

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

佳作

051807

天涼了，呵口暖氣在掌心 — 探討吹氣、呵氣造成溫度差異的因素

學校名稱：南山學校財團法人南山高級中學

作者： 高二 陳冠穎 高二 吳伯逸 高二 尹柏森	指導老師： 高溥聲 黃大桀
---	-----------------------------

關鍵詞：絕熱膨脹、白努利原理、呵氣與吹氣

摘要

本實驗為探討造成吹氣與呵氣溫度差異的主要因素。不論是呵氣還是吹氣，氣體同樣由體內排出，但天冷時我們會選擇呵氣在掌心，感受相比吹氣更溫暖。根據前人研究，溫度差主要來自於「氣體絕熱膨脹造成的溫度下降」和「白努利定律造成的氣流捲入」。本研究模擬人類呼吸系統，依照人體生理控制氣流的總量、流速、氣壓差、溫度和濕度。實驗結果顯示，絕熱膨脹效應和氣流捲入效應並非是影響溫度差異最大的原因。在本實驗中，絕熱膨脹混和白努利定律造成的影響，至多使吹氣與呵氣相差 0.7°C ，再加上水氣造成的效應可使吹氣與呵氣相差 1.7°C 。因此，我們推論水氣是造成吹氣與呵氣溫差的最主要原因。

壹、研究動機

當寒流來襲時，手常常凍到沒有知覺，所以我們會呵口氣在掌心，在冷天中得到一點溫暖。可是我們不會「吹氣」在掌心，理論上不論是「吹氣」還是「呵氣」，氣體都是由身體內排出，溫度應該都極為接近體溫才是，那是什麼因素造成兩者溫度不同？抑或是人體感受的錯覺呢？

在國中自然與生活科技課本「大氣」章節，第一次接觸到「絕熱膨脹」，知道空氣塊由高壓環境到低壓環境時，體積會膨脹，同時溫度下降，當時課本內「知識快遞」就以「吹氣與呵氣」作為絕熱膨脹的範例：空氣由嘴巴「吹」出時，因為嘴型是一個小口，因此在口腔內的壓力較大，當吹出口腔時與外界環境壓力差較大；相對比較「呵」氣時口腔打開，口腔內壓力與外界環境相差無幾，因此空氣「呵」出口腔時，體積應變化不大。所以吹氣時溫度較低，呵氣時溫度較高，感覺非常合理。

天下文化出版的科學系列叢書「觀念物理」第 III 冊 200 頁，同樣以吹氣與呵氣作為絕熱膨脹的範例。依 David Halliday 等所著的「普通物理（第八版）」也同時表示：「張口呵氣時，口腔內的氣壓與外界大致相同，因此呵出的氣體約與體內溫度相同，因此會覺得熱熱的。噘口吹氣時，口腔內氣壓比外界高，當氣體到口腔外時會膨脹，因此會對外界做功，溫度會下降。」。師範大學物理系討論群組中，黃福坤老師贊成此說法。

網站「跟著鄭大師玩科學」中，鄭永銘老師也有探討相關問題。他以煮開水作為例子：沸騰的水壓力無法噴開重量 90 公克直徑 10cm 的壺蓋，由此可知壺蓋內外壓力差不會太大。氣體從壺口到外部 10cm 時，溫度整整下降 60 度，故鄭老師針對絕熱膨脹是否是造成吹氣與呵氣溫度變化主要因素提出疑問。他認為應是「白努利原理」造成低溫氣體流入降溫。2020 國際科展作品「吹氣致冷現象的機制探討」也提出同樣的觀點。

從人體呼吸原理可知，人體在吐氣開始的那一瞬間，肺中氣壓與環境壓力是相同的，就算是吐氣過程，肺中壓力也只比環境壓力略高（所以吐氣風速並不強）。因吹氣較呵氣嘴型不同，造成口腔內壓力上升增溫，可是一則壓力並未升高太多，且時間僅短短 1~2 秒鐘，應不足以將些微增溫氣體的熱快速傳遞給口腔，而後馬上吹出體外絕熱膨脹降溫，氣體溫度應很接近呵氣溫度，不該有明顯變化才是。吹氣時因氣體流速較高，捲入較多環境空氣造成溫度較呵氣低溫，但混合溫度無論如何都應介在「體內排出氣體溫度」與「環境溫度」之間，接觸環境溫度的皮膚不應感覺比原來涼快才是。

最後，前人的研究都沒有模擬人類呼吸的條件。因此為了瞭解造成吹氣、呵氣溫度差異的主因，我們嘗試建構人造呼吸系統，將解析各項變因造成溫度變化的影響。

貳、 研究目的

- 一、 探討吹氣、呵氣造成溫度差異的因素。
- 二、 分析絕熱膨脹降溫、白努利原理造成周圍氣體捲入，和水氣冷凝與風速差異造成的蒸發影響；並推測各因素可能造成的溫度變化。

參、研究設備及器材

一、實驗儀器、器材

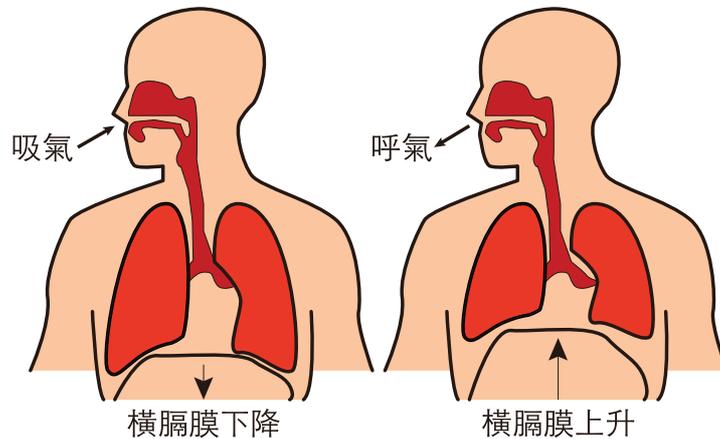
器材	數量	器材	數量
 黑鋁箔	2	 Satir 紅外線熱成像儀	1
 微壓計	1	 打氣筒 1650ml	1
 啞鈴 3.6kg(8 磅)	2	 可調功率風速吹風機	1
 Pasco 無線天氣感應器	1	 ANOVA 舒肥棒	1
鐵尺 30cm	4	塑膠整理箱 60cm×42cm×25cm	1
1250ml 寶特瓶	2	600ml 寶特瓶	2
試管夾	4	塑膠管 3m	1

肆、研究過程或方法

一、名詞定義：「吹氣」為嘴唇嘟起小口，使氣體集中由小口吹出；「呵氣」為嘴巴微張使唇形呈現 O 形，使氣體由口腔呼出。

二、人體呼吸原理與實驗規格設定：

人體是屬於「負壓式呼吸」，吸氣時是橫膈肌與外肋間肌收縮，造成橫膈膜下移使得胸腔為負壓環境，因此空氣「自然流入」肺臟之中。吐氣時則肋間肌與橫膈肌舒張壓縮胸腔，使得肺臟內為正壓環境，將氣體從肺臟壓出（圖 肆-1）。



肆-1 人體呼吸示意圖

人體肺臟容積可以分為：

潮氣量(Tidal Volume, TV)，每次正常呼吸下所吸進呼出的容積，大約是 400~600ml。

吸氣儲備容積(Inspiratory Reserve Volume, IRV)，在正常吸氣後，再用全力吸氣後所多吸入的氣體容積，通常約 3000ml。

呼氣儲備容積(Expiratory Reserve Volume, ERV)，在正常呼氣後，再用全力呼氣後所吐出的氣體容積，通常接近 1100ml。

殘氣量(Residual Volume, RV)，用力呼氣到不能再呼為止時，肺中仍存留的氣體容積。正常大約為 1100ml。

所以人體「吹氣」與「呵氣」動作時，排出氣體容積應為潮氣量+呼氣儲備容積，約為 1500ml 至 1700ml。因此本實驗模擬單次排氣量應在 1500ml 至 1700ml 之間。

根據資料(Christopher G Lausted etc. 2006)人體在向外吐氣時口腔內外壓力差約為 4~15kPa。因此本實驗在進行模擬吹氣與呵氣時壓差應在 4~15kPa。

另外人在進行吹氣與呵氣至手上時，多在近距離下，所以本次實驗距離以 10cm 內為限。

三、影響吹氣與呵氣溫度差異的可能因素：

經討論後包含主流兩大派說法，以及本研究討論的可能第三種因素：

1. 因壓力大小不同，造成絕熱膨脹降溫。
2. 因風速不同，使得混合外界流入冷空氣多寡而造成降溫不同。
3. 氣體中因水氣冷凝與風速差異造成的蒸發影響。

實驗主要針對以上三點進行實驗驗證。此外因為每次實驗時的環境溫度不會完全相同，所以研究「並非單純比較吹氣與呵氣後溫度的絕對高低，而是吹氣與呵氣前後溫度的相對差異（前後溫差）」，以判斷何項因素影響較大。

四、實驗流程與設計

由於氣體溫度較難直接量測，因此利用比熱甚小的鋁箔紙作為測量媒介，使氣體吹送至鋁箔紙上造成溫度變化，再利用紅外線攝影機觀察鋁箔溫度。但經測試發現一般家用銀鋁箔紙容易反射周遭熱源，使得紅外線熱像儀受到干擾影響觀測，因此我們使用黑鋁箔(專業攝影器材)，可有效減少反射現象，使量測更為準確。

(一) 確定實際吹氣與呵氣間的確存在溫度差異（實驗一）

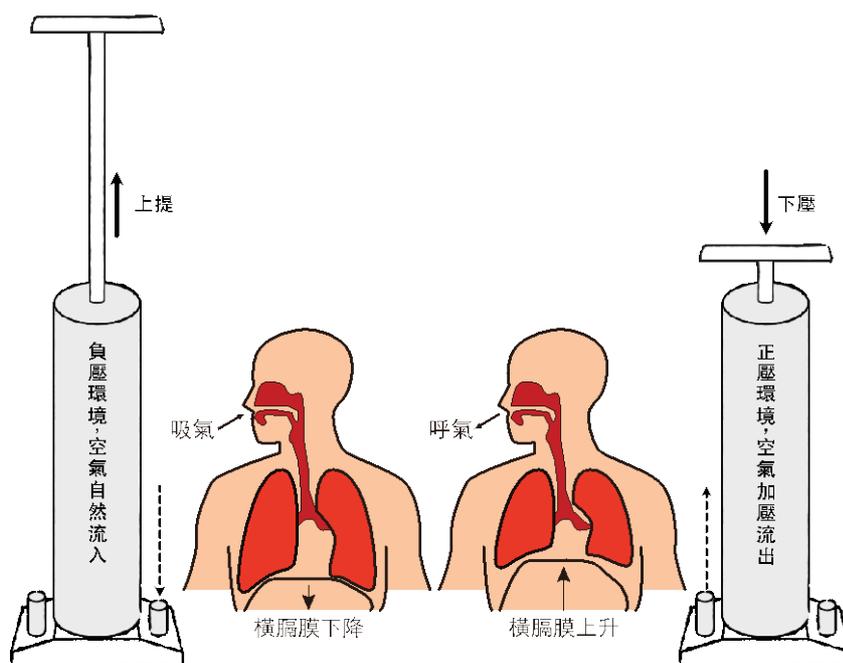
1. 首先確認感受到吹氣與呵氣的溫度差異並非單純人體感受，而是溫度確實有差異。

2. 組內三名同學先使用風速計，調整每人吹氣或呵氣的風速趨近一致，因為風速受氣壓梯度力（氣壓差）影響，因此以風速作為口腔與外界壓力差距標的。
3. 分別在及靠近黑鋁箔距離 0.5cm、5cm、10cm 三處進行連續吹氣及呵氣，為避免氣體停留於體內較長時間造成溫度誤差，故以穩定呼吸節奏連續 20 次，取後 10 次作為實驗數據，測量吹氣或呵氣至黑鋁箔前後溫度的變化，作為實驗溫度參考。

(二) 建立模擬裝置（模擬裝置 A）

因為每個人個體差異，無法客觀度量每一項變因造成吹氣與呵氣溫差的影響重要性，所以欲將人體呼吸解構建立模擬裝置，先客觀衡量第一派說法「絕熱膨脹」所造成的影響。

人體為負壓式呼吸，原理如同打氣筒（圖 肆-2），恰好尋得容量為 1650ml 的打氣筒，符合人體在進行吹氣與呵氣時，排出氣體容積為「潮氣量+呼氣儲備容積，約為 1500ml 至 1700ml」的條件。因此本實驗模擬裝置使用此打氣筒作為主要供氣來源。



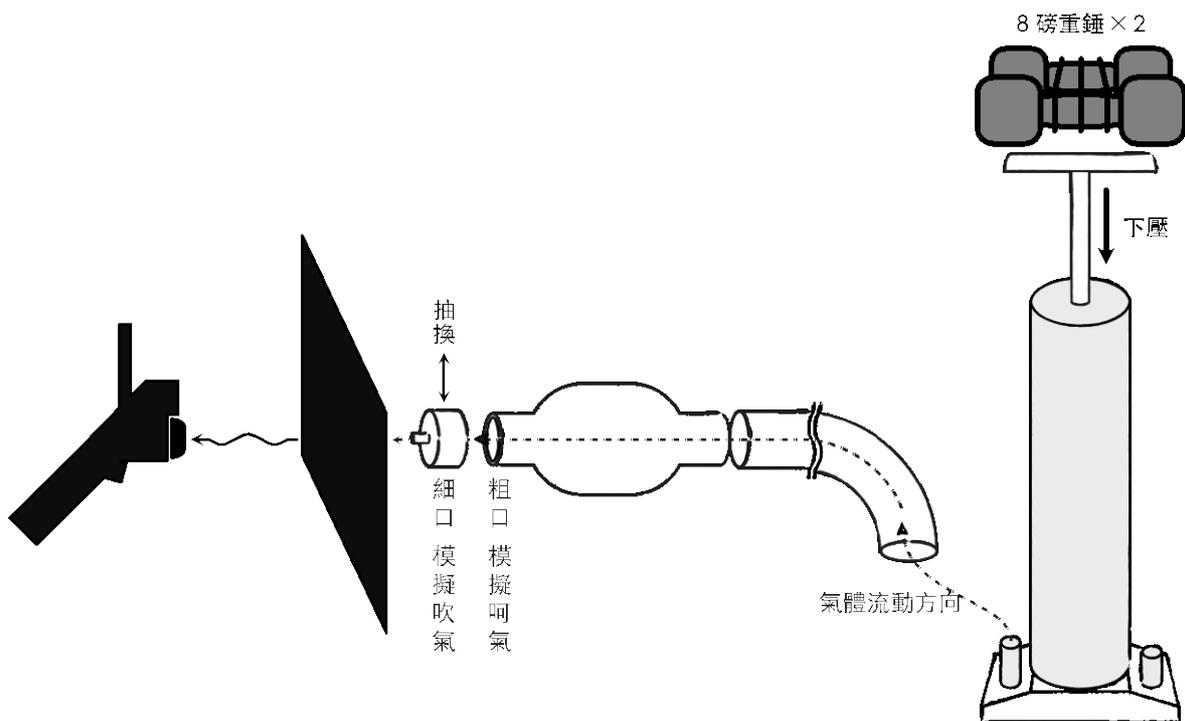
肆-2 打氣筒運作與人體呼吸作用對比

將小汽水瓶改裝為模擬口腔，使容積大小約等同成人口腔（100ml）。由於人嘴唇含住寶特瓶口時的口型大小與呵氣極接近，所以直接以正常寶特瓶口（內徑 2.4cm）作為呵氣模擬嘴型（定義為「粗口」）；而吹氣嘴型則與使用細吸管極為接近，因此以瓶蓋鑽孔並插入細吸管（內徑 0.5cm）作為吹氣模擬嘴型（定義為「細口」）。改裝完成後將模擬口腔裝置接上打氣筒。

為使打氣筒下壓力量一致，並與實際人體相符。使用微壓計測量三位同學正常吹氣或呵氣時，壓力的範圍介於約 4-6kPa 間，與查詢資料(4~15kPa)符合。再將微壓計連結打氣筒與實驗裝置，找出特定重量的重錘，使其向下壓出氣體的壓力介於人體吹氣範圍內

經測試後，使用兩個 3.6kg(8 磅)啞鈴做為重錘，在裝置為細口狀態下（模擬正常吹氣），測得壓力約為 5.5kPa。在裝置為粗口狀態下（模擬正常呵氣），測得壓力約為 4kPa。藉此固定控制下壓力量。

將打氣筒連結實驗裝置，使用固定重量重錘（2 組 8 磅重錘）下壓，模擬口腔進行呵氣與吹氣（圖 肆-3 ~ 圖 肆-5）。



肆-3 模擬裝置 A 設計圖



圖 肆-4 模擬裝置 A

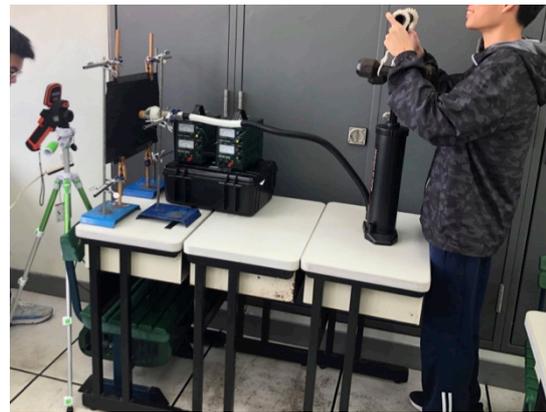


圖 肆-5 模擬裝置 A 操作示意圖

(三) 測量「絕熱膨脹造成」的溫度變化（實驗二）

原理：

根據熱力學第一定律：

$$\Delta Q = \Delta W + \Delta \mu$$

ΔQ 為外加能量、 ΔW 為作功能量、 $\Delta \mu$ 為內能變化量

$\Delta Q = 0$ ，故由熱力學第一定律，氣體的溫度必然降低。

從能量轉化的角度看，氣體在絕熱膨脹過程中減少其內能而對外做功，膨脹後氣體分子間的平均距離增大，吸力的影響減弱而使分子間的相互作用能量有所增加。內能既減少，相互作用能量又增加，分子的平均動能必減少，因而氣體的溫度下降。

2. 實驗二：以模擬裝置 A 模擬絕熱膨脹狀況

為了釐清絕熱膨脹造成的影響，將黑鋁箔放置距離排氣口 0.5cm 位置，極近距離下應可避免周圍空氣捲入造成的降溫影響。分別將模擬裝置以粗口及細口情況下，使用固定重量重錘（8 磅重錘×2）下壓，施測 10 次，觀察前後溫差變化。

(四) 測量「風速不同造成外界流入空氣混合效應」影響溫度變化（實驗三）

1. 原理：

白努利原理表示：對一不可壓縮流體（流體的密度不因外力而改變，大部分的液體皆可視為此類）而言，在外界不做功的情況下，當液體流速增加時，將會造成液體的壓力或是重力位能減少。

此原理可以白努利方程式表示如下：

$$\rho v^2/2 + \rho gh + P = \text{常數}$$

其中 v 為液體流速， ρ 為液體密度， g 為重力加速度， h 為液體相對於基準點的高度， P 為液體壓力。

白努利原理其實就是能量守恆定律（conservation of energy）在流體上的應用。也就是說，為了滿足能量守恆定律，流體分子力學能的總和應該在流動路徑上的各處皆要相同，亦即動能與位能的和不論流體流往何處皆應保持定值。

2. 建立模擬人體環境模型（模擬裝置 B）。

因為要衡量氣體捲入造成的溫度變化影響，所以由模擬裝置排出氣體的初始溫度必須要穩定，比較上才能減少誤差。原本預計在模擬裝置 A 上纏繞電阻絲，接上直流電，藉由調整電壓電流控制裝置溫度。但經過測試後，溫度穩定度不如預期，為了要使氣體初始溫度更加穩定，另再考量後續可能要探討水氣所佔的影響，所以修改實驗裝置，期望能更接近模擬人體環境模型。

同樣使用打氣筒作為肺臟模擬裝置，因打氣筒拉起時，桶內為負壓，恰可視為人體中橫膈膜下降，使外部空氣自然流入。打氣筒下壓時可視為橫膈膜上升加壓肺臟，將氣體壓出，故能更貼近真實情形。在實驗二中容積為 1650ml 的大型排氣筒，恰好符合人體吹氣或呵氣時排出氣體容積為「**潮氣量+呼氣儲備容積**」的範圍。

將塑膠置物箱（60cm×42cm×25cm）旁掛上舒肥棒，即可改裝成恆溫 37°C 水浴槽，並在箱底部墊厚木夾板並使用強力膠膠合，使結構穩固，能避免裝水

後結構產生變形。在底部挖直徑 10cm 的洞，安裝固定打氣筒，以矽利康與防水填縫噴劑封邊。為配合打氣筒設計，木板下方再安裝墊高 10cm 腳座，使得打氣筒腔室能大多位於水浴中。另以 2 組 1250ml 汽水寶特瓶中間剖開倒接，並使用強力膠與矽利康固定封邊，外圍再纏繞防水膠帶。

改裝寶特瓶一端連結打氣筒塑膠管，在水浴槽側邊開口，將改裝寶特瓶另一端插入安裝至水浴槽側邊開口，同樣以矽利康固定封邊。水浴槽側邊的瓶口向外作為模擬吹氣或呵氣口。待安裝完畢後寶特瓶下方額外以重錘固定，確定水浴槽灌滿水時，改裝寶特瓶不會因為上浮力量過大而位移，導致裝置破壞。

如此設置水浴可同時加熱改裝寶特瓶與打氣筒，使其中空氣均為 37°C，施作時也可在寶特瓶中放置一支酒精溫度計，用以觀察確定改裝寶特瓶中氣溫達到接近人體體溫 (37°C) (圖 肆-6 ~ 圖 肆-8)。

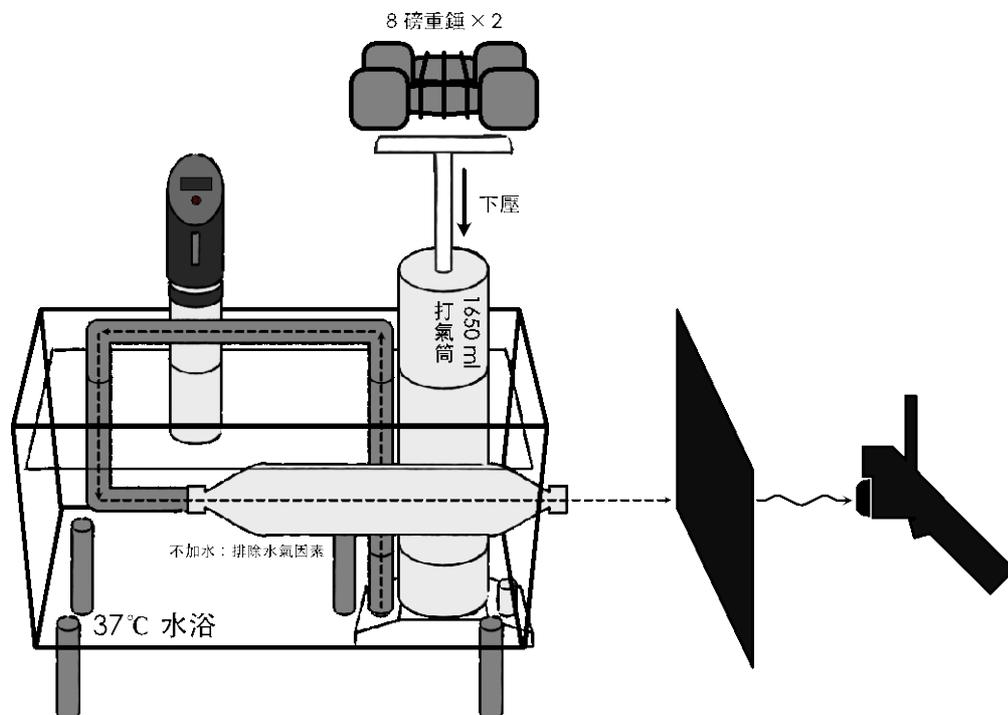


圖 肆-6 模擬裝置 B (未加水狀態) 設計圖



圖 肆-7 模擬裝置 B

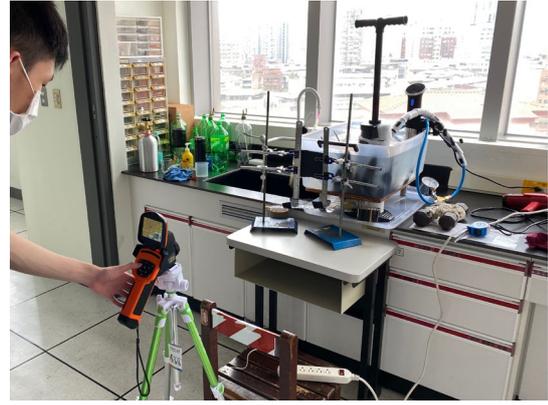


圖 肆-8 模擬裝置 B 操作示意圖

3. 實驗三-1：定性實驗，測量固定溫度下，高、低風速影響溫度變化

利用吹風機（可分別調整溫度與風速）在固定溫度下，改變風速與距離（0.5cm、5cm、10cm），觀察吹送至黑鋁箔溫度變化與差異做為定性實驗。

4. 實驗三-2：以模擬裝置 B（加熱）模擬不同距離下，吹氣與呵氣捲入氣體造成的溫度差異

將模擬因吹氣（細口）與呵氣（粗口）因風速不同，在不同距離內捲入氣體量差異造成的溫度變化。其實本實驗溫度差異因素應同時包含「絕熱膨脹」與「氣體捲入」，所以實驗數據應再扣除絕熱膨脹因素，方為捲入氣體效應影響。

測量裝置加熱後，因細口與粗口不同（模擬吹氣與呵氣）造成風速差異，在不同距離（0.5cm、5cm、10cm）處造成的溫度變化。重複測量 3~5 次，每次測量須觀察裝置中溫度計是否達到 37°C 恆溫。紀錄每次測量溫度的變化。

五) 測量「體內呼出水氣冷凝與蒸發效應」影響溫度變化（實驗四）

1. 因實驗二（絕熱膨脹）與實驗三（外界氣體捲入降溫）實驗結果，果然如研究前懷疑，並非如人體實測，造成吹氣與呵氣間明顯溫差。因此我們推測應為第三種原因：體內呼出水氣冷凝與蒸發效應造成溫度影響。

因為人體吐出氣體水氣含量很高，接近飽和狀態，初始構想使用接上直流電源的小風扇，藉由控制電壓電流調整風速與吹氣或呵氣一致，再於小風扇後方使

用加熱板加熱燒杯中的水至沸騰，由小風扇捲入富含水氣的空氣吹至黑鋁箔上，觀察黑鋁箔溫度變化。但是前期測試結果溫度與水氣量無法穩定，容易造成實驗結果誤差較大。為了求穩定的溫度與水氣供應，因此在設計模擬裝置 B 時將水氣因素考量其中。

3. 實驗四-1：以模擬裝置 B 模擬不同距離下，吹氣與呵氣捲入氣體造成的溫度差異。

改裝寶特瓶內注入少量水（圖 肆-9），施測前先封閉寶特瓶口，待觀察瓶中溫度計達到 37°C ，且瓶身內側出現細小水滴（肆-10），表示瓶中空氣富含水氣且接近飽和。打開寶特瓶口（模擬粗口）或換上改裝後的瓶蓋（模擬細口），旋即將打氣筒以 2 組 8 磅重錘下壓，使氣體由寶特瓶在距離 0.5cm、5cm、10cm 吹出至黑鋁箔，以紅外線攝影機觀察黑鋁箔溫度變化，粗口與細口各距離施作 3 組。主要觀察施測前與施測後黑鋁箔的溫差。

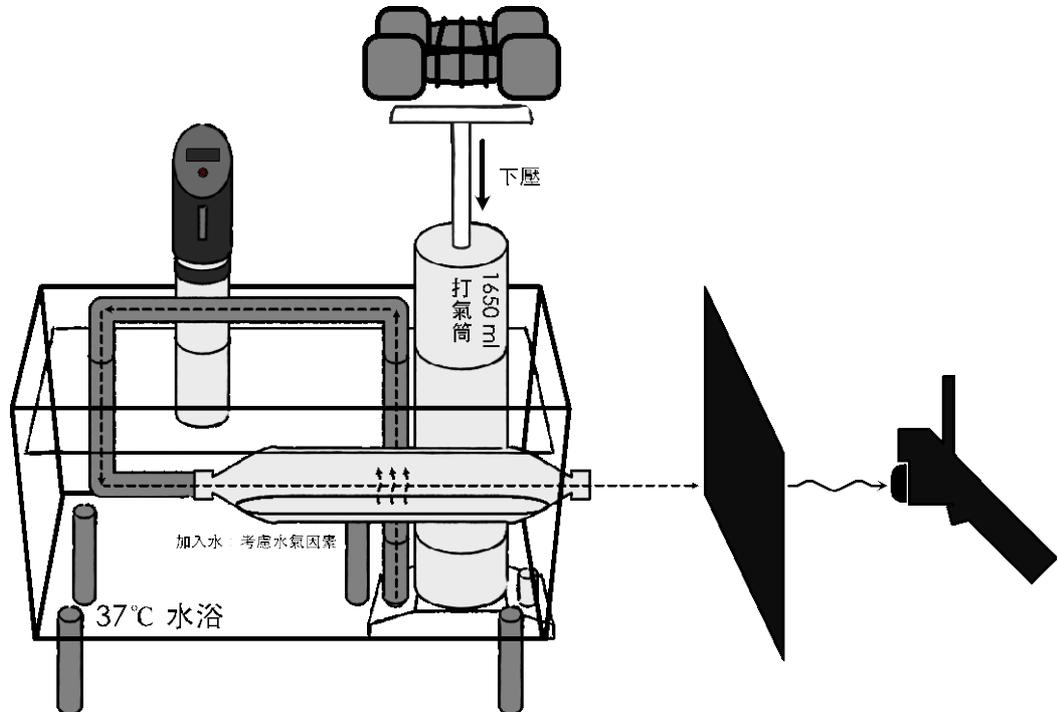


圖 肆-9 模擬裝置 B（加水狀態）設計圖



肆-10 模擬裝置 B (加水狀態), 瓶中內側
出現細小水滴, 表示瓶中氣體達飽和

實驗結果應同時包含絕熱膨脹 (實驗二-2)、外界氣體捲入 (實驗三-2) 與水氣效應影響, 因此施測完畢後與實驗二-2 與實驗三-2 相比較, 即可評估水氣效應影響比例。

4. 實驗四-2: 在相同環境下以人體實測與模擬裝置 B 結果做比較

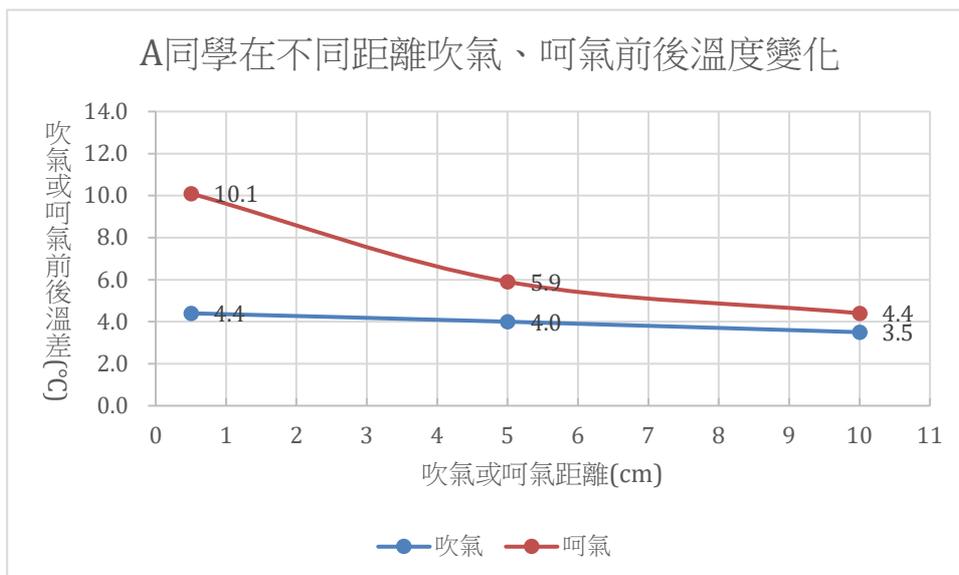
因此時漸入初夏, 環境氣溫已與實驗一時不同, 故同時再以人體實測 (環境氣溫約 34°C), 與實驗裝置相比較。

伍、研究結果

研究結果：

一、實驗一：確定實際吹氣與呵氣間的確存在溫度差異（分別於 0.5cm、5cm、10cm）：

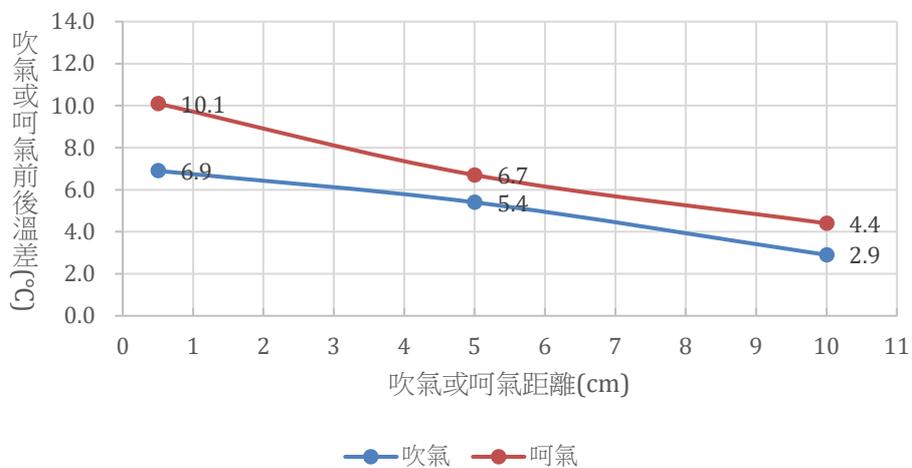
實驗次數	0.5cm 吹氣			0.5cm 呵氣			5cm 吹氣			5cm 呵氣			10cm 吹氣			10cm 呵氣		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	22.2	27.8	5.6	22.0	31.4	9.4	22.3	26.1	3.8	21.7	26.5	4.8	22.6	26.3	3.7	21.3	26.3	5.0
2	22.3	26.7	4.4	21.0	30.0	9.0	22.3	26.9	4.6	22.2	27.0	4.8	22.6	26.1	3.5	21.5	25.6	4.1
3	22.6	27.8	5.2	20.8	30.4	9.6	22.4	26.3	3.9	21.5	27.6	6.1	22.6	26.3	3.7	21.3	26.0	4.7
4	23.0	27.4	4.4	20.9	30.0	9.1	22.5	26.7	4.2	21.8	26.9	5.1	22.5	26.5	4.0	21.1	25.0	3.9
5	22.2	27.0	4.8	20.8	31.6	10.8	22.4	26.1	3.7	21.6	27.4	5.8	22.6	25.9	3.3	21.3	25.3	4.0
6	22.1	26.2	4.1	20.6	30.4	9.8	22.3	26.6	4.3	21.7	28.7	7.0	22.6	25.8	3.2	21.1	26.0	4.9
7	22.3	27.1	4.8	20.7	30.6	9.9	22.2	26.0	3.8	21.5	27.9	6.4	22.6	26.0	3.4	21.1	25.2	4.1
8	21.9	25.6	3.7	20.9	31.5	10.6	22.1	26.8	4.7	21.4	28.2	6.8	22.6	26.1	3.5	21.3	25.7	4.4
9	22.6	25.5	2.9	20.4	31.5	11.1	22.0	25.2	3.2	21.3	27.4	6.1	22.6	26.3	3.7	21.2	25.8	4.6
10	22.2	26.1	3.9	20.4	32.2	11.8	22.2	25.5	3.3	20.9	26.7	5.8	22.6	25.7	3.1	21.4	25.6	4.2
平均			4.4			10.1			4.0			5.9			3.5			4.4



B 同學在不同距離吹氣、呵氣前後溫度變化 (°C)

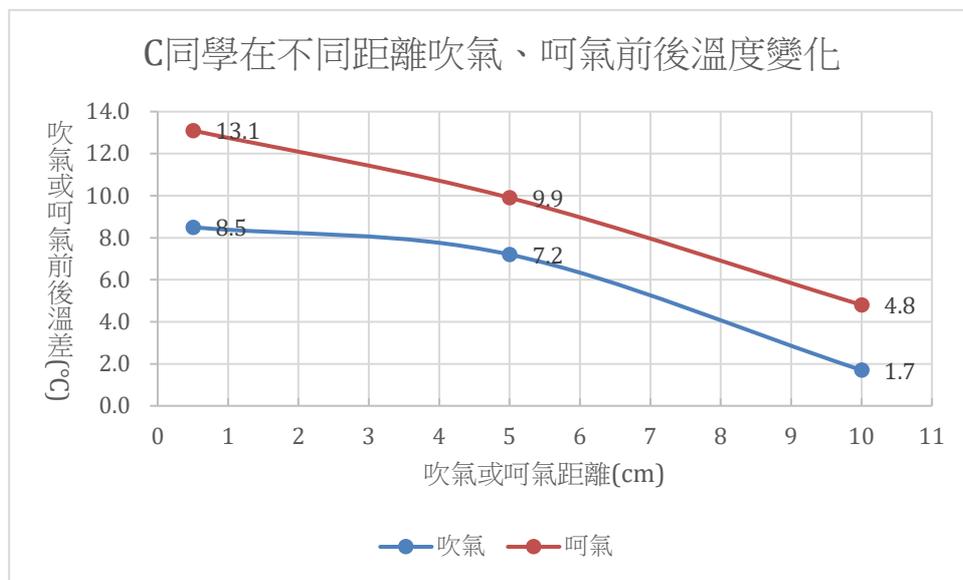
實驗 次數	0.5cm 吹氣			0.5cm 呵氣			5cm 吹氣			5cm 呵氣			10cm 吹氣			10cm 呵氣		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	20.9	25.0	4.1	21.2	29.7	8.5	22.1	29.6	7.5	20.8	25.1	4.3	22.5	25.5	3.0	22.4	27.0	4.6
2	21.6	29.6	8.0	21.1	30.9	9.8	22.0	27.0	5.0	20.6	27.2	6.6	22.6	25.4	2.8	22.5	26.1	3.6
3	22.2	28.8	6.6	20.1	30.0	9.9	22.2	26.0	3.8	20.1	29.7	9.6	22.5	25.1	2.6	22.4	26.3	3.9
4	21.9	29.0	7.1	20.4	30.5	10.1	22.4	26.9	4.5	19.9	27.0	7.1	22.5	25.2	2.7	22.6	26.6	4.0
5	22.7	29.2	6.5	20.0	31.3	11.3	21.7	26.0	4.3	19.9	26.6	6.7	22.5	25.4	2.9	22.4	26.3	3.9
6	22.1	28.9	6.8	20.3	30.6	10.3	21.6	27.7	6.1	20.0	28.5	8.5	22.5	25.3	2.8	22.5	27.5	5.0
7	21.6	29.9	8.3	20.1	31.0	10.9	21.5	29.6	8.1	19.9	27.0	7.1	22.6	25.8	3.2	23.0	28.0	5.0
8	20.7	29.6	8.9	20.1	31.1	11.0	21.2	25.9	4.7	20.5	27.2	6.7	22.6	25.9	3.3	22.5	27.0	4.5
9	21.6	28.5	6.9	19.7	29.4	9.7	21.3	26.7	5.4	20.9	26.0	5.1	22.5	25.6	3.1	22.5	27.1	4.6
10	21.0	26.9	5.9	19.7	29.0	9.3	21.2	25.7	4.5	20.9	26.5	5.6	22.6	25.3	2.7	22.5	27.2	4.7
平均			6.9			10.1			5.4			6.7			2.9			4.4

B同學在不同距離吹氣、呵氣前後溫度變化



C 同學在不同距離吹氣、呵氣前後溫度變化 (°C)

實驗 次數	0.5cm 吹氣			0.5cm 呵氣			5cm 吹氣			5cm 呵氣			10cm 吹氣			10cm 呵氣		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	21.6	31.5	9.9	20.8	33.7	12.9	20.7	27.6	6.9	21.9	31.0	9.1	23.8	25.4	1.6	23.0	27.6	4.6
2	21.5	30.1	8.6	20.2	30.1	9.9	20.7	27.5	6.8	20.9	29.3	8.4	23.3	24.8	1.5	23.6	28.3	4.7
3	21.4	30.5	9.1	20.2	33.4	13.2	20.9	28.5	7.6	21.0	32.3	11.3	23.4	24.6	1.2	23.7	28.7	5.0
4	21.4	29.8	8.4	20.1	34.0	13.9	21.0	28.5	7.5	20.9	31.1	10.2	23.4	25.4	2.0	23.9	28.5	4.6
5	21.2	28.9	7.7	20.1	33.5	13.4	21.4	28.3	6.9	20.9	31.2	10.3	23.4	24.9	1.5	23.6	28.3	4.7
6	21.4	29.8	8.4	20.2	34.0	13.8	21.3	27.9	6.6	21.0	30.0	9.0	23.2	24.6	1.4	23.1	28.3	5.2
7	21.4	29.4	8.0	19.9	32.5	12.6	21.4	29.4	8.0	21.0	29.9	8.9	23.2	24.6	1.4	23.1	28.3	5.2
8	21.6	29.9	8.3	20.0	33.6	13.6	21.7	28.3	6.6	20.8	30.8	10.0	23.1	24.9	1.8	23.1	27.4	4.3
9	21.4	29.9	8.5	19.9	33.9	14.0	21.6	29.3	7.7	20.8	32.0	11.2	23.2	25.6	2.4	23.2	28.1	4.9
10	21.4	29.8	8.4	20.0	33.8	13.8	21.5	28.8	7.3	20.9	31.2	10.3	23.2	25.1	1.9	23.1	27.8	4.7
平均			8.5			13.1			7.2			9.9			1.7			4.8



小結：人體實測，環境溫度約 21°C。無論是吹氣還是呵氣皆為升溫，且「呵氣前後溫差」皆大於「吹氣前後溫差」，表示呵氣的確較高溫。距離越遠，溫度差越少。

二、實驗二：測量「絕熱膨脹造成」的溫度變化（模擬裝置 A）（環境溫度約 21°C，距離 0.5cm，分別以細口與粗口測量模擬吹氣與呵氣前後溫差）：

由不同出氣口徑造成壓力差異，因絕熱膨脹造成的溫度變化（°C）						
實驗次數	細口（模擬吹氣） 距離 0.5cm			粗口（模擬呵氣） 距離 0.5cm		
	前	後	溫差	前	後	溫差
1	21.7	21.3	-0.4	21.7	21.7	0.0
2	21.6	21.2	-0.4	21.7	21.7	0.0
3	21.4	21.1	-0.3	21.7	21.7	0.0
4	21.6	21.1	-0.5	21.6	21.6	0.0
5	21.6	21.3	-0.3	21.6	21.5	-0.1
6	21.5	21.2	-0.3	21.4	21.5	0.1
7	21.5	21.2	-0.3	21.4	21.3	-0.1
8	21.5	21.2	-0.3	21.1	21.1	0.0
9	21.4	21.1	-0.3	21.2	21.2	0.0
10	21.3	21.1	-0.2	21.1	21.1	0.0
平均			-0.33			-0.01

小結：模擬裝置 A，環境溫度約 21°C。在極近距離下，粗、細口差異造成的絕熱膨脹變化皆為降溫，且細口的確前後降溫（溫差為-0.33°C）較多（表示絕熱膨脹會使吹氣較低溫），不過與粗口溫差（溫差為-0.01°C）差異極小（僅相差 0.32°C），所以可知絕熱膨脹的影響甚小。

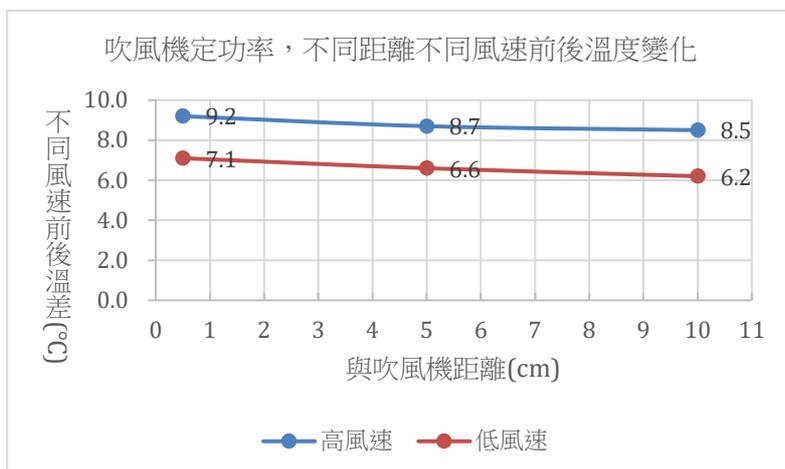
三、實驗三：測量「風速不同造成外界流入空氣混合效應」影響溫度變化：

(一) 實驗三-1：定性實驗，測量固定溫度下，高、低風速影響溫度變化：吹風機功率固定

(溫度固定)，調整風速高、低觀察溫度變化（環境溫度約 21℃，加熱狀態，於距離 0.5cm、5cm、10cm 處，觀察吹風前後溫差）：

測量「吹風機在固定功率但改變風速，於不同距離」造成的溫度變化 (°C)																		
實驗次數	0.5cm 高風速			0.5cm 低風速			5cm 高風速			5cm 低風速			10cm 高風速			10cm 低風速		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	21.5	30.8	9.3	21.3	28.4	7.1	21.5	30.3	8.8	21.3	28.0	6.7	21.2	29.4	8.2	21.4	27.3	5.9
2	21.6	30.6	9.0	21.4	28.3	6.9	21.6	30.0	8.4	21.1	28.1	7.0	21.2	30.8	9.6	21.5	27.6	6.1
3	21.3	30.5	9.2	21.4	28.1	6.7	21.3	30.1	8.8	21.3	28.2	6.9	21.4	29.7	8.3	21.5	27.3	5.8
4	21.9	31.3	9.4	21.4	28.4	7.0	21.4	29.9	8.5	21.5	27.8	6.3	21.4	29.8	8.4	21.3	27.6	6.3
5	21.7	30.9	9.2	21.4	28.4	7.0	21.2	29.8	8.6	21.2	27.6	6.4	21.3	30.1	8.8	21.3	27.4	6.1
6	21.4	31.0	9.6	21.4	28.4	7.0	21.3	30.3	9.0	21.4	27.7	6.3	21.3	29.6	8.3	21.4	27.6	6.2
7	21.7	30.8	9.1	21.2	28.8	7.6	21.6	30.3	8.7	21.4	27.8	6.4	21.2	29.6	8.4	21.5	27.7	6.2
8	21.3	31.0	9.7	21.8	28.7	6.9	21.3	30.2	8.9	21.4	27.9	6.5	21.2	29.6	8.4	21.3	27.7	6.4
9	21.3	30.2	8.9	21.5	28.4	6.9	21.2	29.9	8.7	21.2	27.8	6.6	21.1	29.7	8.6	21.5	27.6	6.1
10	21.6	30.6	9.0	21.5	28.9	7.4	21.4	29.8	8.4	21.4	28.0	6.6	21.4	29.7	8.3	21.3	28.1	6.8
平均			9.2			7.1			8.7			6.6			8.5			6.2

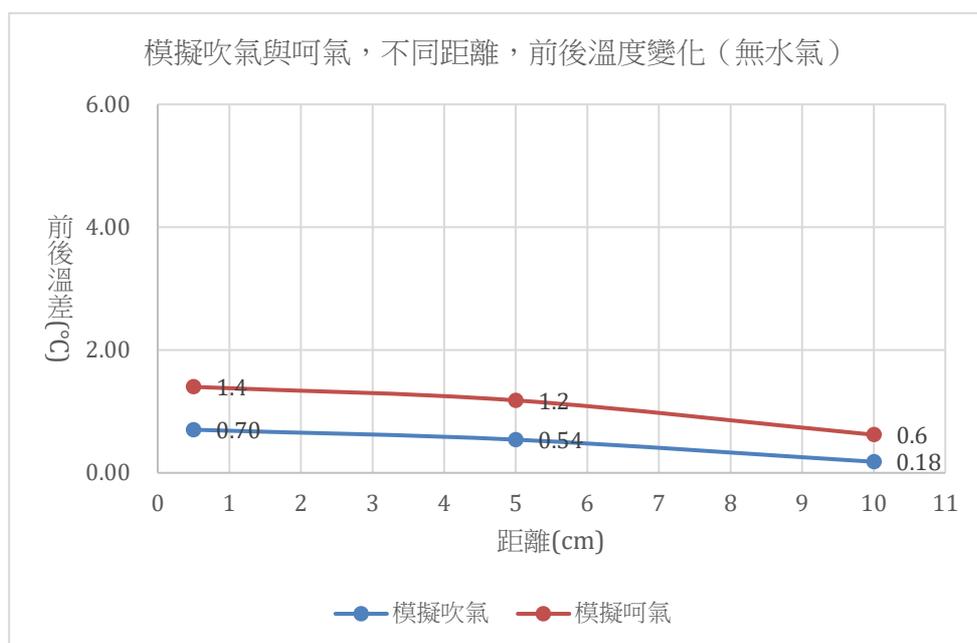
小結：吹風機，環境溫度約 21℃。在吹風機功率相同情況，距離 10cm 以內皆為高風速升溫較多（溫度較低風速高溫），並未如設想在高風速混入較多外界空氣造成大幅降溫。吹風機無論在高風速或是低風速，風速皆遠大於人體吹氣氣息，雖無法有效模擬，但仍可觀察變化趨勢作為參考。



(二) 實驗三-2：模擬裝置 B，模擬不同距離下，吹氣與呵氣捲入氣體造成的溫度差異

(環境溫度約 35°C，加熱狀態於距離 0.5cm、5cm、10cm，觀察前後溫差)：

測量「風速不同在不同距離下捲入氣體差異」造成的溫度變化 (°C)																		
實驗 次數	細口 (模擬吹氣) 0.5cm			粗口 (模擬呵氣) 0.5cm			細口 (模擬吹氣) 5cm			粗口 (模擬呵氣) 5cm			細口 (模擬吹氣) 10cm			粗口 (模擬呵氣) 10cm		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	35.3	36.1	0.8	35.4	36.7	1.3	35.8	36.2	0.4	35.9	36.9	1.0	35.2	35.4	0.2	35	35.6	0.6
2	35.9	36.6	0.7	34.8	36.3	1.5	35.9	36.5	0.6	35.4	36.6	1.2	35.2	35.3	0.1	35.1	35.6	0.5
3	35.9	36.7	0.8	35.4	36.7	1.3	35.9	36.5	0.6	35.4	36.6	1.2	35.4	35.6	0.2	35.3	35.8	0.5
4	36.1	36.7	0.6	35.4	36.9	1.5	35.5	36.0	0.5	35.4	36.8	1.4	35.6	35.8	0.2	34.8	35.5	0.7
5	35.6	36.2	0.6	35.3	36.7	1.4	35.7	36.3	0.6	35.1	36.2	1.1	35.6	35.8	0.2	34.8	35.6	0.8
平均			0.7			1.40			0.54			1.18			0.18			0.62



小結：模擬裝置 B，環境溫度約 35°C。在距離 0.5cm 為粗口 (模擬呵氣) 升溫幅度大於細口 (模擬吹氣) 0.7°C。距離 5cm 處、距離 10cm 處隨距離增加，升溫幅度減小，但仍為模擬呵氣前後溫差大於模擬吹氣。

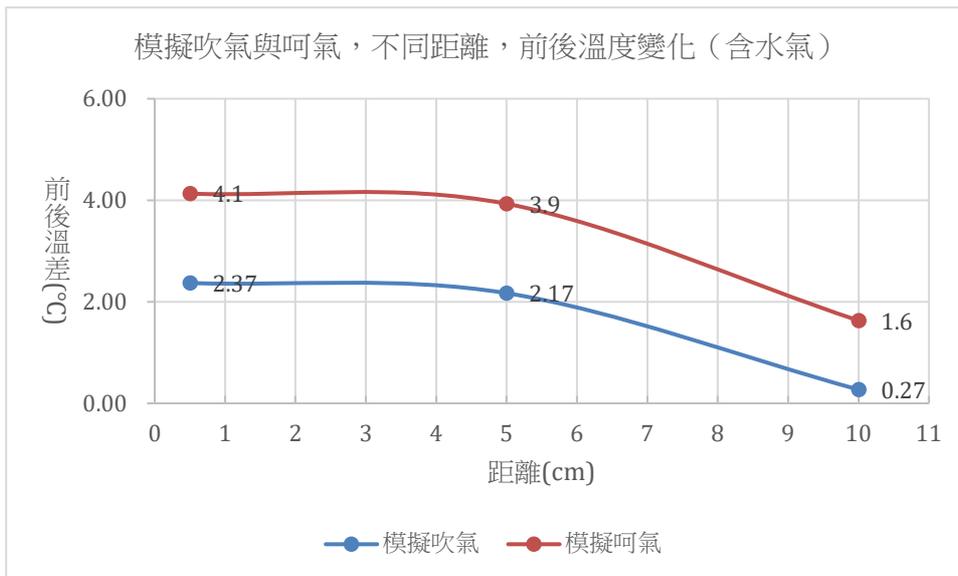
四、實驗四：測量「體內排出水氣效應」造成的溫度變化：

(一) 實驗四-1：模擬裝置 B，模擬不同距離下，吹氣與呵氣捲入氣體造成的溫度差異

(環境溫度約 34°C，加熱狀態於距離 0.5cm、5cm、10cm，觀察前後溫差)：

加入水氣條件，以粗口與細口造成前後溫差變化 (°C)
環境溫度 34°C

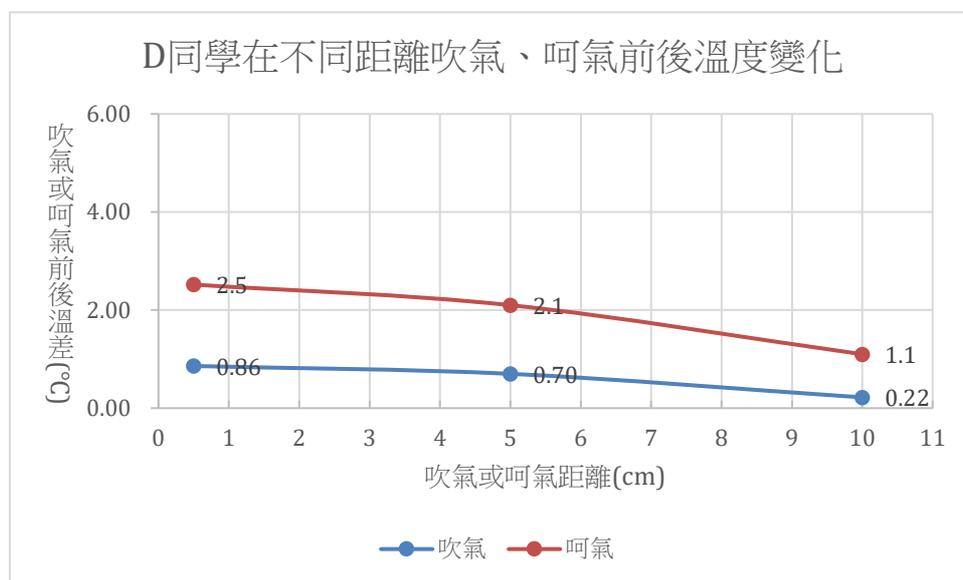
實驗 次數	細口 (模擬吹氣) 0.5cm			粗口 (模擬呵氣) 0.5cm			細口 (模擬吹氣) 5cm			粗口 (模擬呵氣) 5cm			細口 (模擬吹氣) 10cm			粗口 (模擬呵氣) 10cm		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
	1	34.2	36.5	2.3	34.9	38.8	3.9	34.1	36.2	2.1	33.9	37.7	3.8	33.8	34.1	0.3	33.6	35.7
2	34.0	37.0	3.0	33.6	37.7	4.1	34.1	36.3	2.2	34.2	38.0	3.8	35.2	35.4	0.2	34.7	36.3	1.6
3	33.6	35.4	1.8	33.4	37.8	4.4	33.7	35.9	2.2	34.4	38.6	4.2	37.2	37.5	0.3	36.4	37.6	1.2
平均			2.37			4.13			2.17			3.93			0.27			1.63



小結：模擬裝置 B，環境溫度約 34°C。距離 0.5cm、5cm、10cm 時，無論模擬吹氣或模擬呵氣皆為升溫，但不同於無水氣情況，模擬呵氣升溫大於模擬吹氣升溫。比較實驗三-2 與實驗四-1，可知水氣影響顯著。

(一) 實驗四-2：在相同環境下（環境溫度約 37°C）以人體實測與模擬裝置 B 結果做比較

D 同學在不同距離吹氣、呵氣前後溫度變化 (°C)																		
實驗 次數	0.5cm 吹氣			0.5cm 呵氣			5cm 吹氣			5cm 呵氣			10cm 吹氣			10cm 呵氣		
	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差	前	後	溫差
1	37.9	38.6	0.7	37.6	40.2	2.6	36.2	36.9	0.7	35.8	37.9	2.1	37.4	37.6	0.2	35.5	36.9	1.4
2	37.6	38.5	0.9	37.5	39.9	2.4	36.3	36.9	0.6	35.5	37.5	2	37.3	37.5	0.2	35.5	36.6	1.1
3	37.9	38.8	0.9	37.1	39.9	2.8	36	36.7	0.7	35.6	37.8	2.2	37	37.2	0.2	35.5	36.4	0.9
4	37.4	38.4	1	37.1	39.6	2.5	35.9	36.6	0.7	35.6	37.9	2.3	36.9	37.2	0.3	35.6	36.6	1
5	37.6	38.4	0.8	37.5	39.8	2.3	35.8	36.6	0.8	35.8	37.9	2.1	36.6	36.8	0.2	35.6	36.7	1.1
平均			0.86			2.52			0.70			2.10			0.22			1.10



陸、討論

- 一、由人體實測，在環境溫度約為 22°C 時，組內三位同學吹氣與呵氣，在距離 0.5cm 時，「實際吹氣前後溫差」至多平均升溫達 8.3°C，至少平均升溫 4.4°C。而在距離 0.5cm 處「實際呵氣前後溫差」至多平均升溫 12.8°C，至少平均升溫 10.1°C，「實際呵氣前後溫差」較「實際吹氣前後溫差」至多平均高 8.4°C，至少平均高 1.8°C。於距離 5cm 與 10cm 處同為「實際呵氣前後溫差」較「實際吹氣前後溫差」造成高溫情況。因此可見呵氣感受溫度較吹氣感受溫度高並非皮膚的錯覺，而是確有其事。
- 二、藉由實驗裝置比較「模擬吹氣前後溫差」與「模擬呵氣前後溫差」的狀態，因絕熱膨脹因素造成「模擬呵氣前後溫差」比「模擬吹氣前後的溫差」小，但差異僅為 0.32°C。（「模擬吹氣前後溫差」平均降溫 0.33°C；「模擬呵氣前後溫差」平均降溫 0.01°C），表示因絕熱膨脹因素的確造成呵氣溫度較高，但是並非造成實際人體實驗溫差巨大的主因。且人在剛吸飽氣至吐氣的瞬間，肺臟內與外界大氣壓力應相等，而吐氣時會影響口腔壓力的應為嘴形。但是每次吐氣作用時間極短（約 1~2 秒鐘），所以就算在口腔內因短暫加壓造成增溫，但短時間內理應尚未將熱大量傳遞給口腔，又隨之呼出減壓降溫，應非常合理。
- 三、探討因白努利原理造成周圍空氣捲入，的確在高風速情形下捲入氣體量，會較低風速情形下多，所以高風速情況的混合氣體溫度上應較低溫。但是仔細推究混合後氣體溫度，應介在人體呼出氣體溫度與環境氣溫間，而人體內吐出氣體應高於皮膚表面溫度，所以不論是吹氣或呵氣，感受上都應該溫暖，而不會呈現吹氣時較涼快的情況。而且根據實驗一的人體實測，吹氣時氣體溫度的確低於體表（手部溫度約 30°C）溫度，表示也不只是風寒效應造成感受錯覺。
- 四、利用吹風機探究溫度與風速之間的定性關係。設想當空氣流動時，因為白努利原

理，會使周圍低溫空氣因高速流體壓力較小而流入較多，造成溫度較低。若是只觀察風速高或是風速低時的情況，距離越遠則溫度越低，且距離越遠降溫幅度越小，符合預想中周圍環境低溫空氣流入造成降溫的情況。但若比較高、低風速在相同距離下（本次實驗設定距離 0.5cm、5cm、10cm），皆為風速快者溫度高，推測可能是風速快，較能將熱空氣推送至較遠處，且在 10cm 以內，周圍低溫空氣尚無法流入太多所致。

五、當實驗裝置加熱後，「模擬吹氣前後溫差」與「模擬呵氣前後溫差」比較，無論在 0.5cm、5cm、10cm 處，皆為「模擬呵氣前後溫差」大於「模擬吹氣前後溫差」，但兩者溫度差隨距離增加而減少。實驗模擬裝置與吹風機表現不同，應為實驗裝置模擬吹氣風速較吹風機弱，所以無法將熱空氣集中推送較遠。不過無論風速高低，推送空氣在 10cm 以內距離造成的溫度差異，只有 0.7°C（「模擬吹氣前後溫差」為 0.7°C，擬呵氣前後溫差」為 1.4°C）

六、實驗最初設想經由霧化器製造極細水霧，使得水霧快速蒸發，讓風扇周邊空氣可達接近人體排出空氣實際水氣量，但是因為實驗環境氣溫只有 19°C，就算達到飽和（16.28 g/m³）也無法與人體排出空氣實際水氣量（接近 37°C 飽和狀態）相當。再者使用此法水氣供應量並不穩定。因此改良為模擬裝置 B，利用水浴穩定裝置溫度，進而使其中水氣供應可達穩定。

七、經由模擬富含水氣實驗，模擬呵氣造成的溫度上升幅度明顯較模擬吹氣顯著。吹氣與呵氣風速不同造成水氣蒸發速度不同（例如對玻璃吹氣與對玻璃呵氣，玻璃上的霧氣表現為呵氣較明顯且持久），以致帶走的熱量不同。推測因呵氣氣體較為分散，單位時間接觸到物體面積較大，因此會有較多水氣凝結放熱，再加上呵氣風速較低，所以造成蒸發作用在單位時間內較弱，帶走的熱較吹氣（高風速）少。考量到由水氣量造成的吹氣與呵氣溫度變化差值幅度遠大於其他實驗因素影響（在模擬裝置中可相差 1.7°C，在扣除水氣因素下，其他因素至多造成 0.7°C），表示富含

水氣空氣，在風速差異情況下造成降溫應為吹氣與呵氣溫差的主要原因。

八、富含水氣模擬裝置與相近高溫環境下的人體實測（實驗四-2）比較，在 0.5cm、5cm 與 10cm 處，模擬吹氣與模擬呵氣溫差與實際情況非常類似，表示本模擬具有一定的參考性。

柒、結論

- 一、經由測量，實際呵氣溫度的確高於實際吹氣溫度（呵氣造成升溫的前後溫差，大於吹氣造成升溫的前後溫差）。
- 二、絕熱膨脹因素在吹氣與呵氣的模擬實驗中，造成的降溫差距極小，「模擬吹氣」較「模擬呵氣」僅低 0.32°C 。
- 三、白努利原理說明流體流速不同，造成壓力不同，因此周圍低溫空氣混入狀況會更明顯。在實驗範圍內，觀察模擬呵氣造成升溫的前後溫差，皆略大於模擬吹氣造成升溫的前後溫差，應是流速差造成周圍較低溫空氣流入所致。
- 四、富含水氣的情況下，模擬呵氣造成的溫度上升幅度明顯較模擬吹氣顯著。考量到由水氣量造成的吹氣與呵氣溫度變化差值幅度遠大於其他實驗因素影響（在模擬裝置中可相差 1.7°C ，在扣除水氣因素下，其他因素至多造成 0.7°C ），表示富含水氣空氣，在風速差異情況下造成降溫應為吹氣與呵氣溫差的主要原因。

捌、參考資料及其他

一、書本資料

1. 觀念物理第 III 冊.天下文化
2. 小倉義光.(2001).普通氣象學.國立編譯館
3. David Halliday.普通物理第八版.

二、網路資源

1. 跟著鄭大師玩科學-絕熱膨脹
<https://www.masters.tw/397/%E7%B5%95%E7%86%B1%E8%86%A8%E8%84%B9>
2. 陳子熙. 呼冷哈熱－探討造成呼氣與哈氣溫度差的原因
<https://nehs-encore.github.io/phy/phy1.html>
3. 百科知識－絕熱膨脹
<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E7%B5%95%E7%86%B1%E8%86%A8%E8%84%B9>
4. 白努利原理
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1524>

三、參考論文

1. 2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯 吹氣致冷現象的機制探討
2. Christopher G Lausted, Arthur T Johnson, William H Scott, Monique M Johnson, Karen M Coyne, and Derya C Coursey. (2006). Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes. Biomed Eng Online.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1501025/>

【評語】 051807

本實驗作品探討人體呵氣與吹氣到手掌時所造成溫度差異的機制，實驗特別設計模擬人體肺臟吸氣、吹氣以及呵氣的過程，並模擬有飽和水蒸氣的情形，結果認定呵氣與吹氣所造成溫度差異的機制主要是水蒸氣的影響。探討人體呵氣與吹氣到手掌時所造成溫度差異機制之實驗，已進行多年，每年都認為發現真正的原因，這一次是做得比較完整，特別是在控制變因上，比較完整，可以說明水蒸氣的影響是主因，然而在排除外界混合引入空氣之效應的控制變因上，並沒有排除是混合引入空氣與水蒸氣影響兩者一起造成的可能。本作品詳細認真探討一個現象，堪稱佳作。

作品簡報

天涼了，呵口暖氣在掌心

探討吹氣、呵氣造成溫度差異的因素

前言

探討吹氣與呵氣溫差可能因素

絕熱膨脹：國中課本、天下文化出版的科學系列叢書「觀念物理」、DAVID HALLIDAY 等所著的普通物理

白努利原理：「跟著鄭大師玩科學」中的鄭永銘老師、2020 國際科展作品「吹氣致冷現象的機制探討」

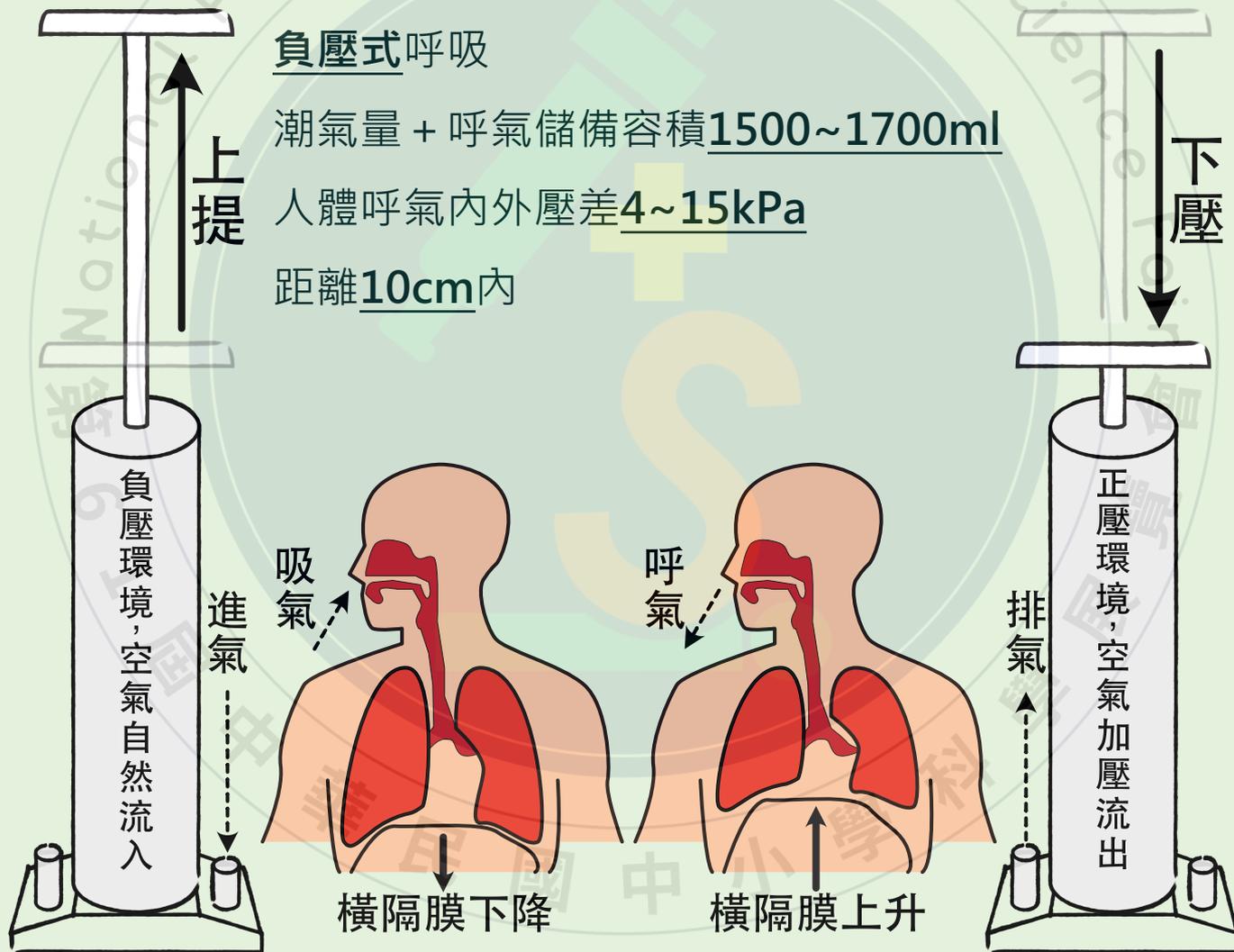
水氣因素：目前無明確研究確認→**本實驗確認**

實驗目的

1. 探討吹氣、呵氣造成溫度差異的因素。
2. 分析並推測各因素可能造成的溫度變化：
 - a. 絕熱膨脹降溫
 - b. 白努利原理造成周圍氣體捲入
 - c. 水氣冷凝與風速差異造成的蒸發影響

研究方法

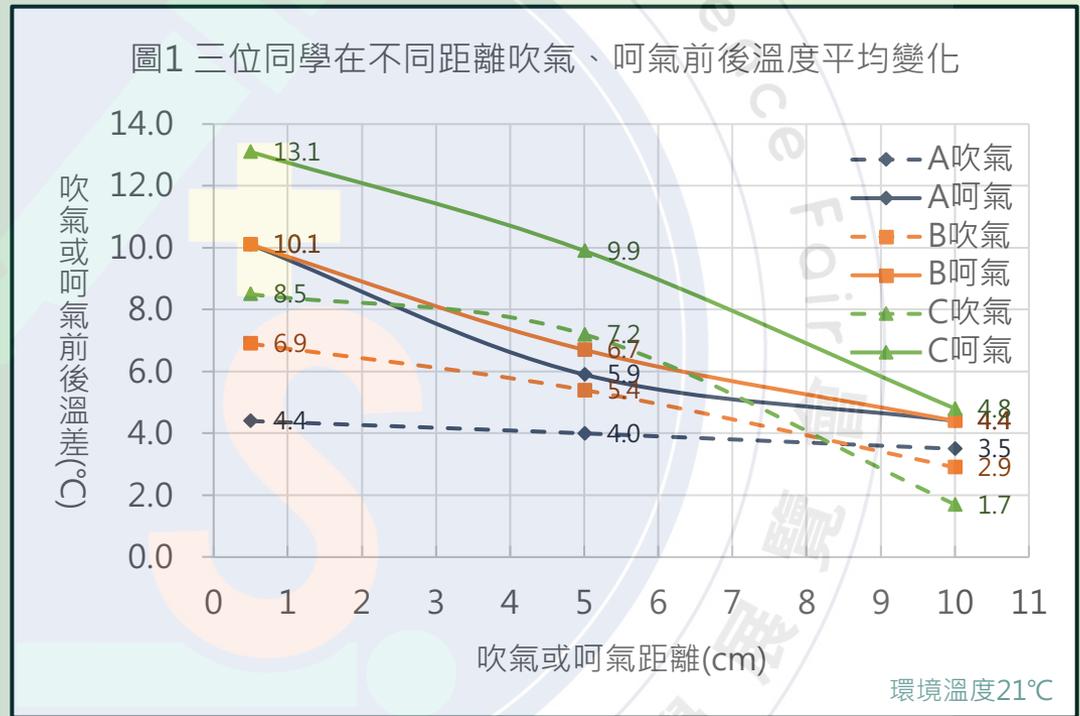
人體呼吸原理與實驗規格設定



研究方法與結果

實驗一：確定實際吹氣與呵氣間的確存在溫度差異

1. 調整彼此吹氣或呵氣的風速。
2. 距離 0.5cm、5cm、10cm 三處進行連續吹氣及呵氣。
3. 穩定呼吸連續20次，取後10次為實驗數據。



吹氣還是呵氣皆為升溫。

「呵氣前後溫差」 > 「吹氣前後溫差」
呵氣的確較吹氣高溫。

研究方法與結果

實驗二：測量「絕熱膨脹造成」的溫度變化

1. 建立符合實驗規格裝置 (模擬裝置A)
2. 黑鋁箔置於出氣口0.5cm處。
3. 粗口及細口情況下，施測10次，觀察前後溫差變化。

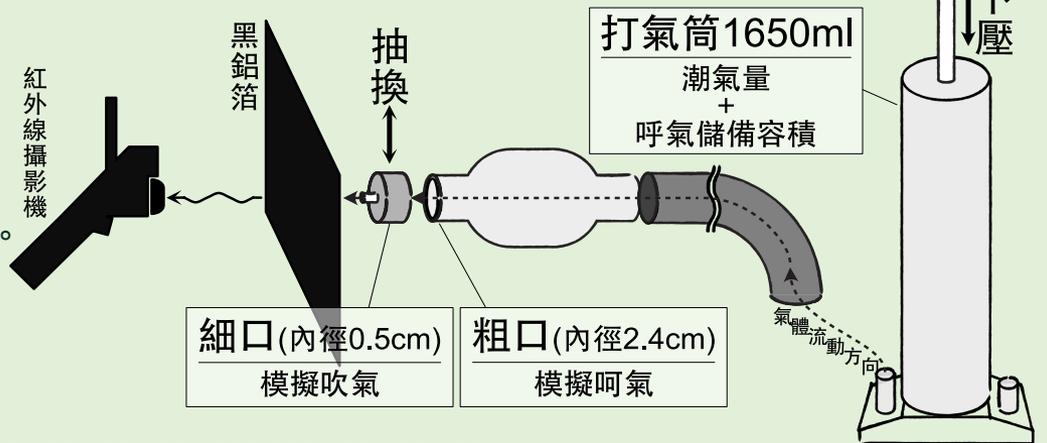


表1-1 細口 (模擬吹氣 $^{\circ}\text{C}$)
距離0.5cm

前 10次平均	後 10次平均	平均 溫差
21.51	21.18	-0.33

表1-2 粗口 (模擬呵氣 $^{\circ}\text{C}$)
距離0.5cm

前 10次平均	後 10次平均	平均 溫差
21.45	21.44	-0.01

在極近距離下，粗、細口差異的絕熱膨脹變化皆為降溫，且細口的確前後降溫較多，表示絕熱膨脹會使吹氣較低溫，不過與粗口溫差差異極小，所以可知絕熱膨脹的影響甚小。



研究方法與結果

實驗三：測量「風速不同造成外界流入空氣混合效應」影響溫度變化



1. 建立模擬人體環境模型（模擬裝置B）
2. 黑鋁箔置於出氣口0.5cm、5cm、10cm處。
3. 將模擬裝置以粗口及細口情況下，施測5次，觀察前後溫差變化。

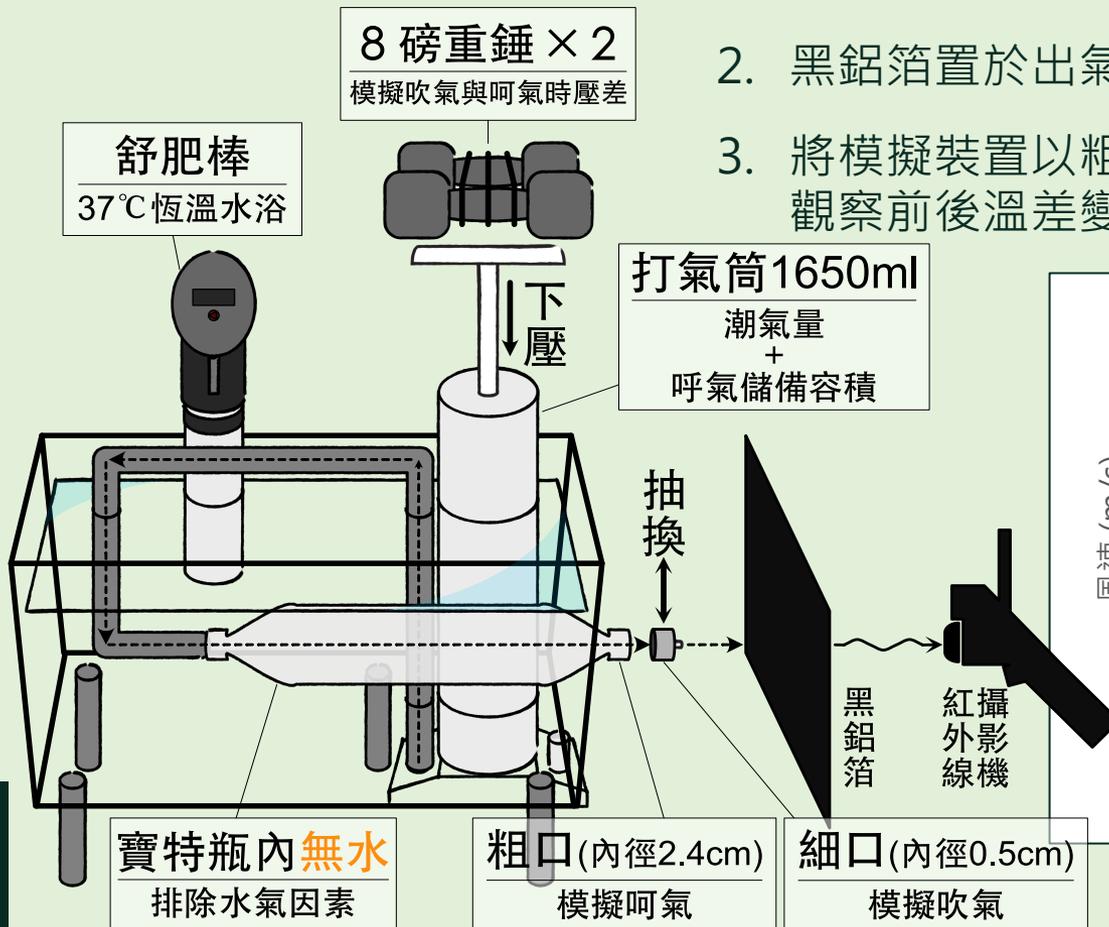
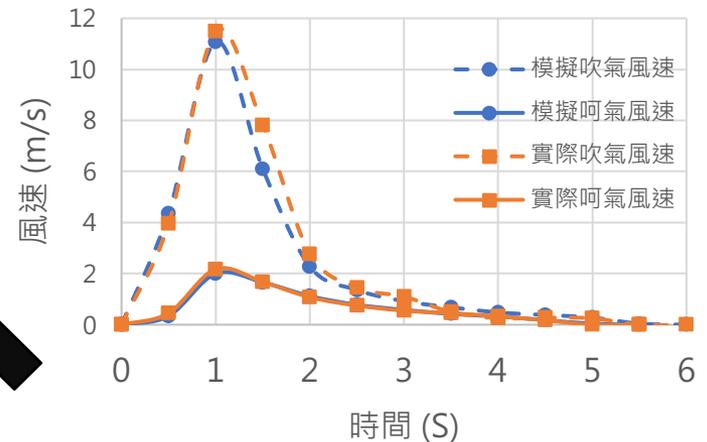


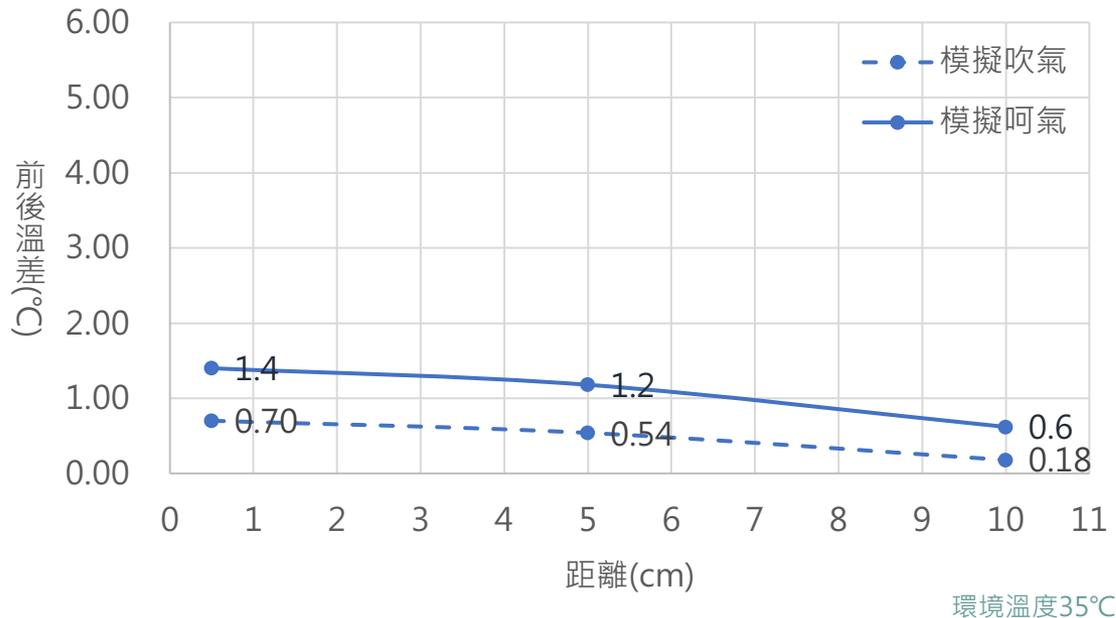
圖2 模擬裝置B與實際吹氣、呵氣風速比較



研究方法與結果

實驗三：測量「風速不同造成外界流入空氣混合效應」影響溫度變化

圖3 模擬吹氣與呵氣，不同距離下前後溫度變化（水氣未飽和）

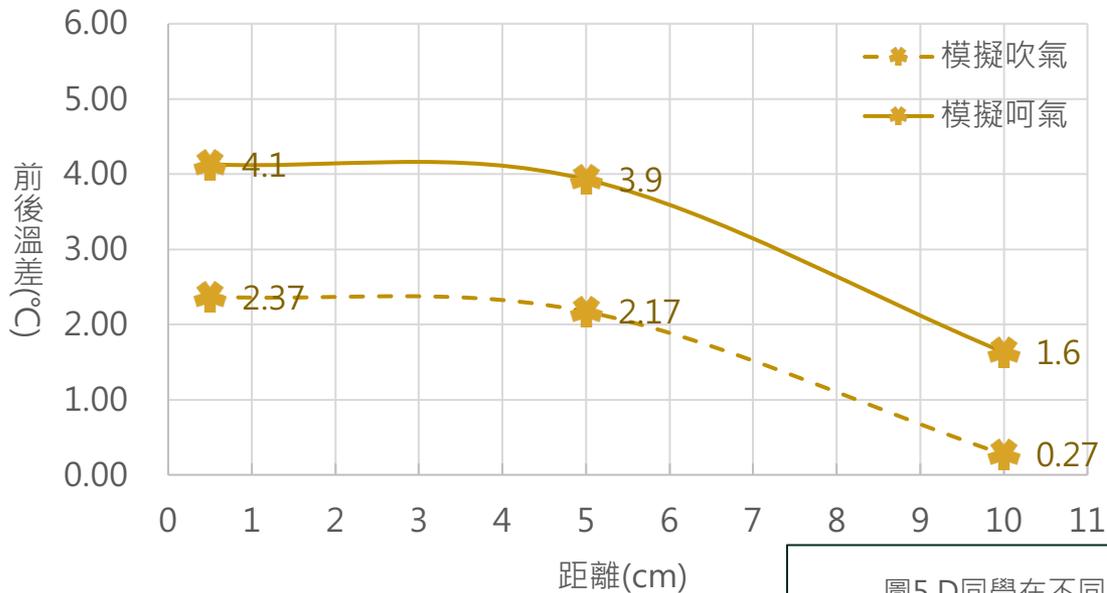


環境溫度約35°C。
距離 0.5cm時，粗口(模擬呵氣)升溫幅度大於細口(模擬吹氣)0.7°C。

隨距離增加，升溫幅度漸縮，但仍為模擬呵氣前後溫差大於模擬吹氣。

研究方法與結果

圖4 模擬吹氣與呵氣，不同距離下前後溫度變化（水氣飽和）

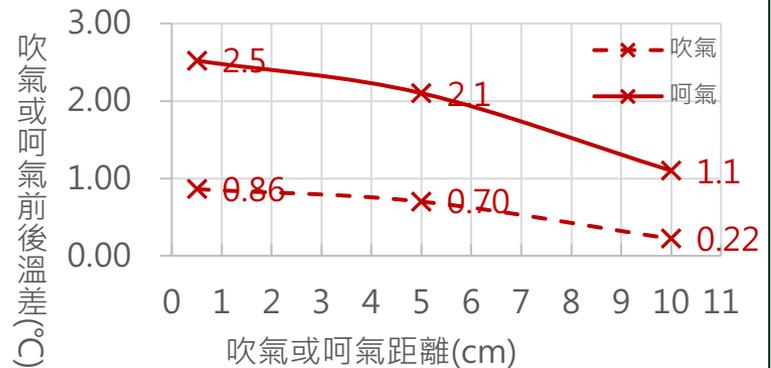


環境溫度34°C

模擬吹氣與模擬呵氣溫差與人體實際情況非常類似，表示本實驗模擬裝置具有參考性。

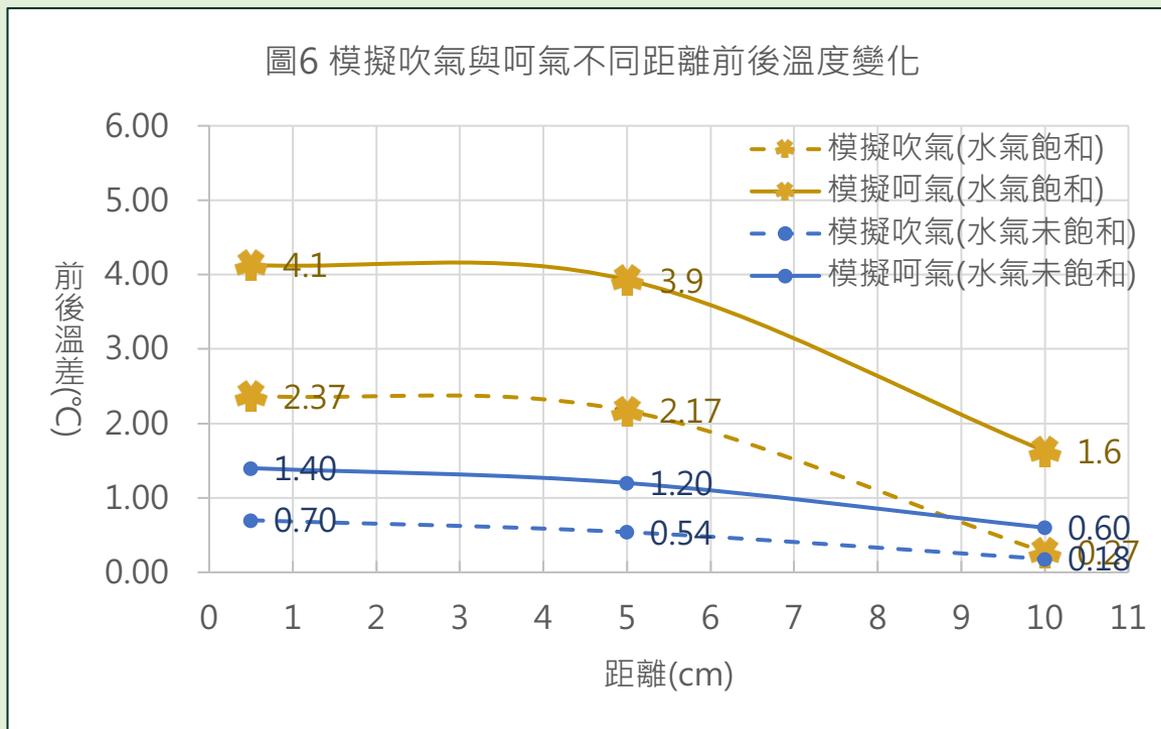
環境溫度約34°C。
無論模擬吹氣或模擬呵氣皆為升溫。
與實驗三共同討論。

圖5 D同學在不同距離吹氣、呵氣前後溫度變化



研究方法與結果

「實驗三」水氣未飽和狀況，與「實驗四」水氣飽和狀況比較

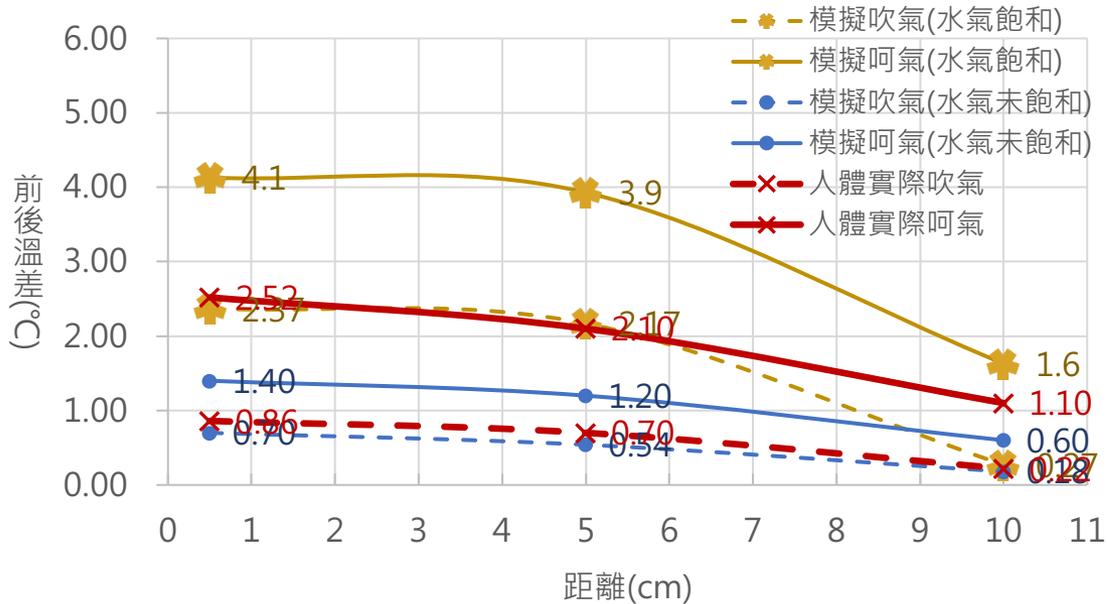


在類似環境下，模擬呵氣與模擬吹氣在水氣飽和情況，不僅溫度較未飽和狀況大幅拉高，彼此間溫差也相差更巨。

比較實驗三與實驗四，可知水氣影響顯著。

研究方法與結果

圖7 模擬吹氣與呵氣(水氣飽和、未飽和)與人體狀況比較



環境溫度高溫狀態下，人體排出氣體水氣含量高，但並未達飽和，所以人體實際吹氣與呵氣前後溫差表現，介於本研究實驗三與實驗四結果間，應屬合理。

結論

1. 實際呵氣溫度的確高於實際吹氣溫度，非感受錯覺。
2. 絕熱膨脹因素與白努利原理在本研究中的確會造成吹氣與呵氣溫差變化，但並非造成溫差效果的主因。

3. 本研究建立可信模擬人體吹氣與呵氣模型。富含水氣時，無論是模擬吹氣與模擬呵氣溫度皆大幅提升，且模擬呵氣造成的溫度上升幅度明顯較模擬吹氣顯著。
4. 考量到由水氣量造成的吹氣與呵氣溫度變化差值幅度遠大於其他實驗因素影響，在模擬裝置中可相差 1.7°C 。扣除水氣因素下，其他因素至多造成 0.7°C ，表示人體排出富含水氣的空氣，應為吹氣與呵氣溫差的主要原因。

參考資料

書本資料

1. 觀念物理第III冊.天下文化
2. 小倉義光.(2001).普通氣象學.國立編譯館
3. David Halliday.普通物理第八版.

網路資源

1. 跟著鄭大師玩科學-絕熱膨脹
<https://www.masters.tw/397/%E7%B5%95%E7%86%B1%E8%86%A8%E8%84%B9>
2. 陳子熙. 呼冷哈熱 - 探討造成呼氣與哈氣溫度差的原因
<https://nehs-encore.github.io/phy/phy1.html>

參考論文

1. 2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯 吹氣致冷現象的機制探討
2. Christopher G Lausted, Arthur T Johnson, William H Scott, Monique M Johnson, Karen M Coyne, and Derya C Coursey. (2006). Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes. Biomed Eng Online.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1501025/>