

化學教室活動：發現查理定律和絕對零度

■ 簡介

本實驗的學習方法採用發現學習 (discovery learning)，在探索之前不知道氣體的溫度與體積之間的關係，在教材的指引下有機會去發現查理定律和絕對零度，其過程需要進行實驗、收集資料及處理資料，並進一步發現規律性。本實驗的設計係利用植物油來封住一支一端封口的毛細管柱內的空氣，形成在一個微小密閉系統的空氣柱。藉由水浴方式加熱或冷卻這支毛細管，測量在不同溫度下在管柱內的空氣膨脹或縮收的體積。然後，收集的數據進行毛細管柱內飽和水蒸氣壓的校正等數據的處理，而且需要排除在高溫下呈現高偏差的數據點，找到極佳的溫度與體積之間的關係和發現絕對零度。

■ 實驗器材

每組用量：毛細管 (單端開口，用於熔點測定，長 10 cm，內徑 0.60 mm) 1 支、廚房用數位溫度計 1 支、透明保特瓶 (用剪刀裁剪成杯狀) 或透明塑膠杯 (需耐熱至 80°C) 1 個、注射針筒附針頭 (10 mL) 1 支、植物油 (如沙拉油，裝在塑膠杯內)、塑膠杯 1 個、橡皮筋 2 條、金屬尺 (15 cm 長) 1 支、透明膠帶 1 捲、熱水 (用保溫瓶裝) 1 瓶、室溫水 (用保特瓶裝) 1 瓶、冰水 (用保特瓶或保溫瓶裝) 1 瓶、PE 滴管 (3 mL) 2 支。圖一左為本實驗需用的器材和材料，圖一右為實驗用器材和材料裝在一個置物盒中。

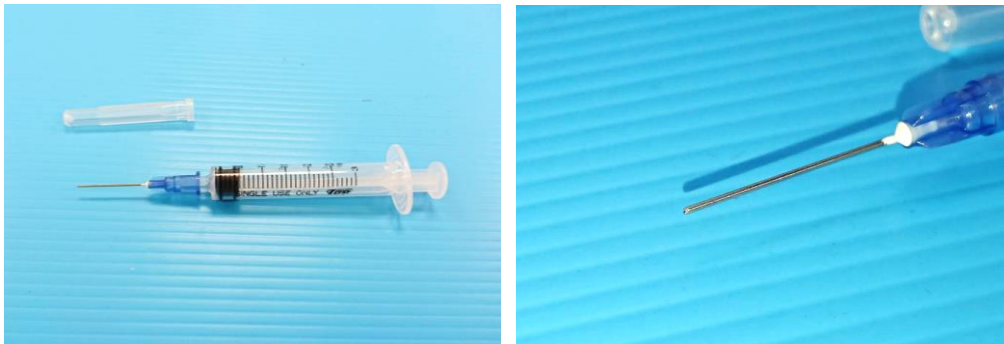


圖一：實驗需用的器材和材料 (左)，器材和材料裝在一個置物盒中 (右)

■ 實驗步驟

1. 準備一支 10 mL 的注射針筒 (附針頭)，如圖二左所示。針頭的尖端應事先用砂紙磨平或

使用剪刀剪斷，避免螫傷，如圖二右所示。



圖二：注射針筒附針頭（左），被磨平的針尖（右）

2. 取一支毛細管（單端開口），用兩條橡皮筋固定這毛細管在一支金剛尺上，毛細管的封口端的內徑底部與金剛尺的零刻度對齊，如圖三所示。

【注意】：若使用塑膠尺，在高溫時可能會造成塑膠軟化而彎曲的現象。



圖三：用兩條橡皮筋固定毛細管在金剛尺上

3. 放入金剛尺和毛細管到塑膠杯中，並利用膠帶支撐金剛尺和溫度計，如圖四所示。

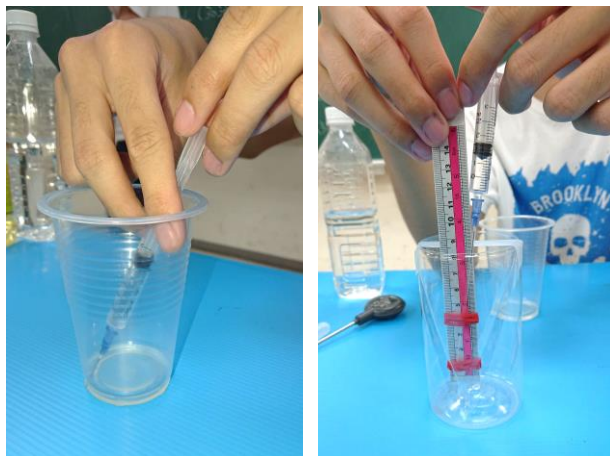


圖四：利用膠帶支撐金剛尺和溫度計

4. 在塑膠杯中，加入一些熱水，使毛細管內的空氣溫度上升。此實驗操作的溫度是由高溫往低溫。在高溫（60-70℃）時，使用注射針筒吸取少許的植物油（如沙拉油），注入植物油

的位置在距離毛細管開口處 2~3 公分處，植物油在毛細管內的高度約 2~3 mm 即可，如圖五所示。

【注意】：加入熱水到塑膠杯中，水面的高度務必不可淹過毛細管的開口，以免堵塞而影響氣體的膨脹或壓縮。



圖五：使用注射針筒吸取植物油（左），注入植物油在毛細管內（右）

5. 在注入植物油後，利用滴管進行加冷水或熱水到塑膠杯中，調整水溫在 60-75°C 之間，如圖六所示。之後，每下降 5°C 的測量一次溫度並記錄於表一中。在測量溫度時，必須隨時攪拌塑膠杯中的水，使水的溫度與毛細管本身的溫度達到熱平衡，待溫度變化較穩定時，才讀取溫度和空氣柱的高度，如圖六所示。



圖六：正式測量前，先調整水溫在 60-75°C 之間

6. 測量在不同溫度時，毛細管內空氣柱的高度。
7. 計算毛細管內空氣柱的體積，毛細管的內徑在包裝盒上有標示。

8. 透過網站，查詢水在不同溫度的飽和蒸氣壓。
9. 在定壓下，空氣柱體積 (V) 對溫度 (t) 作圖，發現其規律性；並使用趨勢線的方程式，在空氣柱體積為零之下，計算溫度軸上的溫度，發現絕對零度。
10. 校正空氣柱內的水蒸氣，使空氣柱的氣體為乾燥空氣。在空氣柱內的飽和水蒸氣被扣除後，在定壓下，乾燥空氣柱體積 (V) 對溫度 (t) 作圖，找出兩者的關係。溫度軸設定在 0-80°C 之間，檢查是否有大偏差的數據點。
11. 校正空氣柱的水蒸氣，使空氣柱的氣體為乾燥空氣。在空氣柱內的飽和水蒸氣被扣除後，在定壓下，乾燥空氣體積 (V_c) 對溫度 (t) 作圖，找出兩者的關係；並使用趨勢線的方程式，在空氣柱體積為零之下，計算溫度軸上的溫度，發現絕對零度。

■ 安全注意事項和廢棄物處理

- 注射針筒的針頭尖端應先用砂紙磨平，避免螫傷。
- 使用過後的注射針筒可以重複使用，不可丟棄，由教師集中保管。
- 使用後的實驗裝置可以重複使用，不可丟棄。
- 本實驗使用藥品僅有植物油，其量極少且無毒。
- 本實驗務必小心使用熱水，避免燙傷。

■ 結果與討論

一、基本數據

大氣壓力 (P_{atm}): _____ (mmHg) · 毛細管的內徑 ($2r$): _____ cm °

二、數據表

查理定律和絕對零度的定量實驗之原始數據和數據處理表，如表一所示。

表一：查理定律和絕對零度的定量實驗原始數據和數據處理

溫度 t (°C)							
空氣柱高度 h (cm)							
空氣柱體積 V (mL)							
飽和水蒸汽壓 (mmHg) *							
乾燥空氣比例 (%)							
乾燥空氣體積 V_c (mL)							

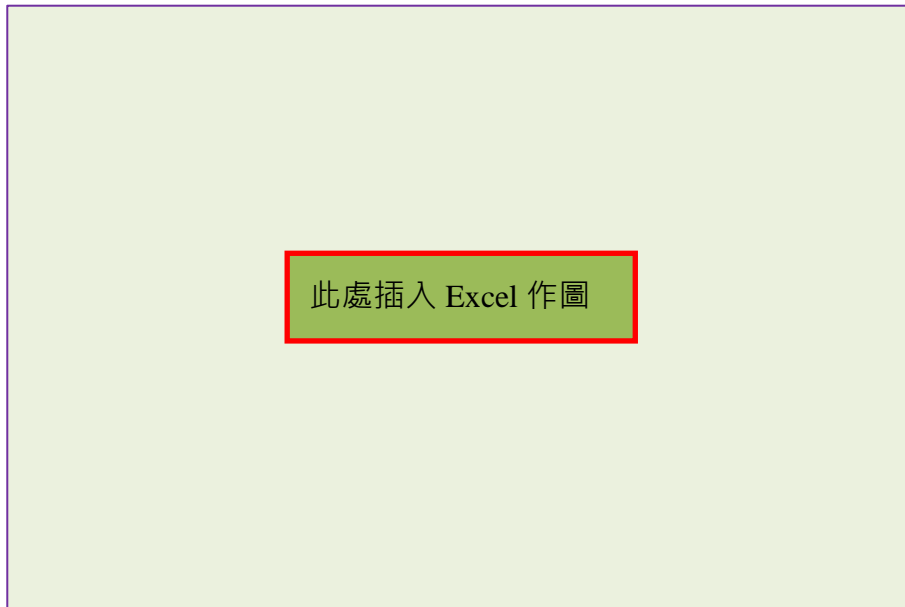
溫度 t (°C)							
空氣柱高度 h (cm)							
空氣柱體積 V (mL)							
飽和水蒸汽壓 (mmHg) *							
乾燥空氣比例 (%)							
乾燥空氣體積 V_c (mL)							

*不同溫度下的飽和水蒸汽壓，可用線上水蒸汽壓計算器，快速查詢得到，例如：Vapor Pressure of Water Calculator, <http://goo.gl/ivmBzA> 或 Saturated Vapor Pressure, <http://goo.gl/1pDYmP>.

三、關係圖

1. 在定壓下，空氣柱體積 (V) 對溫度 (t) 作圖，發現其規律性；並使用趨勢線的方程式，在空氣柱體積為零之下，計算溫度軸上的溫度，發現絕對零度。

在定壓下，空氣柱體積對溫度的關係，如圖八所示：

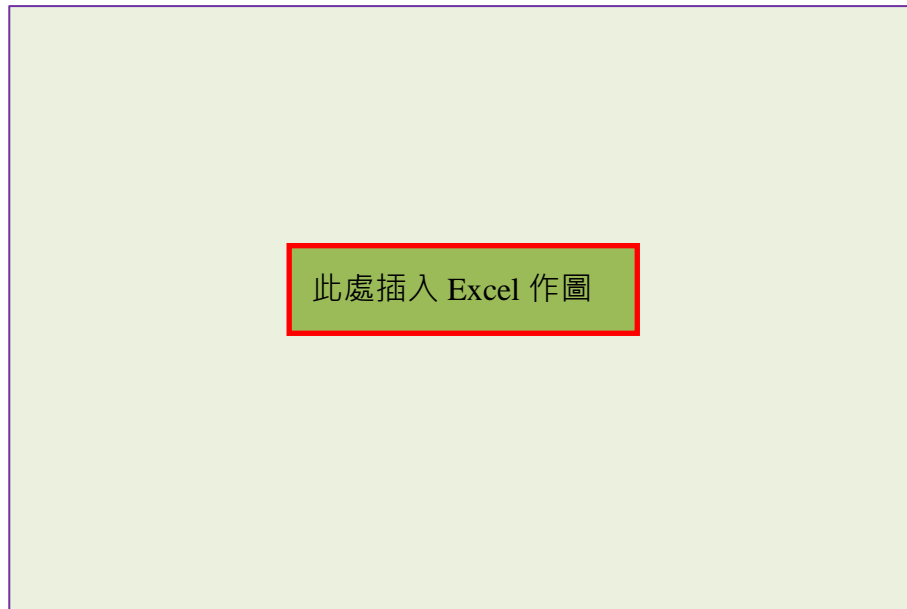


圖八：空氣柱體積對溫度作圖

(此處描述實驗結果與討論)

2. 校正空氣柱內的水蒸氣，使空氣柱的氣體為乾燥空氣。在空氣柱內的飽和水蒸氣被扣除後，在定壓下，乾燥空氣柱體積 (V) 對溫度 (t) 作圖，找出兩者的關係。溫度軸設定在 $0-80^{\circ}\text{C}$ 之間，檢查是否有大偏差的數據點。

在定壓下，乾燥空氣柱體積對溫度的關係，如圖九所示：

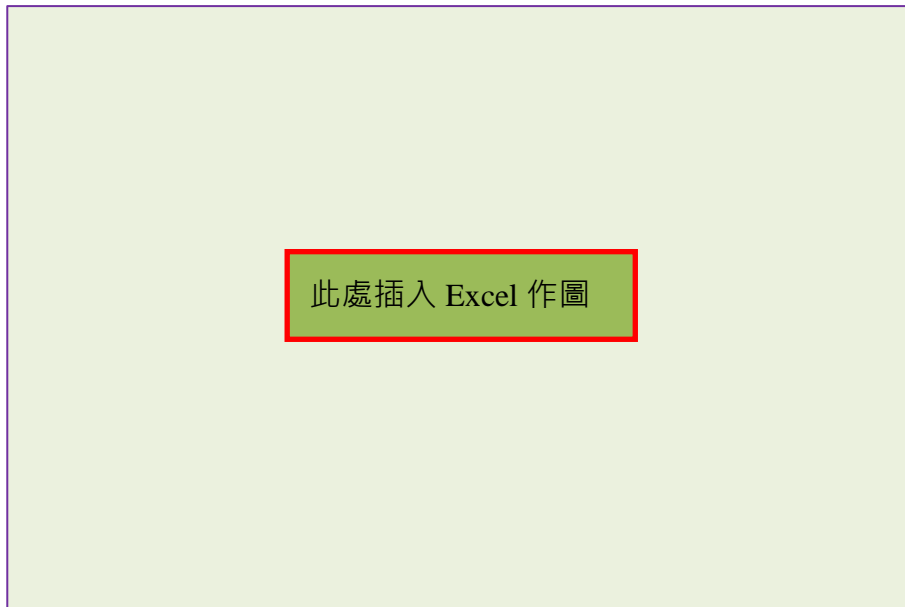


圖九：乾燥空氣體積對溫度作圖

(此處描述實驗結果與討論)

3. 校正空氣柱的水蒸氣，使空氣柱的氣體為乾燥空氣。在空氣柱內的飽和水蒸氣被扣除後，在定壓下，乾燥空氣體積 (V_c) 對溫度 (t) 作圖，找出兩者的關係；並使用趨勢線的方程式，在空氣柱體積為零之下，計算溫度軸上的溫度，發現絕對零度。

在定壓下，乾燥空氣體積對溫度作圖，如圖十所示：



圖十：乾燥空氣體積對溫度作圖

(此處描述實驗結果與討論)

■ 理論說明和實際應用

一、用理論說明查理定律。

二、舉出查理定律的實際應用實例。

教材設計：李錡峰，國立南科國際實驗高級中學

張鈞皓、郭峯廷、楊水平，國立彰化師範大學化學系

資料來源：《臺灣化學教育》(<http://chemed.chemistry.org.tw/>)，第二十五期。