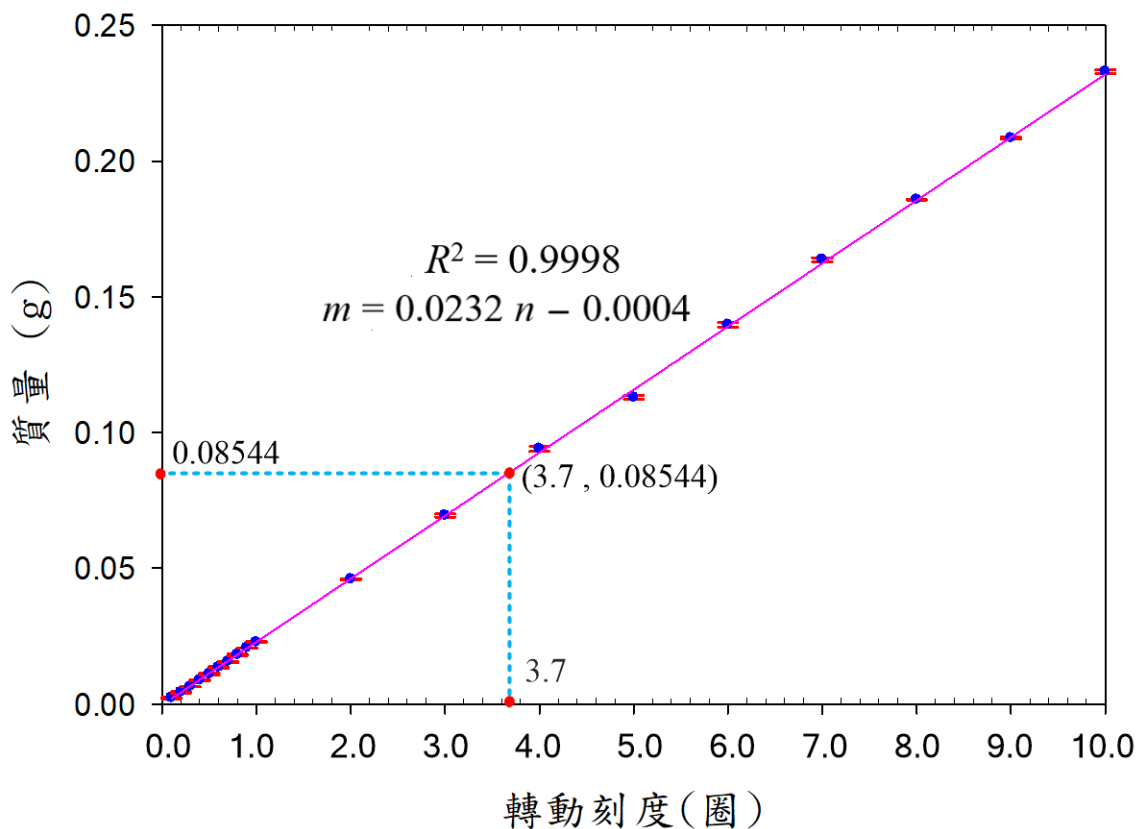


圖 39. 轉動圈數與滴定質量之趨勢推算

陸、結論

一、實驗結論

- (一) 「酸與鹼的反應」實驗結果：現有滴定裝置(滴管、滴定管、水平微量滴定管)，在**滴定終點時**，都不易接近**當量點**，呈現的溶液顏色深淺不同；全新改良的滴定裝置(第二代滴定裝置)較接近**當量點**，**滴定終點**(溶液顏色維持 30 秒不褪色)的溶液顏色皆呈現淡粉紅色，深淺較一致。
- (二) 現有滴定裝置在**滴定終點時**，都不易接近**當量點**可能原因為：**A1(滴管)**是靠手指**擠壓橡皮頭**，施力控制不易，每一滴鹼液大小不一；**A2(滴定管)**雖施力較易穩定，但控制每一滴鹼液(氫氧化鈉溶液)太大所導致；**A3(水平微量滴定管)**除了靠手指**擠壓橡皮頭**，施力控制不易，其操作步驟也較為繁瑣，對初次使用者，須耗費較長時間熟悉滴定操作。

- (三) 自製第一代滴定裝置：可以穩定且容易控制液滴量，滴落液滴之質量為(0.0094 ± 0.0002) g。使用轉動旋鈕的方式，轉動 1 圈僅推動一個螺距(1.25 mm)，可穩定軸向推進，使液滴增加質量而自然滴落。
- (四) 自製第二代滴定裝置：是可讓滴定液滴質量更小的殘液穩定滴落的微量螺旋滴定裝置，所吹落液滴之質量為(0.0022 ± 0.0003) g。使用擠壓橡皮頭產生微小氣流，吹落針頭出口處質量更小的殘液液滴設計是一大亮點，操作不但簡單，成本也低。
- (五) 經實驗證明，使用全新改良的滴定裝置(第二代滴定裝置)，建立轉動圈數與滴定液質量之檢量線方程式，由實驗獲得「轉動圈數」數據，將「轉動圈數」透過檢量線方程式，即可換算為滴定液質量，如圖 41 所示，進而得知滴定液體積。本研究全新改良的滴定裝置，未來在微量的定量分析上深具實用價值。

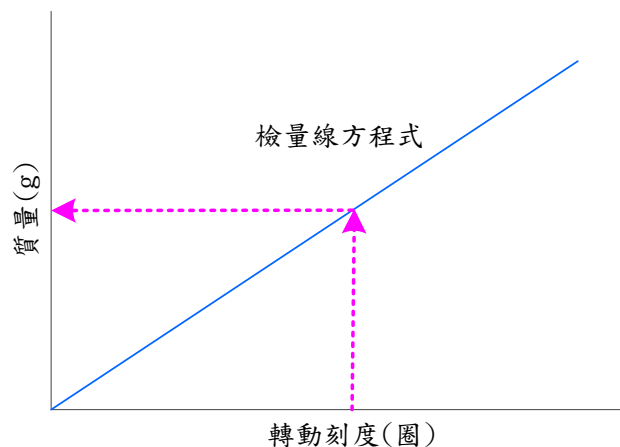


圖 40. 透過檢量線方程式將轉動圈數換算為滴定液質量 (※作者自行繪圖)

二、具體貢獻

- (一) 我們發現現有滴定裝置(滴管、滴定管、水平微量滴定管)在滴定終點時，不易接近當量點原因是操作不易、控制不穩定或滴定質量差異太大所導致。我們的研究成功解決了現有設備在「酸與鹼的反應」實驗中的缺點。
- (二) 改良型滴定裝置，具備螺旋擠壓液滴、氣流吹落殘液等兩大亮點。是一個操作簡便、穩定控制、液滴質量為(0.0022 ± 0.0003) g 的微量滴定裝置，可作為未來滴定實驗中有力的實驗器材。
- (三) 改良型滴定裝置的裝置構造簡單、製造成本低廉、微量滴定精準，有助於降低實驗溶液的使用量，具有商品開發的價值。

柒、參考文獻資料

1. 108 新課綱 | 高三化學 | 【實驗】酸鹼滴定實驗。臺北酷課雲。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=EkCoytXp9VY>.
2. 108 新課綱 | 高三化學 | 【觀念】滴定曲線的比較與應用。臺北酷課雲。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=U9yLaGZzJcM>.
3. 史燕玲(2020)。選修化學－化學反應與平衡。翰林出版。
4. 林俐玲、林文弘(1998)。紅壤可蝕性因子之量測。水土保持學報，30(1)：p41-58。
5. 洪連輝(2023)。自然科學 3 上。南一書局。
6. 洪連輝(2024)。自然科學 2 下。南一書局。
7. 國中_理化_中小學磨課師_酸鹼滴定實驗。學習吧。
取自：<https://www.learnmode.net/flip/video/50802>.
8. 黃稜蘊、楊水平(2016)。微量化學實驗：酸鹼滴定的微量實驗。台灣化學教育，第 14 期。
9. 黃鈺茹(2012)。食檢乙級-揮發性鹽基態氮 VBN 測定。國立宜蘭大學食品科學系。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=laknlywSNao>.
10. 基礎化學實驗技能。滴定管。台大化學系教學網，普化暨普化實驗課程。
取自：<https://teaching.ch.ntu.edu.tw/gclab/doc/tech-basic/burette.pdf>
11. 賴亭吟、陳藹然(2011)。酸鹼滴定(Acid-Base Titration)。科學 Online。
取自：國立臺灣大學 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=18914>.

【評語】 030212

針對液滴過大造成滴定終點難判定之缺點進行改良，該實驗能夠利用方便取得之材料(注射針筒)與工具(3D 列印與設計軟體)，以螺旋動作與螺距大小設計出微量滴定器搭，配針頭為液滴出口，應用氣流吹落殘液及螺旋擠壓液滴方式產生更微小液滴。最後經實際測試，可使滴定終點更接近當量點，所呈現的淡粉紅色深淺較一致。實驗發想簡單但頗具創意，對裝置之改進點討論詳盡，清楚標示有效數字。表現出分析化學追求高精度與準度之精神，同時該設計亦具備高度應用價值，成果非常優秀。惟表二、四需加入相對標準偏差值並註明重複次數($n=?$)。

作品簡報



酸鹼滴定研究及

自製微量滴定裝置

摘要

首先以滴管、滴定管、水平微量滴定管等現有滴定裝置進行酸鹼滴定測試，滴定終點時呈現的色澤深淺並不一致，經實驗發現，造成滴定終點色澤深淺不同的主因，是現有滴定裝置產生液滴過大所致。接著針對液滴過大之缺點進行改良，利用螺旋擠壓原理搭配針頭為液滴出口，自製第一代滴定裝置；進而應用氣流吹落殘液，自製第二代滴定裝置。本研究改良型滴定裝置，具備螺旋擠壓液滴、氣流吹落殘液等兩大亮點，可使產生之液滴更微小，且各液滴質量之間的標準差極小。最後經實際測試，使用改良型滴定裝置所產生液滴更微小，可使滴定終點更接近當量點，所呈現的淡粉紅色深淺較一致。此全新改良型滴定裝置具備精準度高、操作簡易、成本低廉等優點，深具實用價值，未來有商品化之潛力。

壹、研究動機

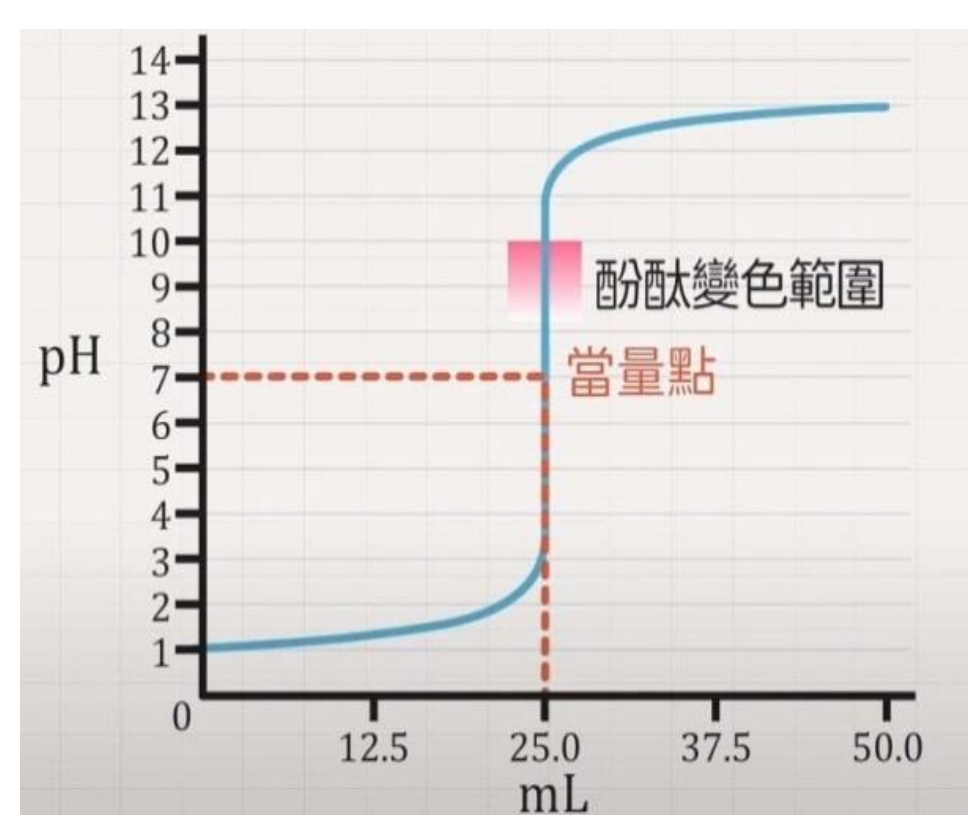
在一個好玩的化學實驗—酸鹼中和測試。若以酚酞當指示劑，當到達滴定終點時，紅色就不會再消失。實驗發現在滴定終點時，顏色呈現都不太一樣。因此，我們想要知道，真正滴定終點的顏色應該是什麼顏色？影響每次顏色不相同的原因是什麼？



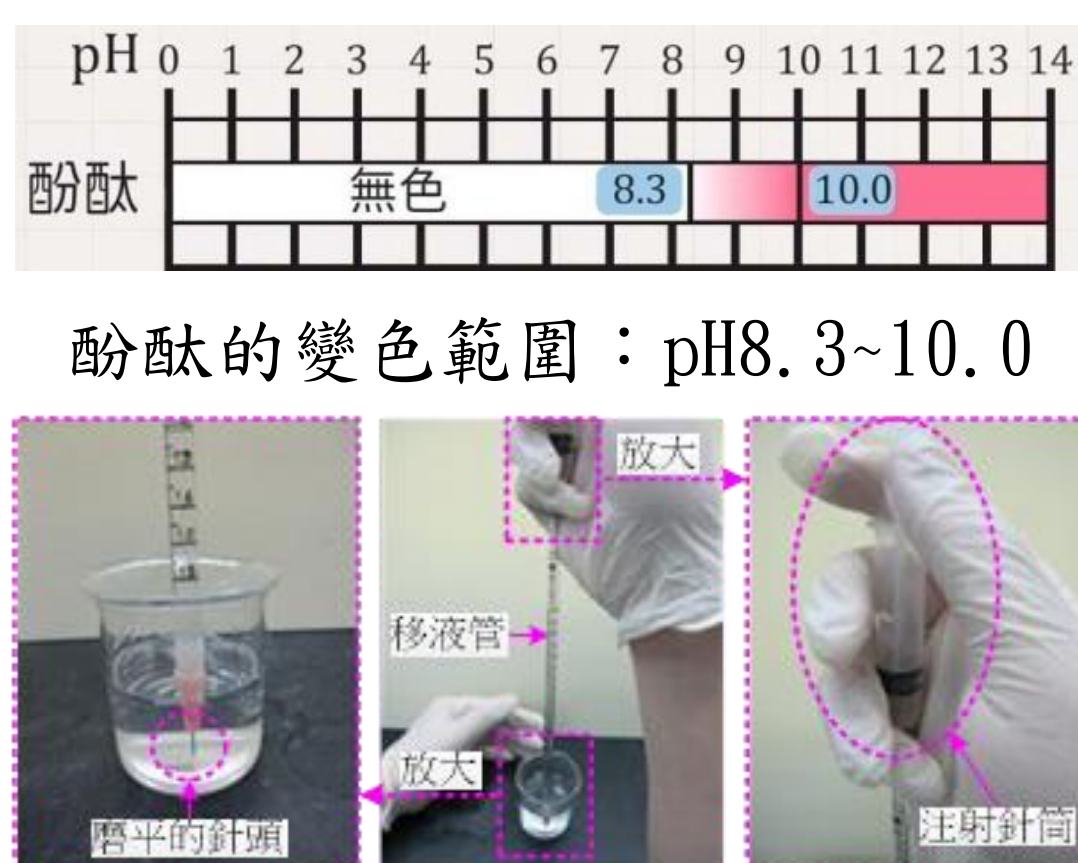
貳、研究目的

1. 瞭解酸鹼中和反應過程及溶液顏色的變化，探討在滴定終點處，溶液顏色不同的原因。
2. 自製一個操作簡便、穩定控制、滴定量小的改良型滴定裝置，改善現有滴定裝置的缺點。
3. 降低製作成本，使改良型滴定裝置可作為未來酸鹼滴定實驗中有力的實驗器材。

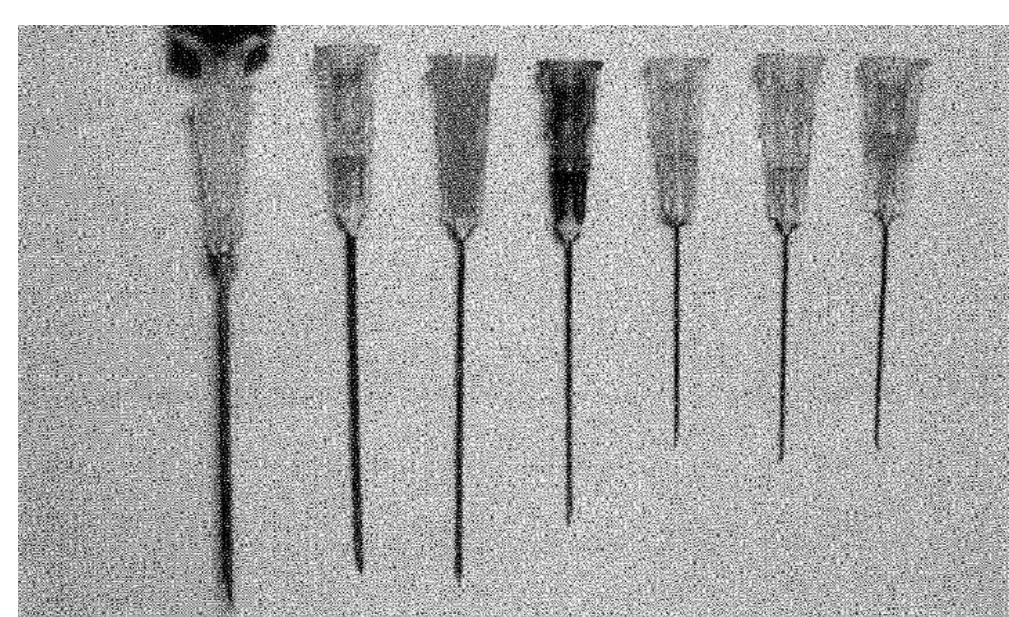
參、文獻回顧



強鹼滴定強酸之滴定曲線



微量滴定裝置

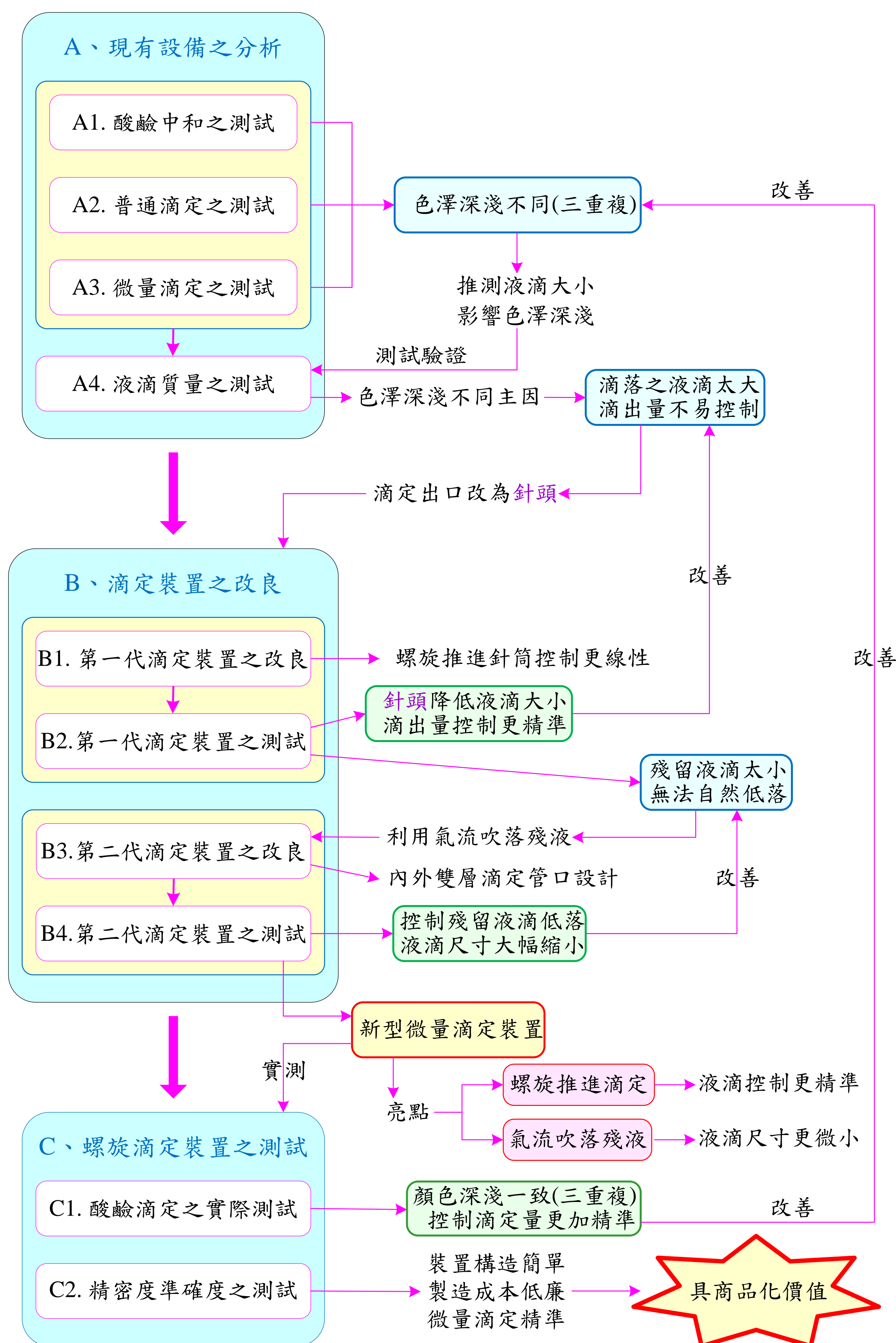


不同號數之醫療用針頭有不同口徑

針頭口徑遞減水滴粒徑隨之遞減

針號	滴數	總重量(g)	平均水重(g)	水滴粒徑(cm)
1	50	5.368	0.10772	0.5903
2	50	5.001	0.10002	0.5759
3	50	3.243	0.06486	0.4985
4	50	1.877	0.03754	0.4154
5	50	1.263	0.02546	0.3640
18	50	0.921	0.01842	0.3277
19	50	0.846	0.01692	0.3185
20	50	0.610	0.01223	0.2856
21	50	0.581	0.01162	0.2801
22	50	0.483	0.00960	0.2642
23	50	0.401	0.00802	0.2483
24	50	0.421	0.00842	0.2524
25	50	0.311	0.00622	0.2282
26	50	0.313	0.00626	0.2287
27	50	0.296	0.00592	0.2244

肆、研究架構



伍、研究方法

實驗【A】現有滴定裝置之分析

實驗【A1】酸鹼中和之測試

1. 參考自然科學課本實驗方法，進行「酸鹼中和」-將鹼加入酸中。
2. 量取0.1 M 鹽酸溶液10 mL 置入錐形瓶中，加入3滴酚酞指示劑。
3. 以滴管吸取0.1M氫氧化鈉溶液，立刻滴定至微紅色，並能維持30秒不褪色為終點。



A. 滴定終點呈現粉紅色深淺並不一致

↓ 持續加入0.1M氫氧化鈉溶液



B. 滴定過量呈現的紅色深淺一致

以一般「滴管」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

實驗【A2】普通滴定之測試

1. 參考高中化學課本「酸鹼滴定實驗」，進行酸鹼中和滴定-將鹼加入酸中。
2. 量取0.1M鹽酸溶液10 mL，置於錐形瓶中，加入3滴酚酞指示劑。
3. 將0.1M氫氧化鈉溶液倒入「滴定管」中，立刻滴定至微紅色，並能維持30秒不褪色為終點。



A. 滴定終點呈現粉紅色深淺並不一致

↓ 持續加入0.1M氫氧化鈉溶液



B. 滴定過量呈現的紅色深淺一致

以「滴定管」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

實驗【A3】微量滴定之測試

1. 採用市售的「水平微量滴定管」，進行酸鹼中和滴定-將鹼加入酸中。
2. 量取0.1M鹽酸溶液10 mL，置於錐形瓶中，加入3滴酚酞指示劑。
3. 將0.1M氫氧化鈉溶液倒入「水平微量滴定管」中，立刻滴定至微紅色，並能維持30秒不褪色為終點。



A. 滴定終點呈現粉紅色深淺並不一致

↓ 持續加入0.1M氫氧化鈉溶液

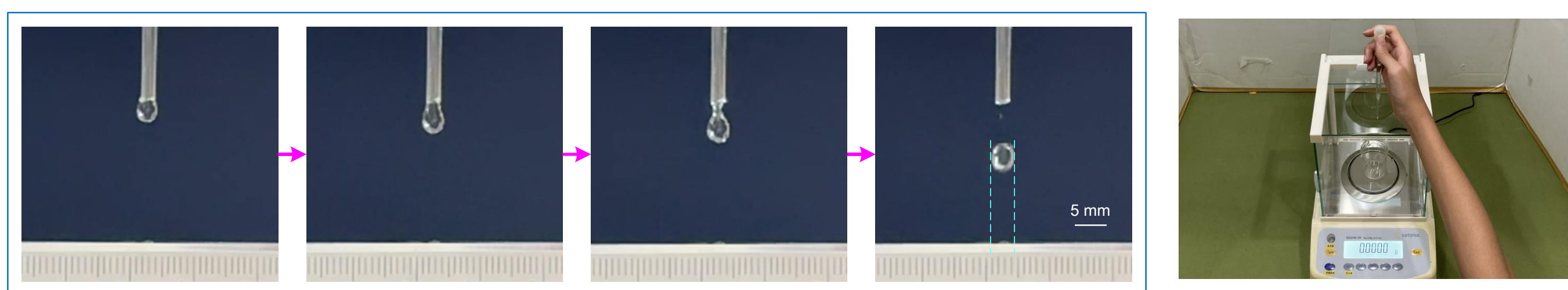


B. 滴定過量呈現的紅色深淺一致

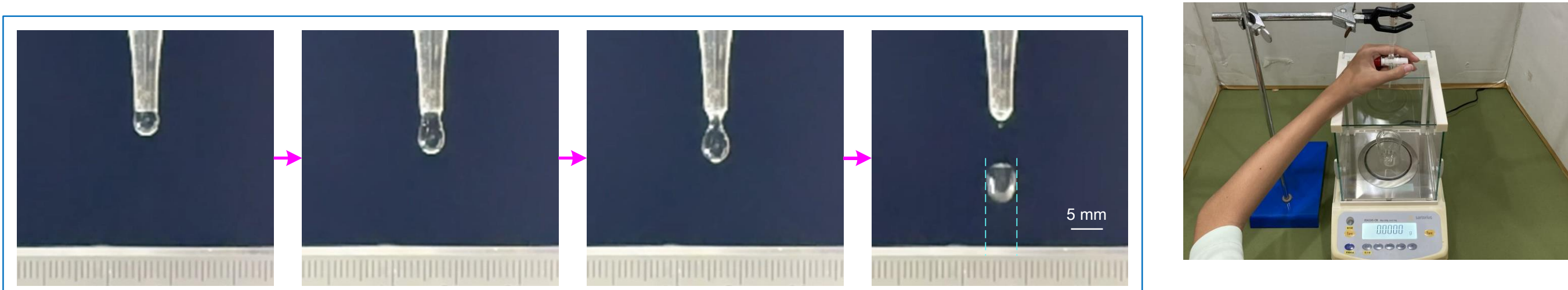
以「水平微量滴定管」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

實驗【A4】液滴質量之測試

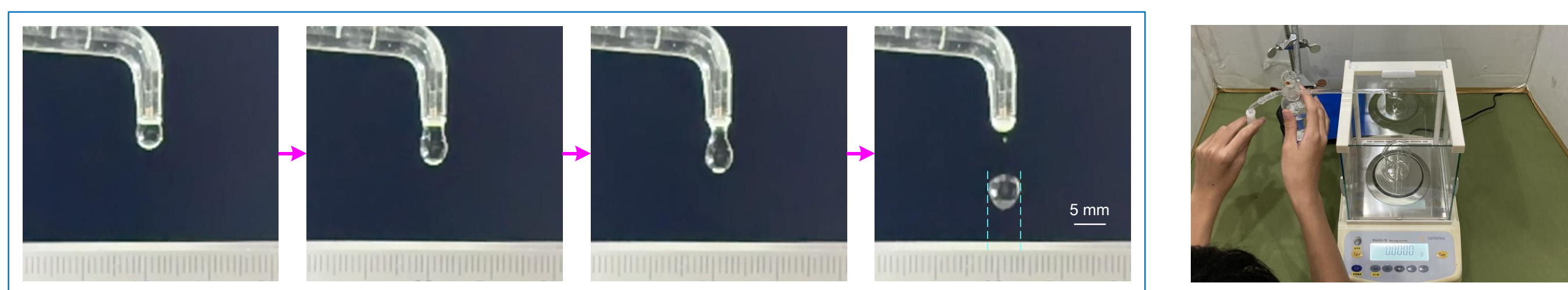
由以上實驗結果，**滴定終點**色澤不一致的原因是每一滴鹼液太大所致。本實驗針對實驗【A1】、【A2】、【A3】之滴定裝置，大幅增加重複滴定次數，希望更進一步瞭解滴定液體之液滴大小。



A1 (滴管)



A2 (滴定管)

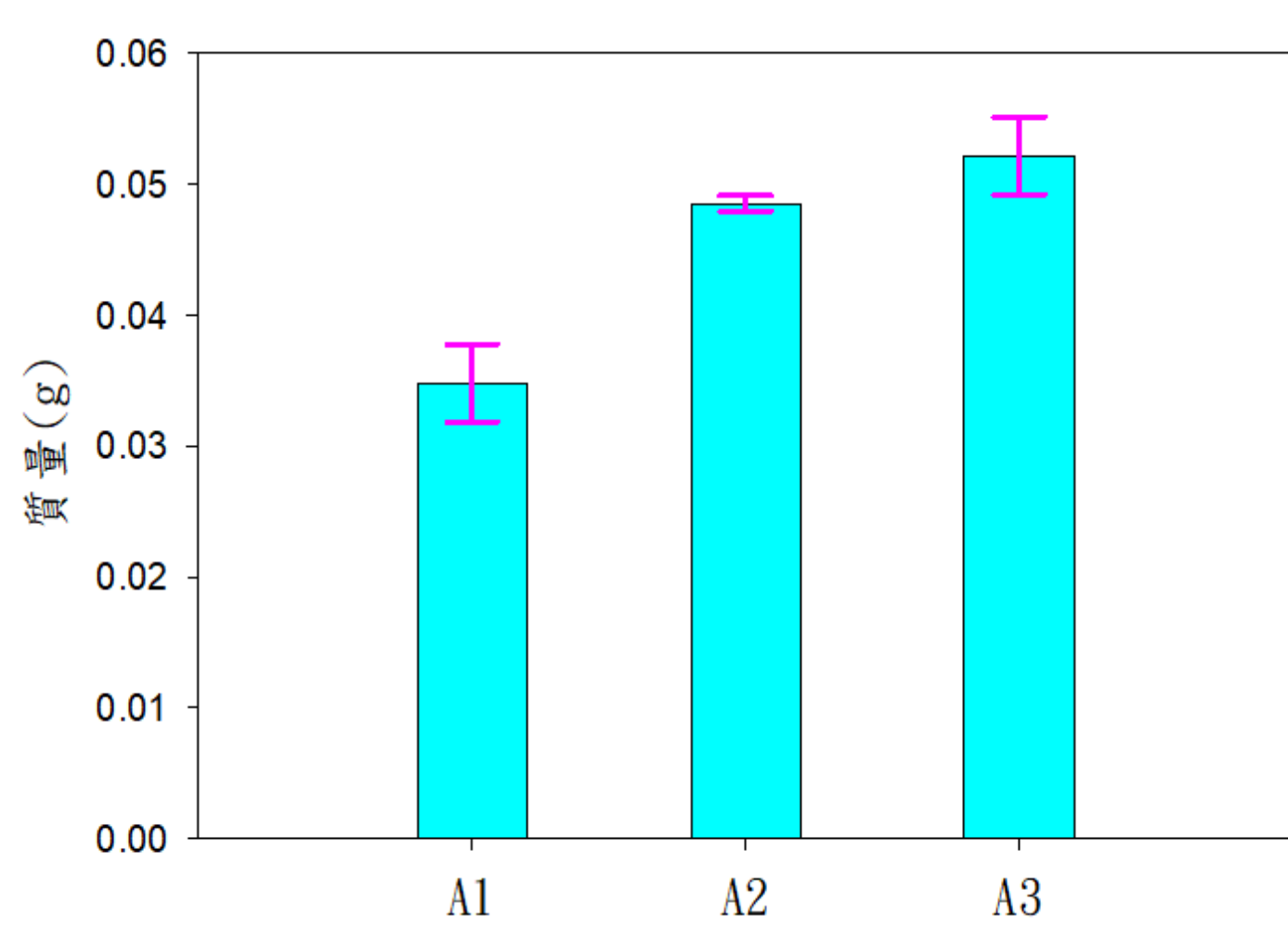


A3 (水平微量滴定管)

現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴大小之差異

現有滴定裝置(A1、A2、A3)所滴落液滴質量之差異

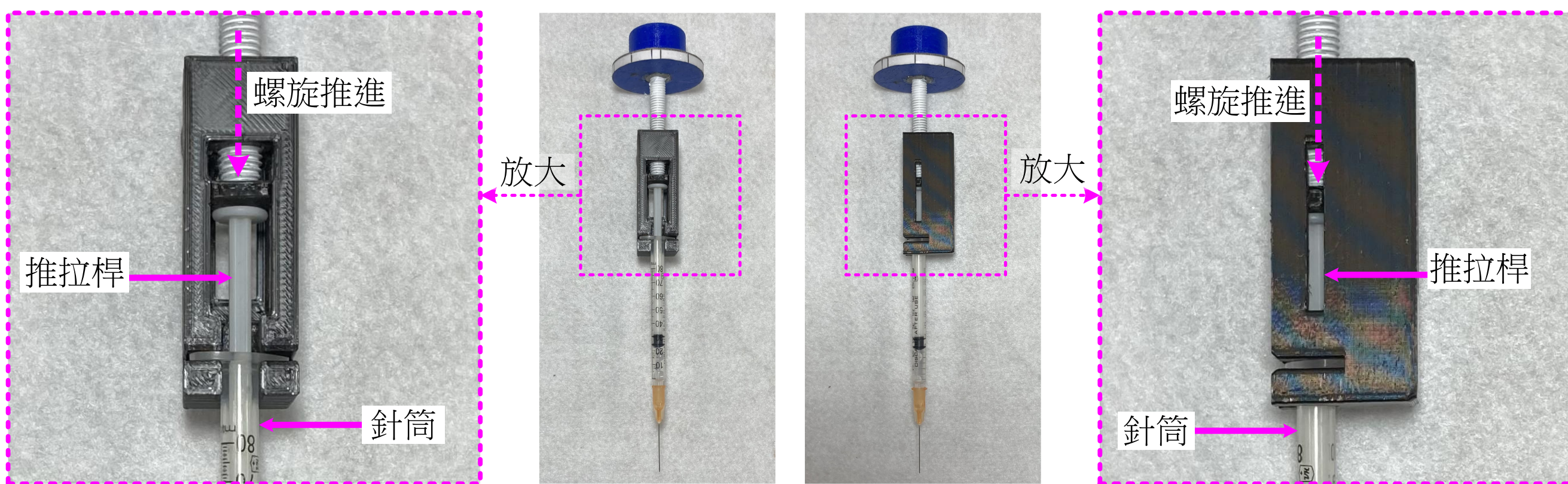
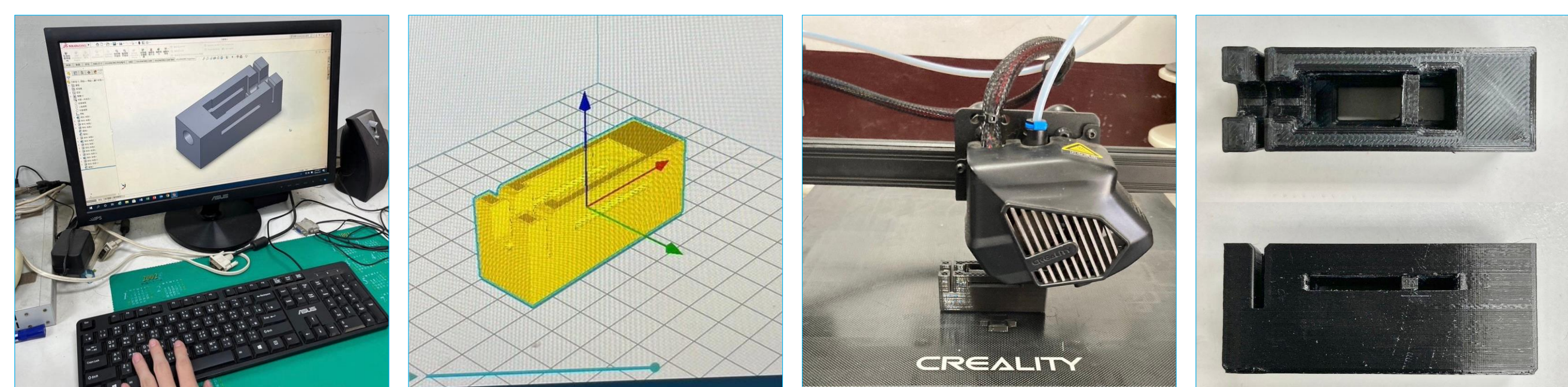
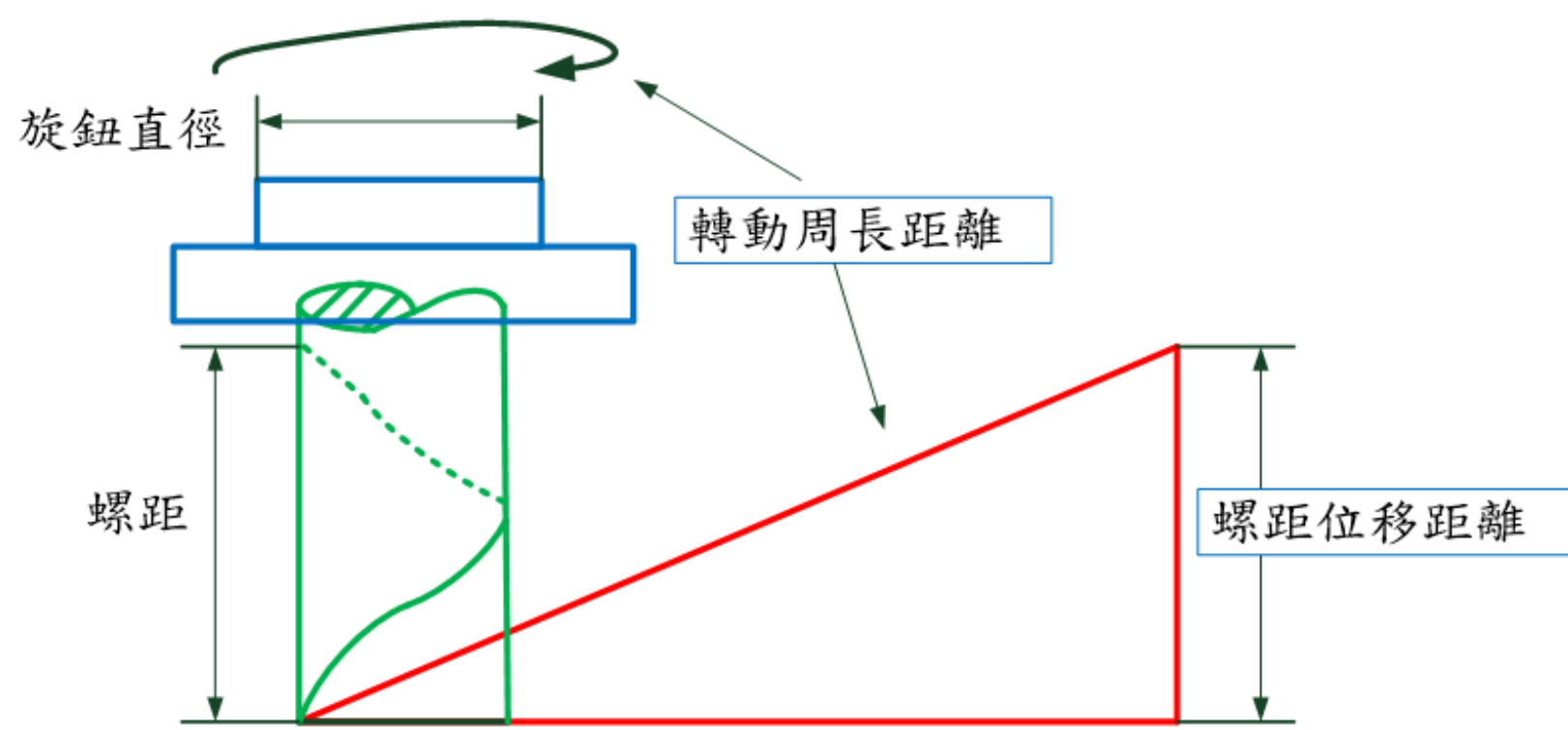
使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030



實驗【B】滴定裝置之改良

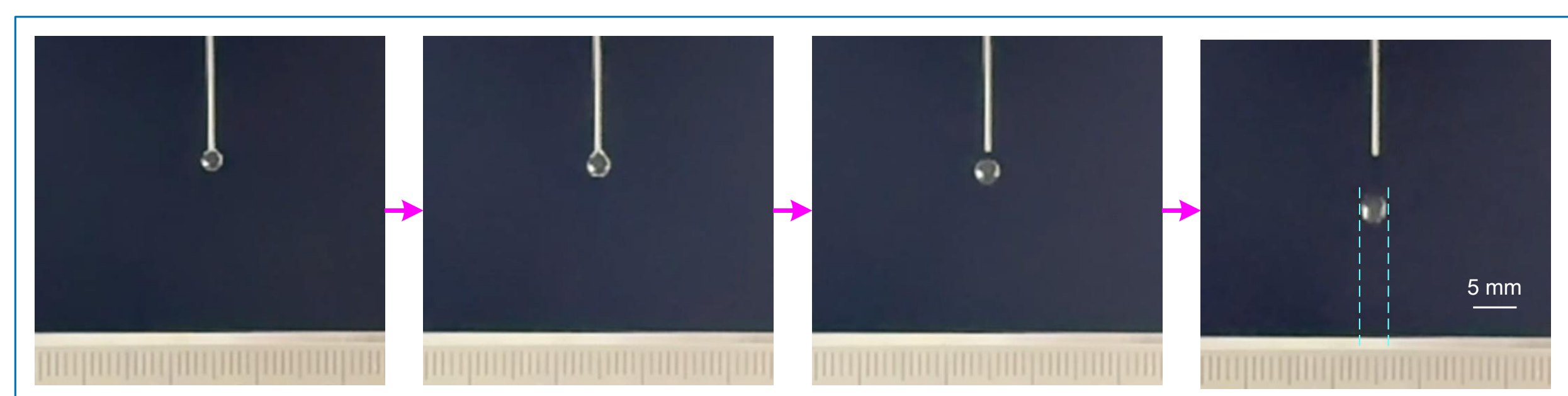
實驗【B1】第一代滴定裝置之改良

國中自然科學課本簡單機械單元提到螺旋原理，我們認為轉動旋鈕的方式，不會有動作過大。操作上可以穩定且容易控制滴量。



實驗【B2】第一代滴定裝置之測試

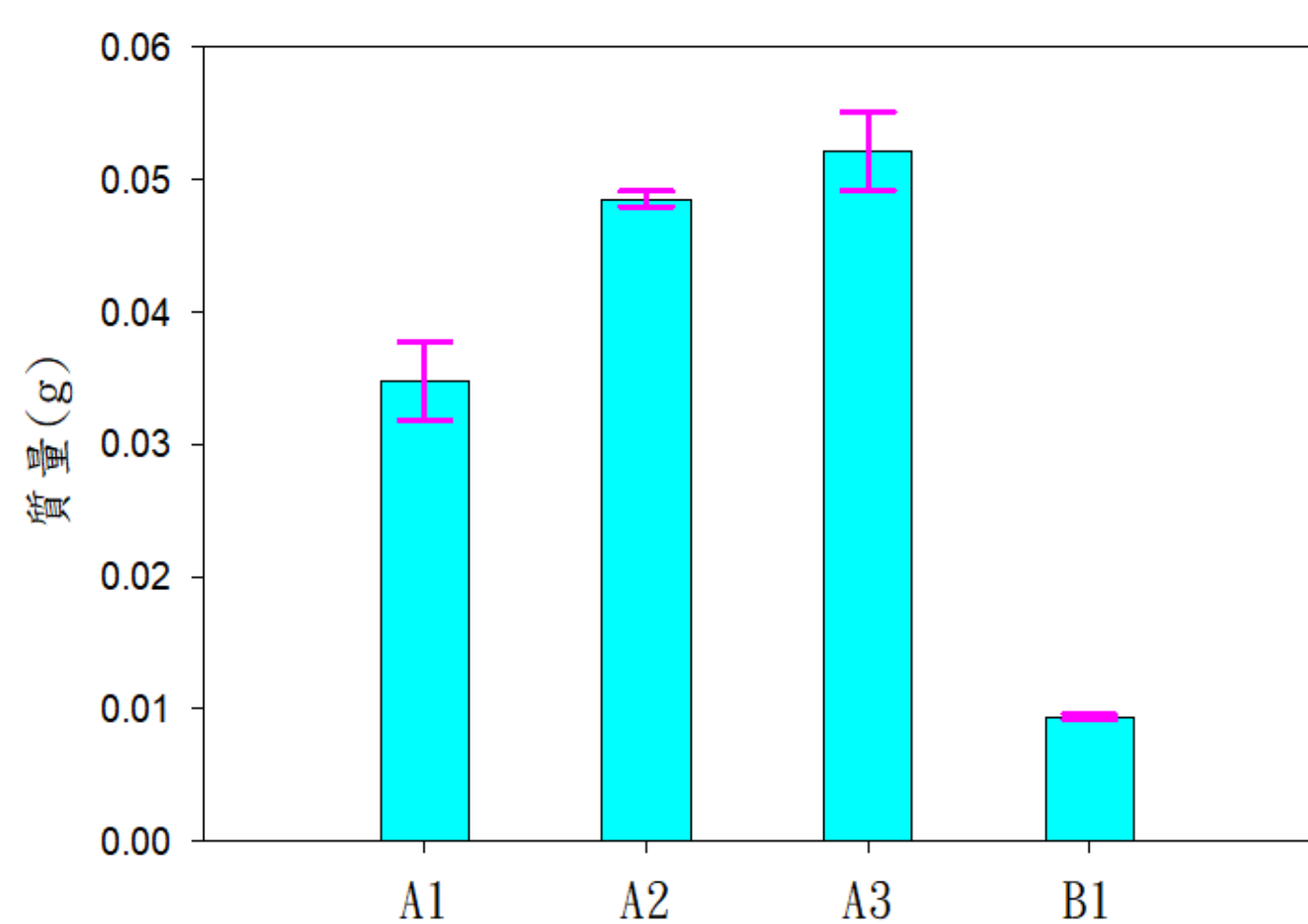
觀察滴定裝置(B1)的每滴液滴質量差異。並比對實驗【A4】結果，觀察自製的第一代滴定裝置是否可穩定操作。



第一代滴定裝置之測試

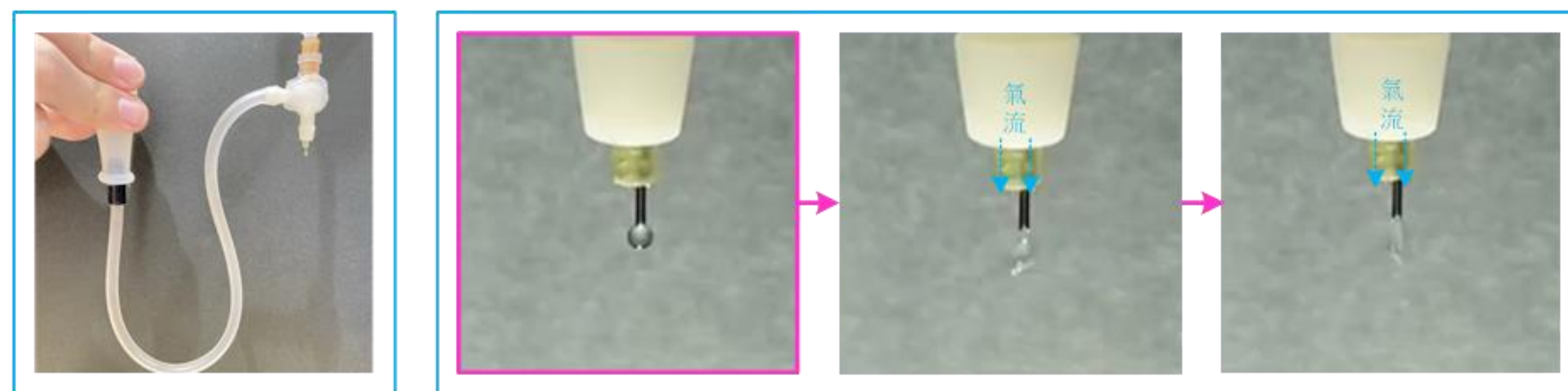
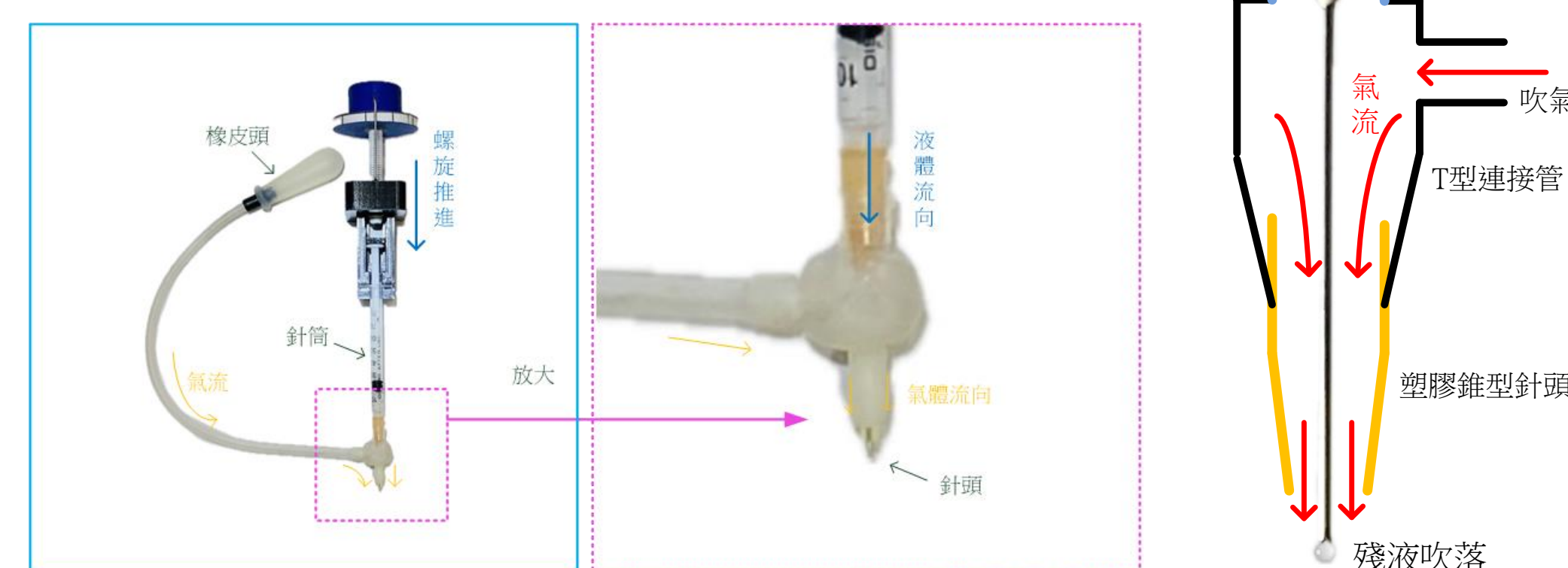
第一代滴定裝置與現有滴定裝置之液滴質量差異

使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030
B1 (第一代滴定裝置)	0.0094	0.0002



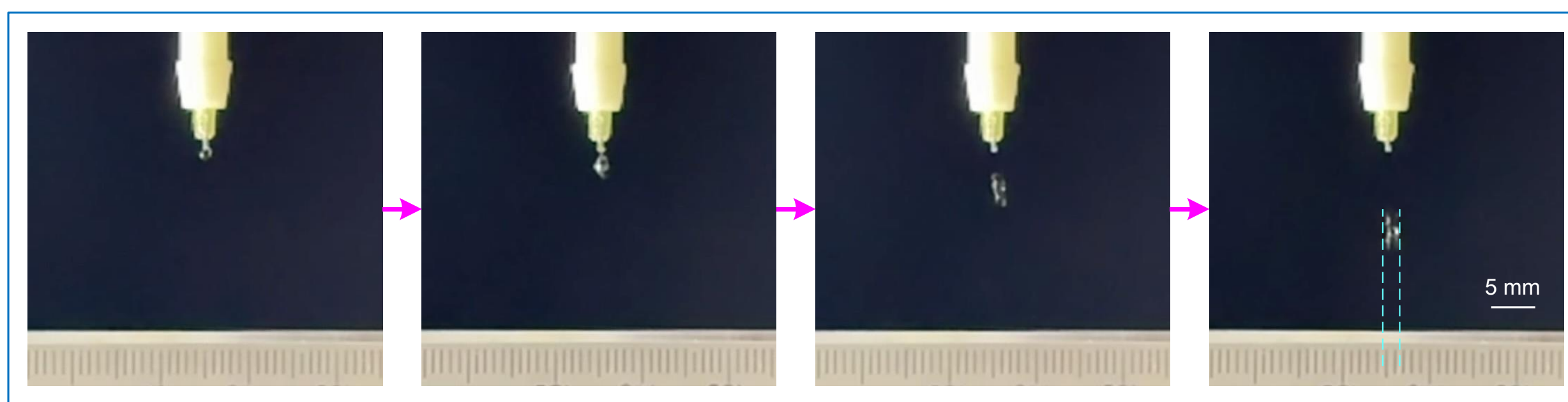
實驗【B3】第二代滴定裝置之改良

構想設計可吹氣的氣流裝置，在針頭出口處，套上一個可吹氣的外管，利用氣體流動將殘液直接吹落。



實驗【B4】第二代滴定裝置之測試

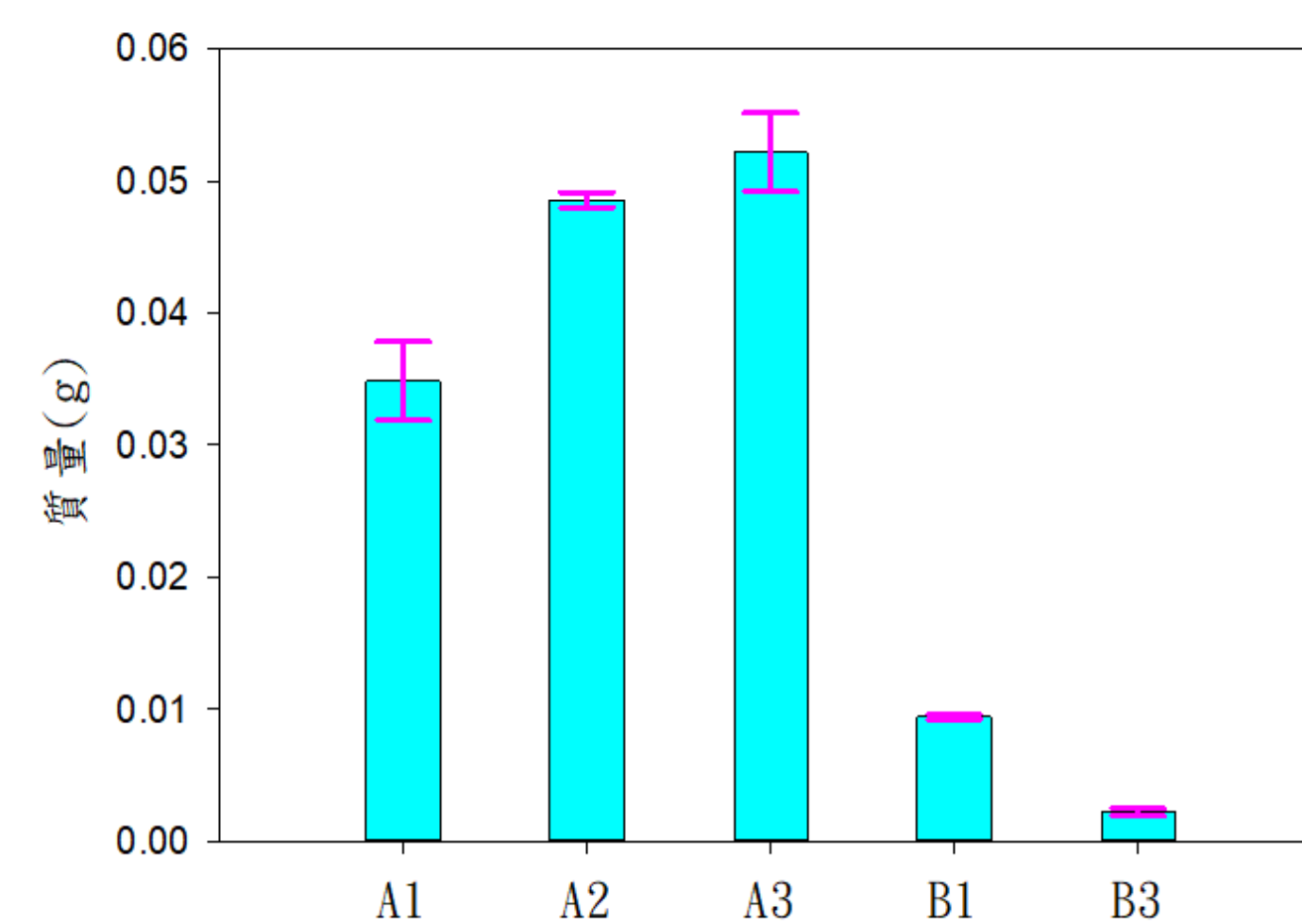
觀察滴定裝置(B3)的滴定質量差異。並比對實驗【A4】、【B2】結果，觀察螺旋推進裝置+氣流裝置，滴定質量為何。



第二代滴定裝置之測試

不同滴定裝置的液滴質量之差異

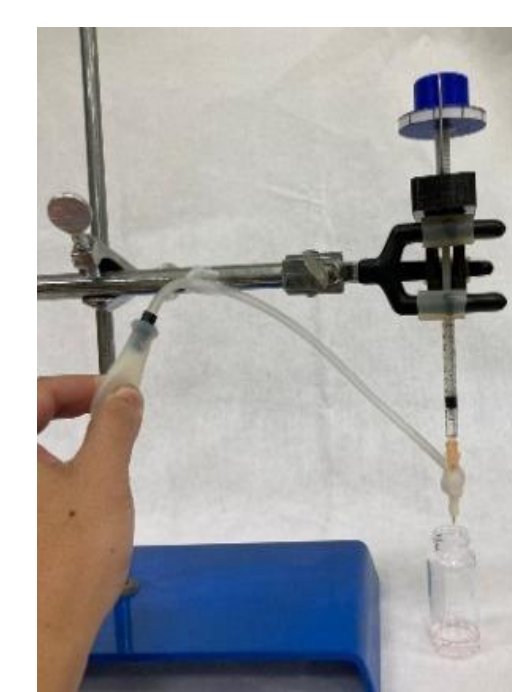
使用器具	質量(g)	
	平均值	標準差
A1 (滴管)	0.0348	0.0030
A2 (滴定管)	0.0486	0.0006
A3 (水平微量滴定管)	0.0522	0.0030
B1 (第一代滴定裝置)	0.0094	0.0002
B3 (第二代滴定裝置)	0.0022	0.0003



實驗【C】改良型滴定裝置之測試

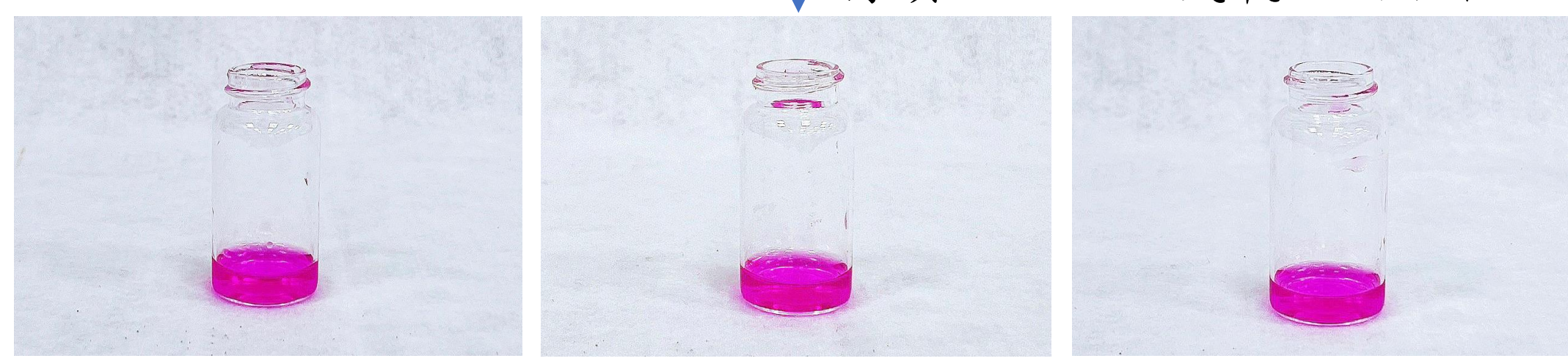
實驗【C1】酸鹼滴定之實際測試

- 取0.1M鹽酸溶液10.00 mL，置於小燒杯中。
- 於小燒杯中加入3滴酚酞指示劑。
- 量取溶液1.00 mL，置於小玻璃瓶中，立刻用0.1M氫氧化鈉溶液滴定至微紅色，並維持30秒不褪色為終點。



A. 滴定終點呈現粉紅色深淺並不一致

↓ 持續加入0.1M氫氧化鈉溶液

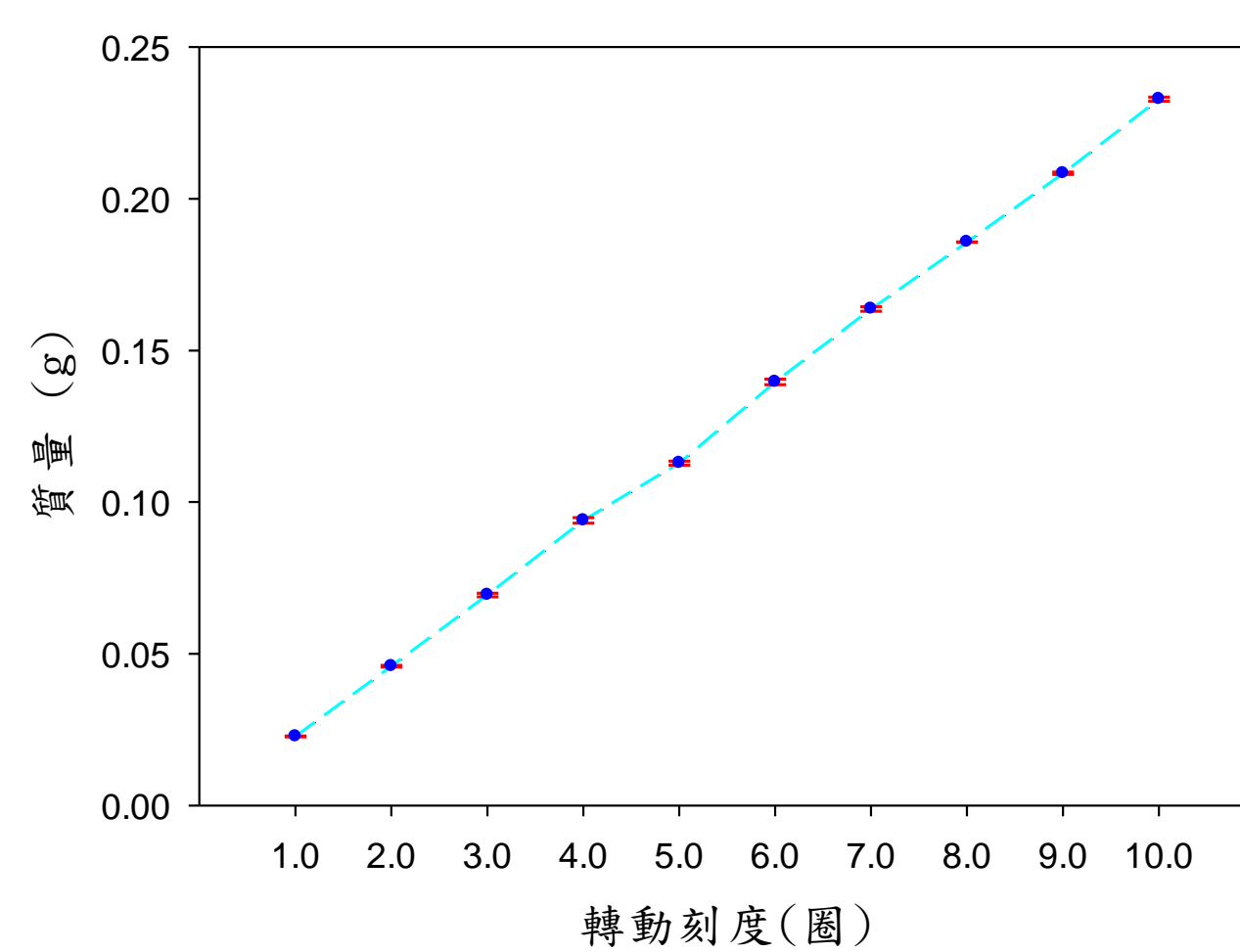


B. 滴定過量呈現的紅色深淺一致

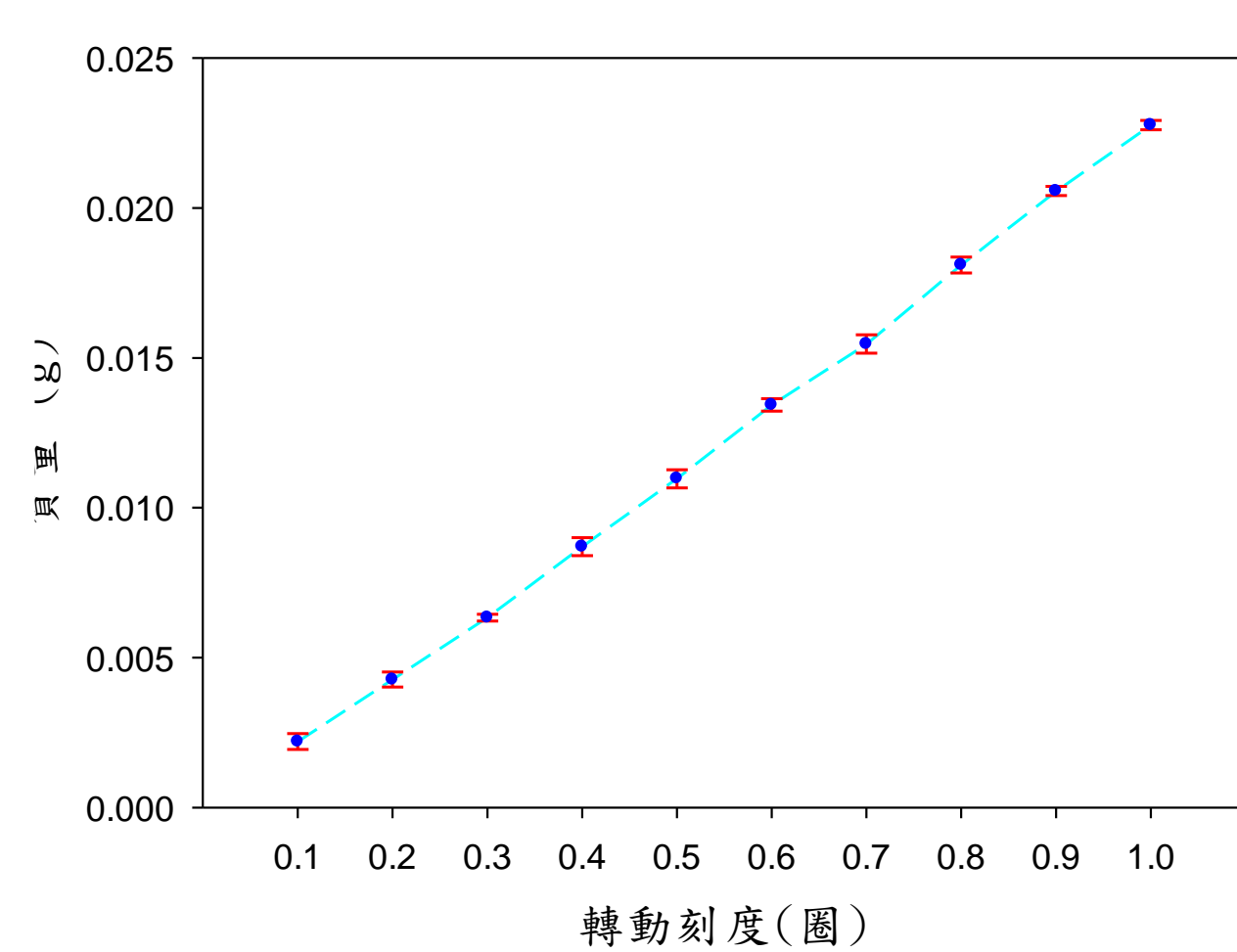
以「改良型滴定裝置」進行酸鹼中和滴定溶液顏色變化情形

實驗【C2】精密度精準度之測試

完成自製的改良型滴定裝置後，可以進一步度量每個轉盤刻度的滴定質量，作為預測需要轉動圈數的參考依據。



轉盤刻度(1~10圈)與滴定質量關係圖



轉盤刻度(0.1~1圈)與滴定質量關係圖

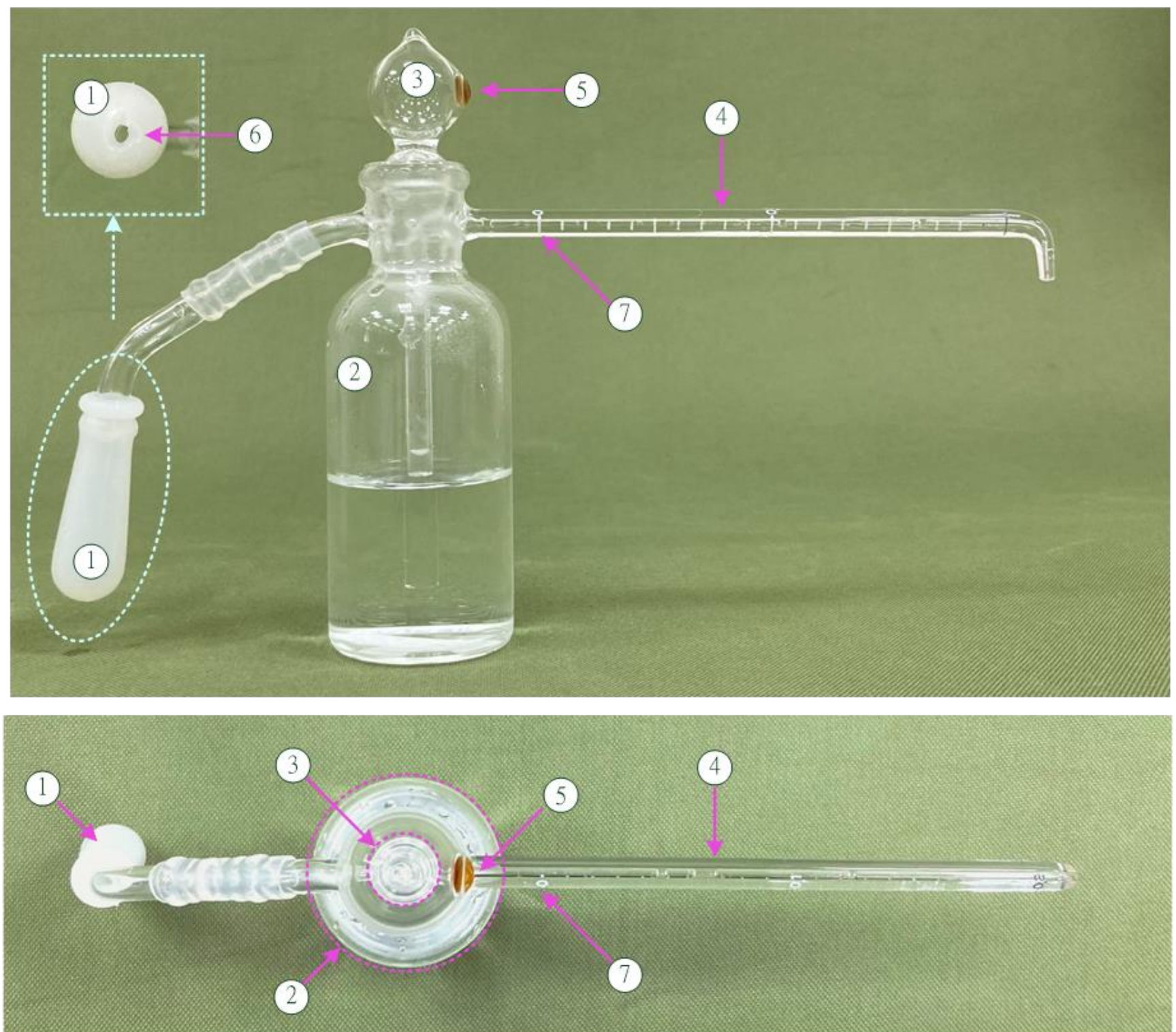
陸、討論

一、現有滴定裝置之實驗操作分析

- (一) A1 (滴管)、A3 (水平微量滴定管)，標準差大，代表再現性差，精密度不高。
- (二) A2 (滴定管) 透過活栓(stopcock)較精確控制，標準差小，代表精密度高，再現性較佳。但每一滴鹼液(氫氧化鈉溶液)太大，是導致**滴定終點**色澤不一致的重要原因。

二、「水平微量滴定管」結構分析

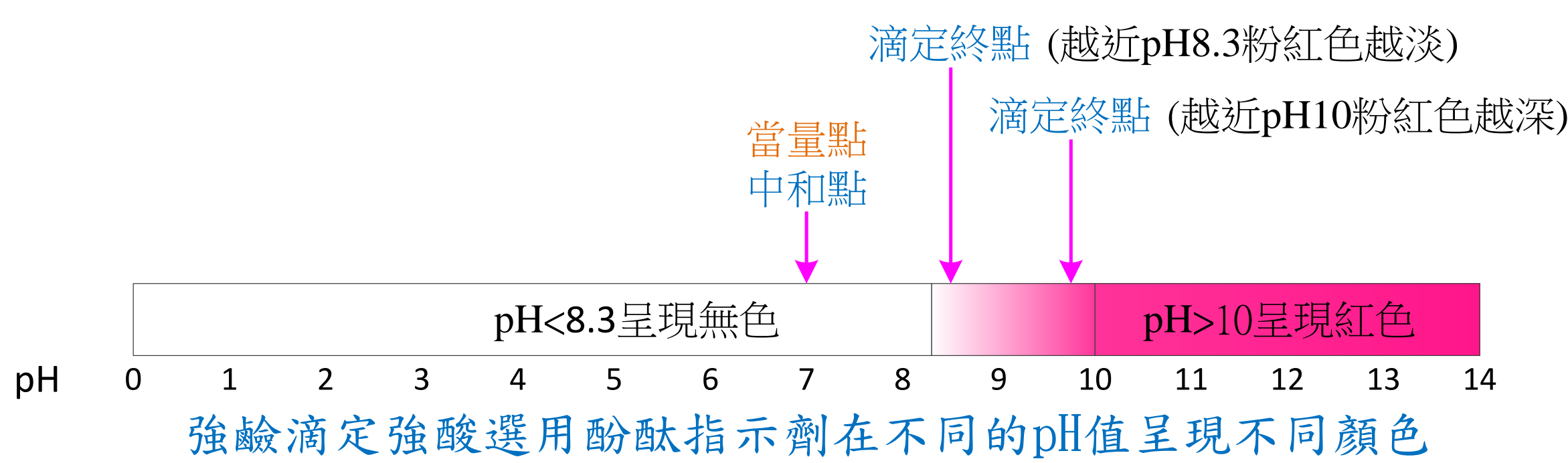
水平微量滴定管細部構造較複雜，雖標榜適用於微量的容量分析。但實際上因不容易操作控制，滴定質量並不小，未來應該有很大的改良空間。



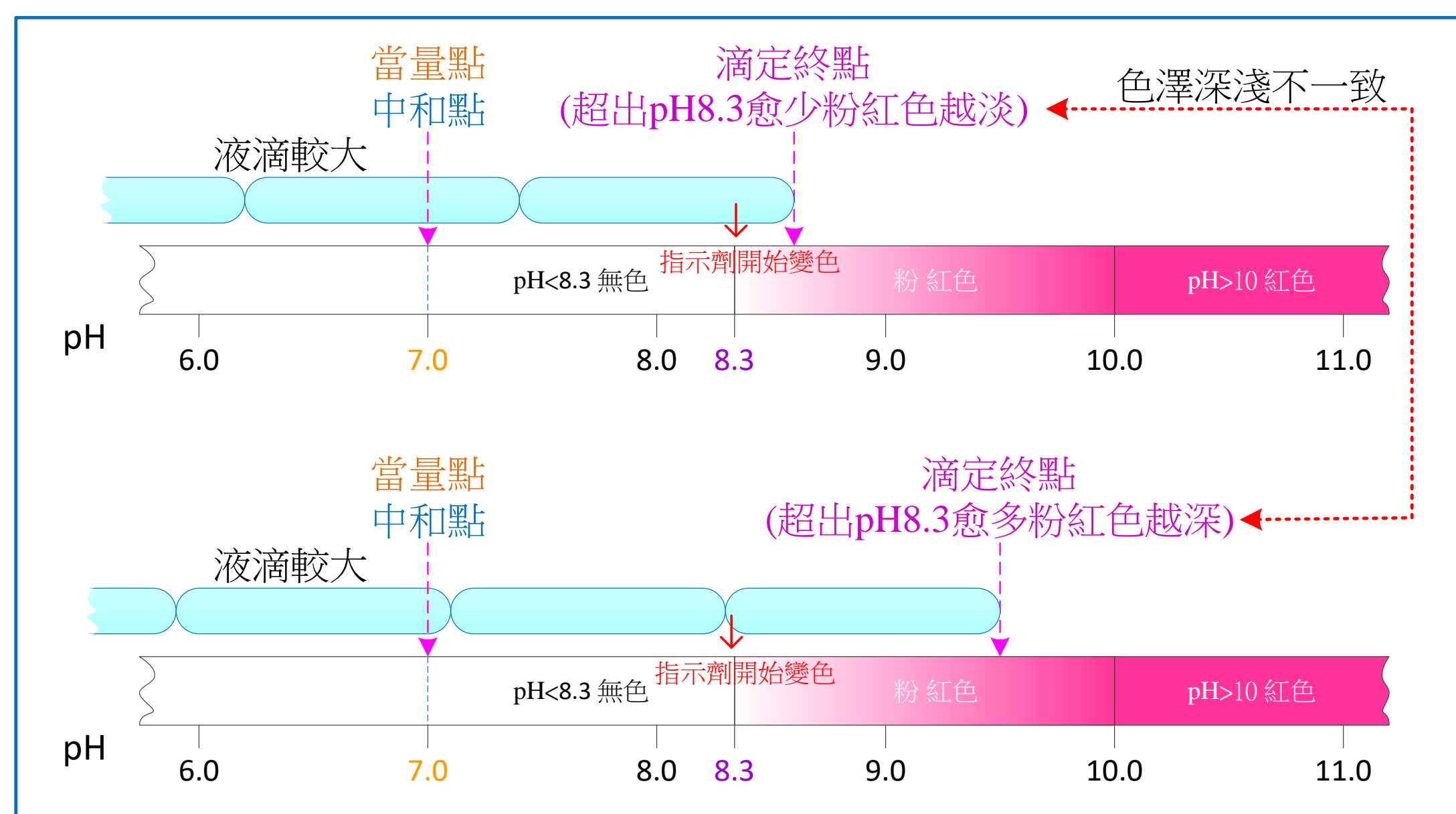
①橡皮頭②瓶身③轉頭④滴定臂⑤突出點⑥底部小孔⑦零點

三、滴定終點呈現溶液顏色差異分析

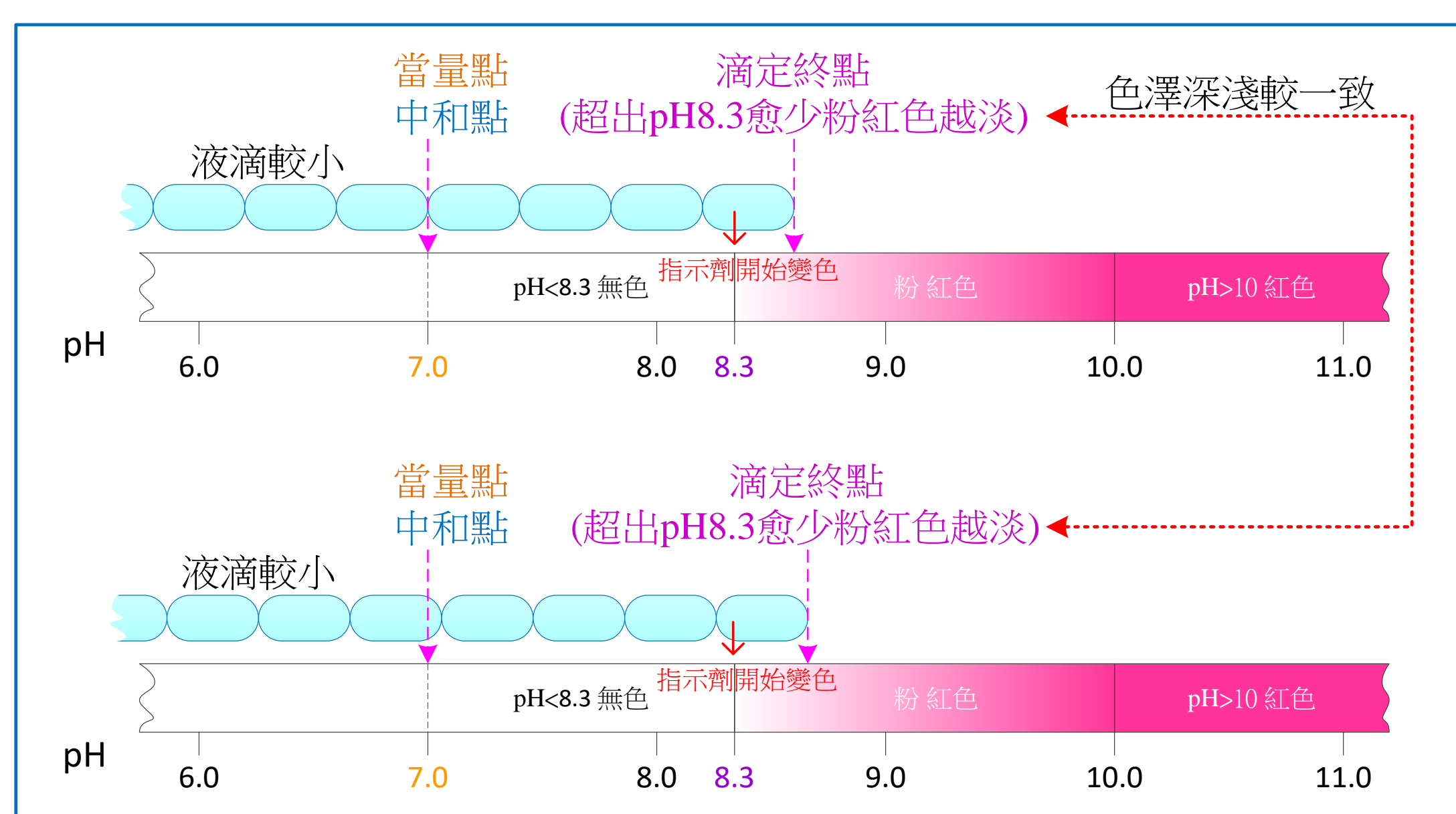
- (一) 酚酞的變色範圍：pH8.3~10.0，所以**滴定終點**pH>8.3，但**當量點**pH=7，二者pH值並不相同。在滴定過程中，最理想的指示劑應該能恰好在當量點時發生顏色變化，即**滴定終點**剛好為當量點，但實際上卻很難使兩點恰為相同。



- (二) A1(滴管)、A2 (滴定管)、A3 (水平微量滴定管)三者所滴落之液滴偏大，無法精準控制**滴定終點**之pH值之位置。若是**滴定終點**愈接近**當量點**，則呈現的粉紅色較淡；若是**滴定終點**愈遠離**當量點**，則呈現的粉紅色較深

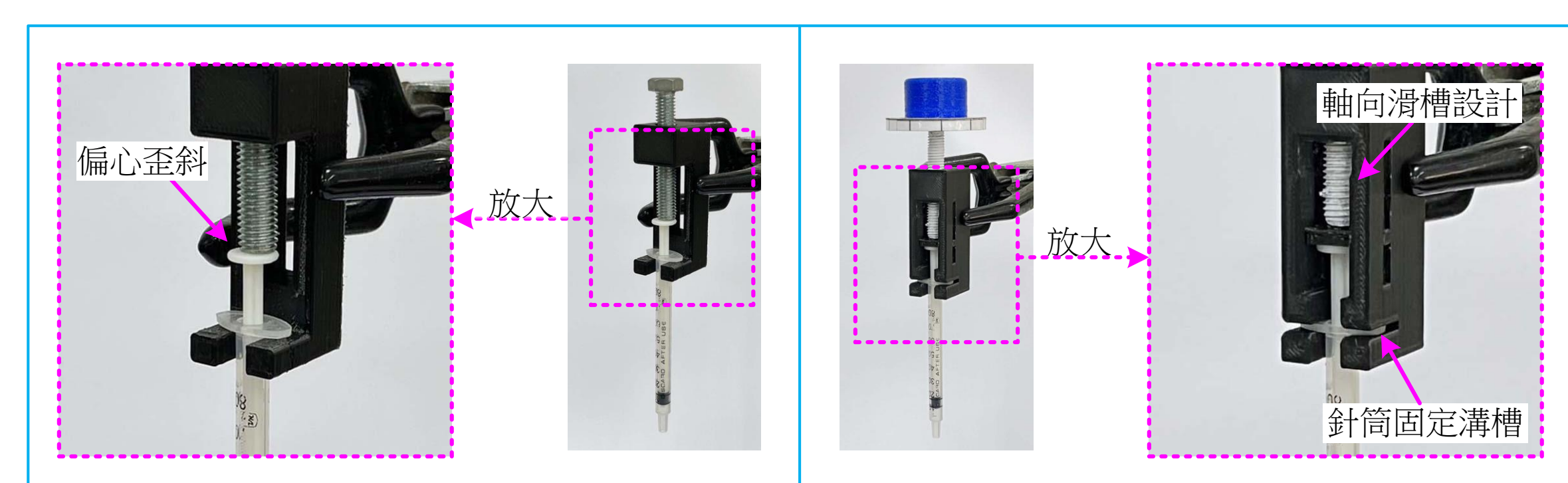


A. 現有滴定裝置產生液滴過大**滴定終點**色澤深淺不一致



B. 全新改良之滴定裝置產生液滴較小**滴定終點**色澤深淺較一致

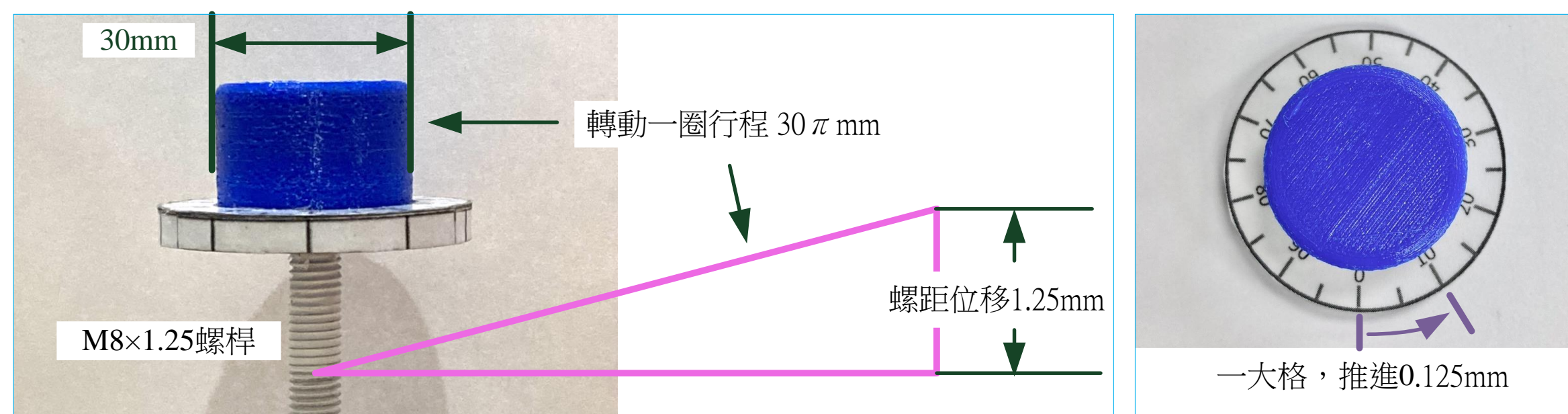
四、第一代滴定裝置分析



初始之設計

改良之設計

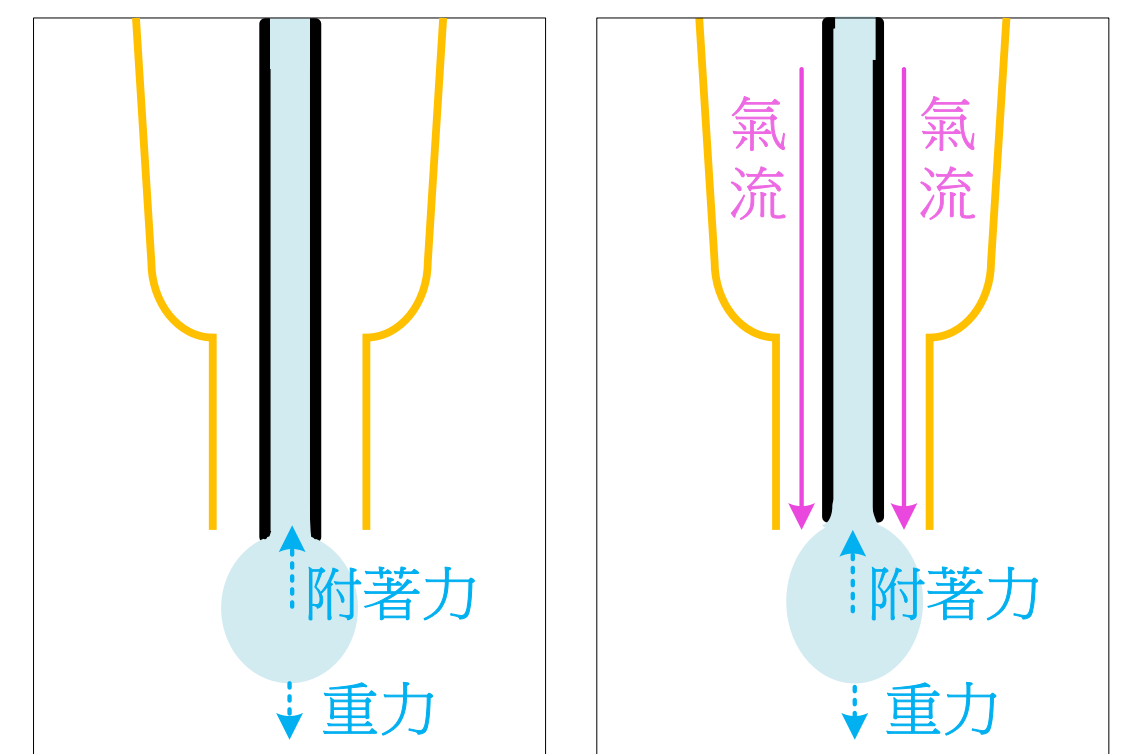
螺旋推進設計之改良過程



轉動旋鈕設計與螺距位移之關係

五、第二代滴定裝置分析

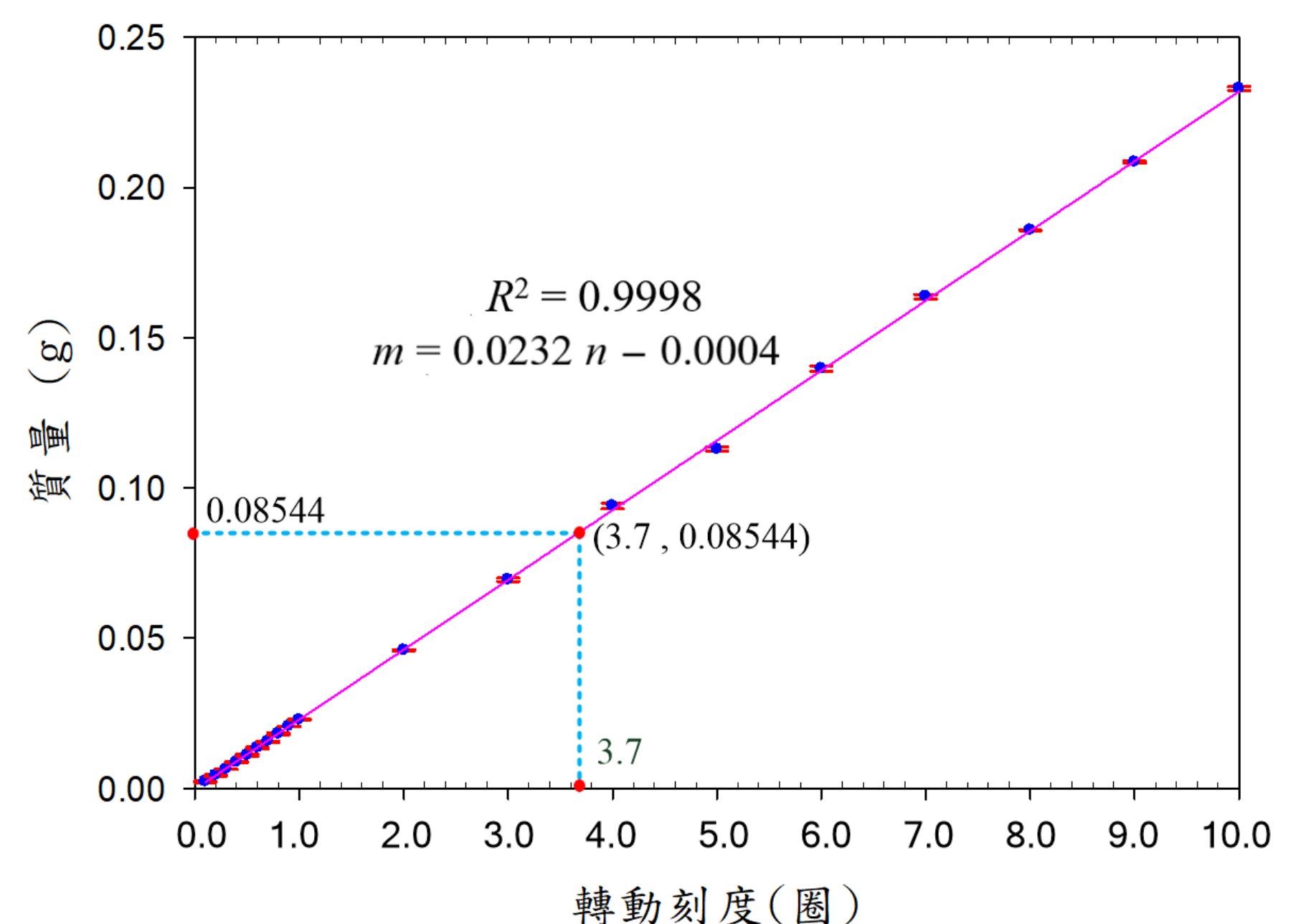
自製的氣流裝置，成功克服了殘液與針口的附著力，僅使用橡皮頭擠壓微小氣流即將殘液直接吹落。這個方法是一大亮點，操作不但簡單，成本也很低。



殘液吹落示意圖

六、改良型滴定裝置之實驗操作分析

趨勢線的方程式為： $m = 0.0232n - 0.0004$ (n : 轉動圈數、 m : 滴定質量)，可預估轉動圈數所滴定的質量為何。例如：假設轉動3.7圈，經計算預估其滴定質量為0.08544 g。

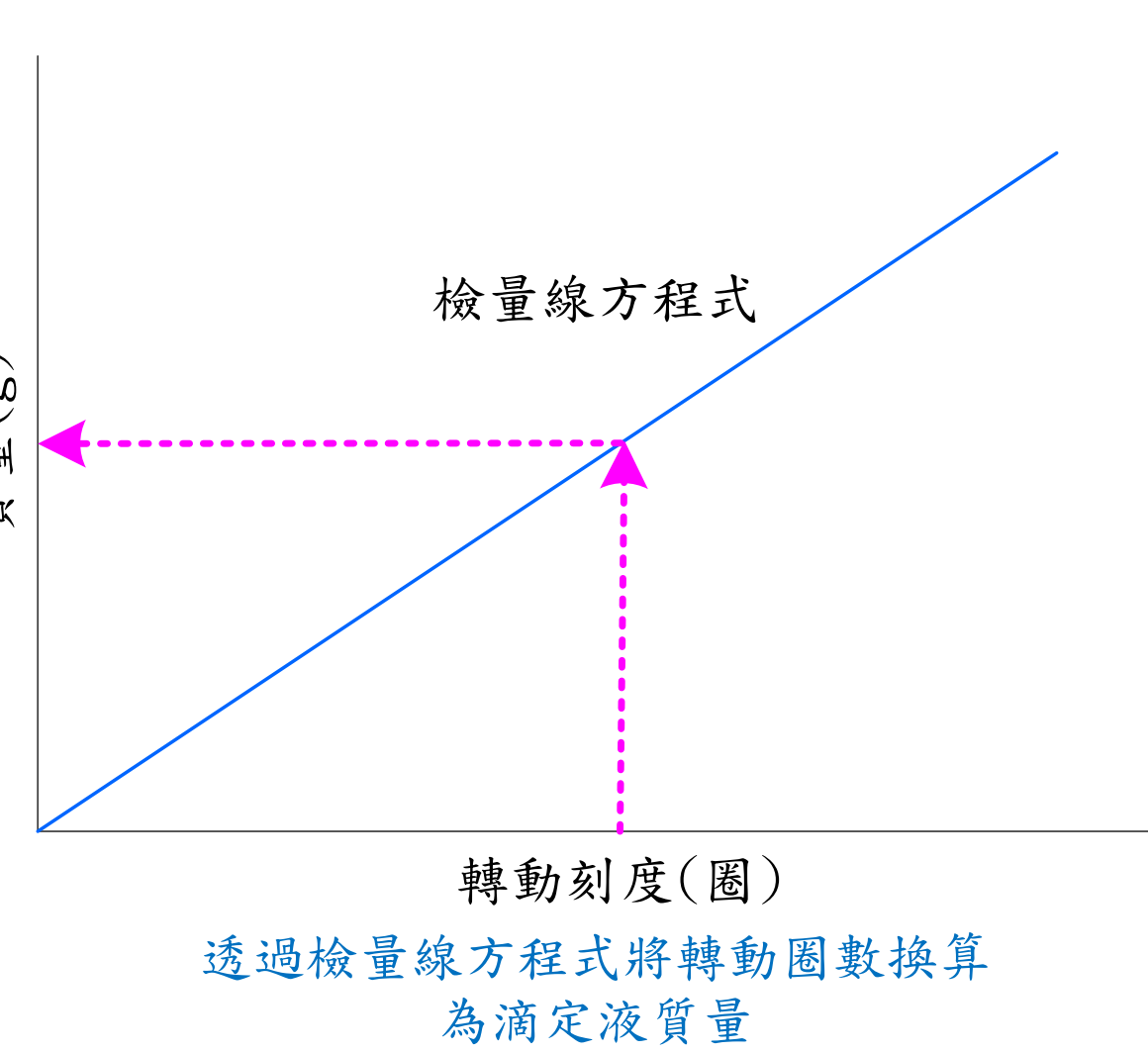


轉動圈數與滴定質量之趨勢推算

柒、結論

一、實驗結論

- (一) 「酸與鹼的反應」實驗結果：**滴管、滴定管、水平微量滴定管**，在定終點時，都不易接近**當量點**，呈現的溶液顏色深淺不同；全新改良的滴定裝置較接近**當量點**，**滴定終點**的溶液顏色皆呈現淡粉紅色，深淺較一致。
- (二) 現有滴定裝置不易接近**當量點**可能原因為：**A1(滴管)**是靠手指擠壓橡皮頭，施力控制不易，每一滴鹼液大小不一；**A2(滴定管)**控制每一滴鹼液(氫氧化鈉溶液)太大所導致；**A3 (水平微量滴定管)**除了靠手指擠壓橡皮頭，施力控制不易，其操作步驟也較為繁瑣，對初次使用者，須耗費較長時間熟悉滴定操作。
- (三) 自製**第一代滴定裝置**：可以穩定且容易控制液滴質量，滴落液滴之質量為 0.0094 ± 0.0002 g。使用轉動旋鈕的方式，轉動1圈僅推動一個螺距(1.25 mm)，可穩定軸向推進，使液滴增加質量而自然滴落。
- (四) 自製**第二代滴定裝置**：是可讓滴定液滴質量更小的殘液穩定滴落的微量螺旋滴定裝置，所吹落液滴之質量為 0.0022 ± 0.0003 g。使用擠壓橡皮頭產生微小的氣體，吹落針頭出口處質量更小的殘液液滴設計是一大亮點，操作不但簡單，成本也低。
- (五) 經實驗證明，使用全新改良的滴定裝置(第二代滴定裝置)，建立轉動圈數與滴定液質量之檢量線方程式，由實驗獲得「轉動圈數」數據，將「轉動圈數」透過檢量線方程式，即可換算為滴定液質量，進而得知滴定液體積。本研究全新改良的滴定裝置，未來在微量的定量分析上深具實用價值。



二、具體貢獻

- (一) 我們發現現有滴定裝置(滴管、滴定管、水平微量滴定管)在**滴定終點**時，不易接近**當量點**原因是操作不易、控制不穩定或滴定質量差異太大所導致。我們的研究成功解決了現有設備在「酸與鹼的反應」實驗中的缺點。
- (二) 改良型滴定裝置，具備螺旋擠壓液滴、氣流吹落殘液等兩大亮點。是一個操作簡便、穩定控制、液滴質量為 0.0022 ± 0.0003 g的微量滴定裝置，可作為未來滴定實驗中有力的實驗器材。
- (三) 改良型滴定裝置的裝置構造簡單、製造成本低廉、微量**滴定精準**，有助於降低實驗溶液的使用量，具有商品開發的價值。