

2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160040
參展科別 物理與天文學
作品名稱 吹氣致冷現象的機制探討
得獎獎項 大會獎：三等獎

就讀學校 國立臺南第一高級中學
指導教師 劉演文
作者姓名 史奇樂、吳欣俞、霍民邦

關鍵詞 絕熱膨脹、蒸發降溫、氣流引入

作者簡介



大家好，我們是史奇樂、吳欣俞、霍民邦。來自臺南一中 219，自國中開始便已培養出對做實驗的熱愛，高中時因對物理感興趣便聚成一組，恰巧被地科課本的問題吸引而決定對此主題研究。經過數個月的研究與實驗，有幸有些許發現，並慶幸這樣一個的嘗試竟讓我們可以一窺科展的最高殿堂，希望在這裡可以結識更多同樣愛研究的同好，請多多指教！！

摘要

人們在日常生活中總會察覺，當以嘴巴對著皮膚快速吹氣時，皮膚表面會覺涼涼的；但若是張口緩緩哈氣，則皮膚表面卻會感覺溫熱。為了量化這個現象的成因，作者先以口腔實際吹氣來進行初步的測量與研究，接著以自製器材模擬口腔吹氣的情況來操作實驗。我們探討了吹氣時不同的出口風速、不同的口腔氣溫及環境溫度的條件之下，目標物表面的溫度變化。這個現象會涉及氣體的膨脹降溫，以及氣流抵達目標物之前與環境中空氣的混合效應；最後還測量了吹氣時目標物上含水量減少的蒸發降溫幅度。本實驗提供了大量的實驗數據，明確且定量的證明了上述吹氣致冷的主要成因就是「氣流引入」效應，當口腔與手心相距 10 公分快速吹氣時，抵達手心的氣體中約有 95% 是環境中原本的空氣，所以皮膚才會感覺冰涼，而「絕熱膨脹」及「蒸發降溫」的影響則都比預期中小了很多。

Abstract

This study was inspired by the daily phenomenon that people feel cool with airflow being breathed out swiftly whereas people feel warm with airflow being exhaled slowly. Firstly, we took preliminary measurement of the gas blown out from the human body. Then we measured the "adiabatic expansion" involved in the thermodynamics of the gas output, and the "airflow introduction" while the receptor placed at different distances during the transfer by using the self-made equipment in simulated experiments to measured the temperature of the receptor within different independent variables such as diameter of caliber openings, initial temperature of the chamber of the self-made equipment with variable voltage and the temperature of the environment . Finally, to investigate the influence of "cooling by evaporation", we measured the mass change of the water on the receptor and found out the influence on the temperature change of the receptor. The results of this experiment with a large amount of data that the air reached the receptor in 10 centimeter in distance consisted with 95% of environmental air prove that "airflow introduction" is sure the main cause of temperature fluctuation in the real environment, while both "adiabatic expansion" and "cooling by evaporation" have little impact on the rise of temperature.

一、前言

(一) 研究動機

在冷風艘艘的冬天裡，我們常會雙手互搓並對著掌心哈氣取暖；而被高溫物品燙傷時，我們又會對著受傷部位吹氣來減緩疼痛。在這兩種情況中，同樣是經由口腔內吐出的溫熱氣體，然而接觸到皮膚時人體所感受到的冷熱效應卻不相同，究竟是甚麼因素導致了這種差異呢？

2009 年臺北縣的教師聯合甄選中有個題目是『試解釋為何張口哈氣時，哈出的氣體溫度較高，而噉口吹氣時，吹出的氣體溫度較低』，而其參考答案為『張口哈氣時，口腔內的氣壓與外界大致相同，因此哈出的氣體約與體內溫度相同，因此會覺得熱熱的。噉口吹氣時，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』。2013 年某電視臺的科學節目也曾經以相同的解釋來說明這種現象，參見下圖 1-1。

上述的說明應該是認為哈氣和吹氣造成的溫度差異主要是由熱力學第一定律下的絕熱膨脹效應來主導。但是作者認為絕熱膨脹的條件其實是很嚴格的，人們以口腔對著皮膚表面吹氣時，或許有更多的變因必需被同時考慮。在經過初步的資料收集後，作者發現至少有三個因素可能會造成皮膚表面的溫度變化：1. 氣體本身的膨脹降溫，2. 吹出的氣流在抵達皮膚之前與環境中空氣的混合效應，我們稱此為「氣流引入」，3. 氣流吹過皮膚表面時水分蒸發的降溫效果。

然而我們所找到的資料對於這些效應的說明都只有定性的討論，因此我們決定設計實驗，對上述三種作用的影響分別進行測量，讓「吹氣致冷」的現象能夠以明確的科學數據被量化的呈現出來。同時也要釐清其中何者為最重要的主導因素。



圖 1-1 (取自中視新聞影片)

(二) 研究目的

1. 觀察吹氣致冷的現象並探討其可能成因。
2. 研究絕熱膨脹對吹氣致冷現象的影響。
3. 研究氣流引入對吹氣致冷現象的影響。
4. 研究蒸發降溫對吹氣致冷現象的影響。

二、 研究方法或過程

(一) 研究架構

本研究首先進行初步的真人實驗後，接著收集相關文獻探討和理論，列出三個可能造成吹氣致冷現象的主要原因，分別為「絕熱膨脹」、「蒸發降溫」和「氣流引入」，再進一步設計實驗以研究各個效應對於此現象的影響，研究架構如圖 2-1。

利用自製器材模擬口腔氣室與皮膚的受風面，使實驗能夠進行定量的測量。由於吹氣和哈氣的主要差異與出氣孔徑的大小有關，故先比較不同孔徑下的出口風速，再進一步測量不同出口風速時受風面所出現的溫度變化，以釐清各種變因對吹氣致冷的影響。

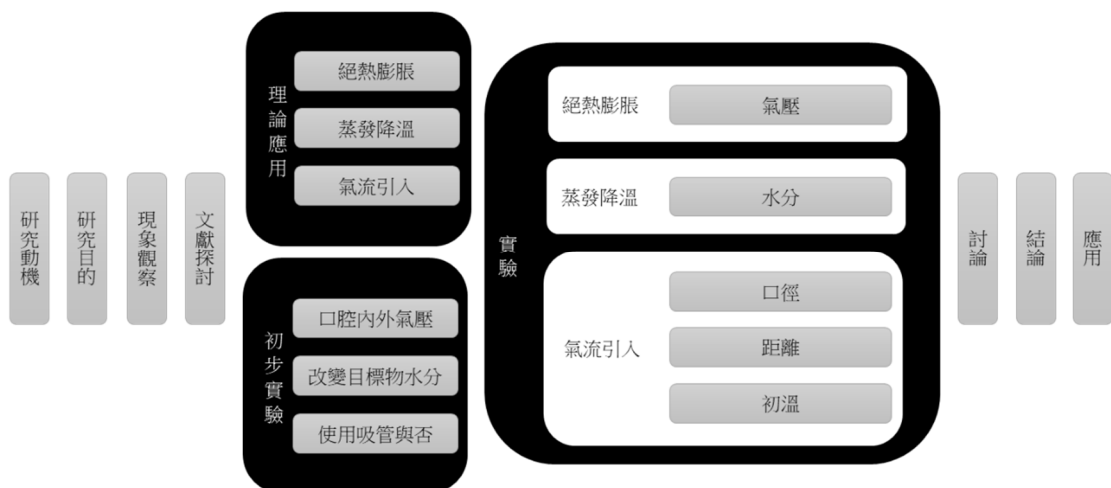


圖 2-1：研究架構

(二) 理論探討

1. 絕熱膨脹

(1) 熱力學第一定律：系統的內能變化等於外界供熱及對系統作功的總和。

$$dE = dQ + dW$$

(2) 絕熱膨脹：

I 絕熱過程中系統與環境沒有熱能交換，故 $nC_v dT = 0 - PdV \dots \textcircled{1}$

II 對理想氣體物態方程式 $PV = nRT$ 作微分，得 $PdV + VdP = nRdT \dots \textcircled{2}$

將上兩式中之 ndT 消去，得： $PdV + VdP = -\frac{R}{C_v} PdV$ ，

代入 $R = C_p - C_v$ 且除以 PV ，又絕熱指數 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ，可得

$$\frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = -\left(\frac{C_p - C_v}{C_v}\right) \frac{dV}{V} = (1 - \gamma) \frac{dV}{V} \rightarrow \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

III 上式積分後得 $\ln P + \gamma \ln V = \text{定值}$ ，或可寫成 $PV^\gamma = \text{定值} \dots \textcircled{3}$

同理，亦可導出： $TV^{\gamma-1} = \text{定值} \dots \textcircled{4}$

IV 由③、④消去 V ，可得 $TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{常數} \rightarrow T \propto P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \dots \textcircled{5}$

(3) 因空氣主要由雙原子氣體組成， $\gamma \approx \frac{7}{5}$ ，故絕對溫度 $T \propto P^{\frac{2}{7}} \approx P^{0.2857} \dots \textcircled{6}$ 。

(4) 由⑥式可知測量口腔內外氣壓可計算出僅考慮絕熱膨脹效應下的溫度變化。

2. 氣流引入

由於氣體在快速流動時靜壓較小，因此會引入環境中的空氣，又因為空氣的莫耳比熱相同，故藉由能量與溫度變化量的公式 $Q = \Sigma mc\Delta T$ ，再比較實驗前後氣體的溫度變化，即得可知吹氣的氣流引入環境中溫度不同的空氣比例。

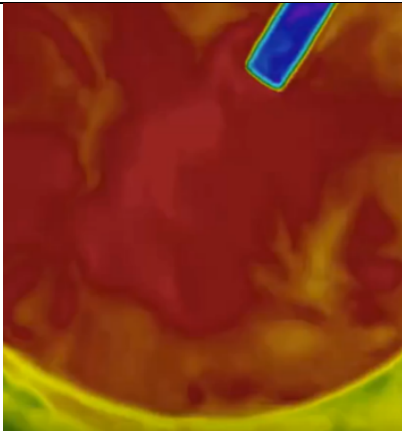
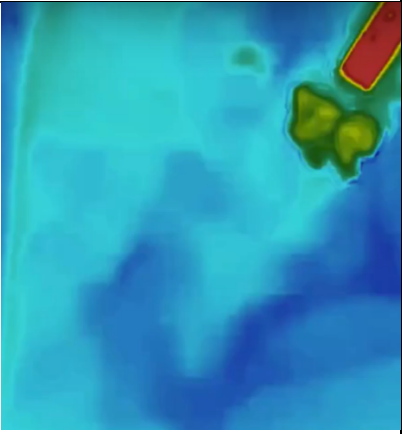
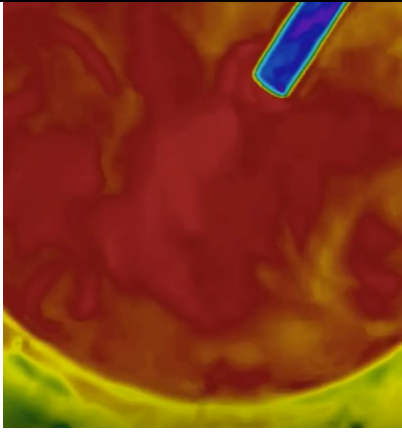
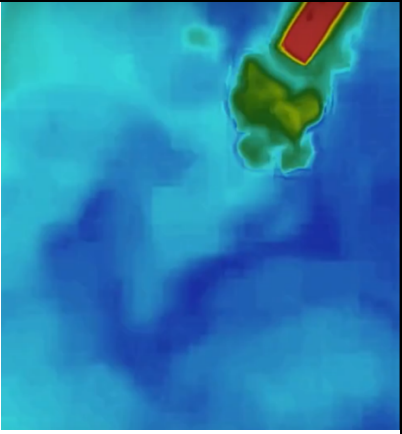
3. 蒸發降溫

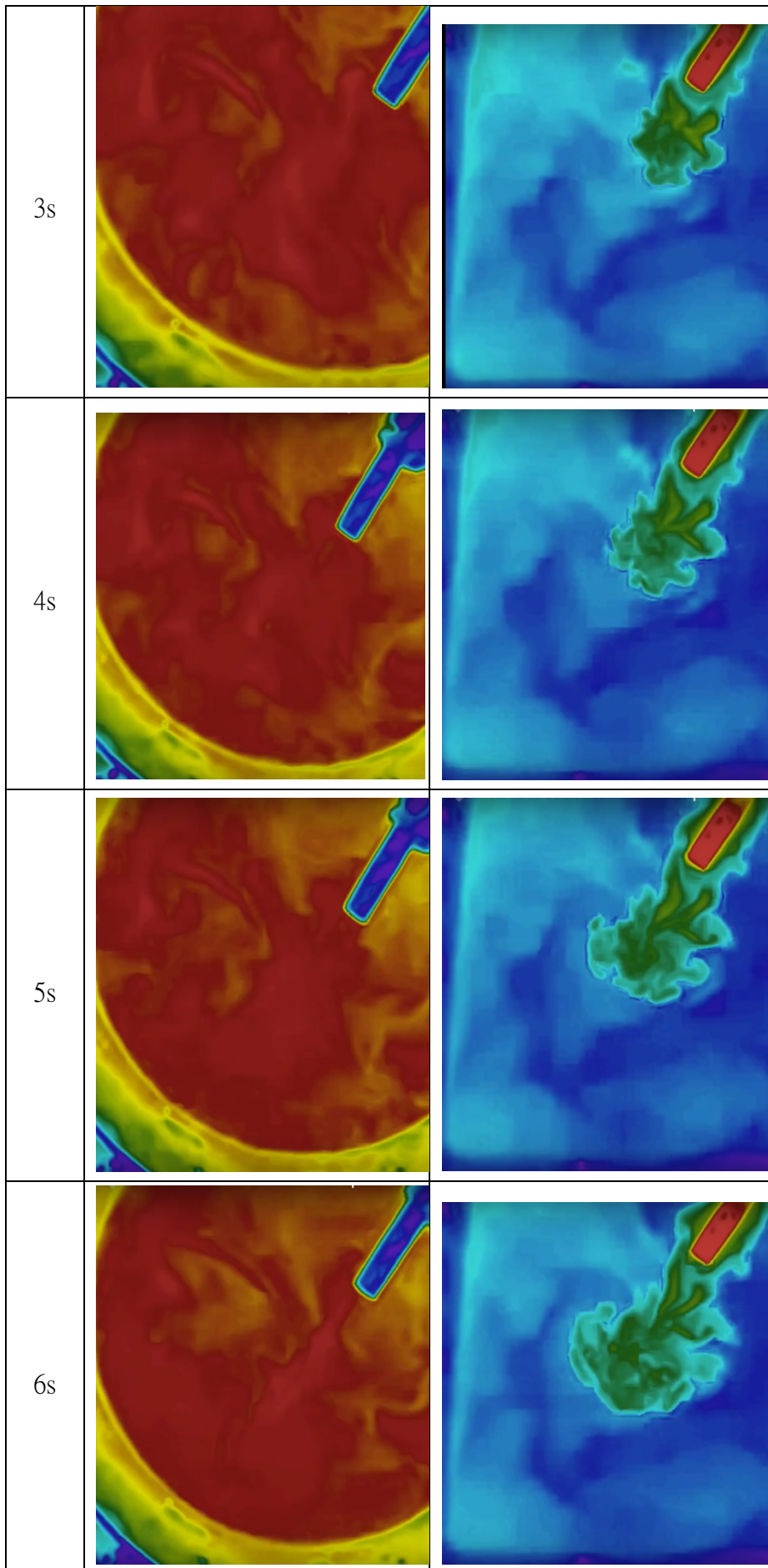
(1) 物質發生相變時，所需要的能量 Q 為此物體的質量 m 乘以潛熱 L ， $Q = mL$ 。

(2) 一大氣壓下水的汽化熱為 2.266kJ/g ，藉由比較實驗前後，目標物液態水的含量變化，即可得知僅考慮蒸發降溫效應下的氣溫變化。

(三) 流體現象觀察

1. 為了觀察氣流引入效應，我們曾嘗試以紅外線熱顯像儀(FLIR ONE)來拍攝口腔吹氣及實驗時厚紙筒推出氣體時的氣流狀況，可惜因空氣的能量密度不足以顯示出明確的氣流混合影像。
2. 因此我們改以利用兩種不同直徑的針筒分別將熱水注入冷水和冷水注入熱水中，模擬在冬天和夏天時吹氣與哈氣的氣流變動情形。並利用 FLIR ONE 紅外線熱顯像儀觀察，使現象視覺化，可以發現：
 - (1) 不同口徑造成的液體流動情形差異不明顯。
 - (2) 熱水注入冷水中的現象較冷水注入熱水中明顯。
 - (3) 射出的液體溫度會介於針筒內的溫度與外界液體的溫度之間。
 - (4) 射出的液體會帶動旁邊液體流動，兩液體間逐漸融合，距離針筒出口處越遠，融合效應越明顯，導致溫度逐漸與外界液體溫度相近。
 - (5) 液體距離出口處越遠，流動的散佈面積越大。

時間	冷水注入熱水	熱水注入冷水
1s		
2s		



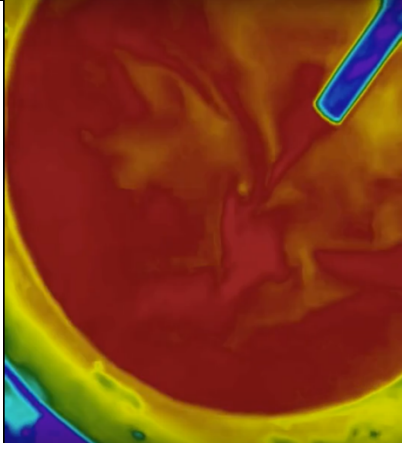
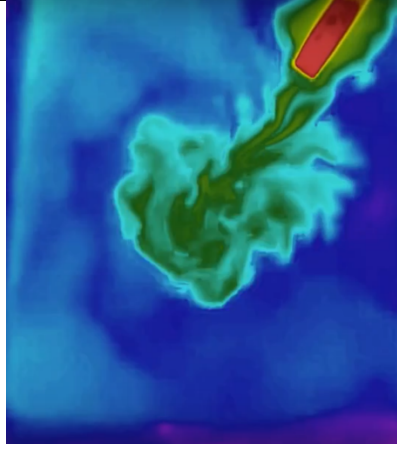
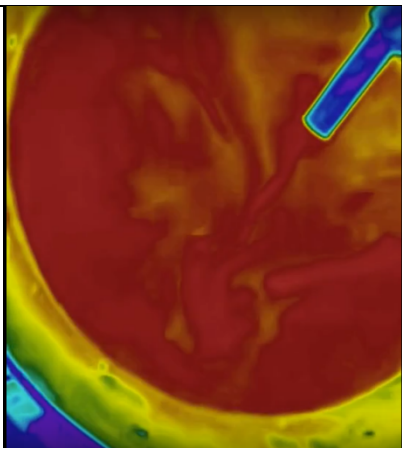
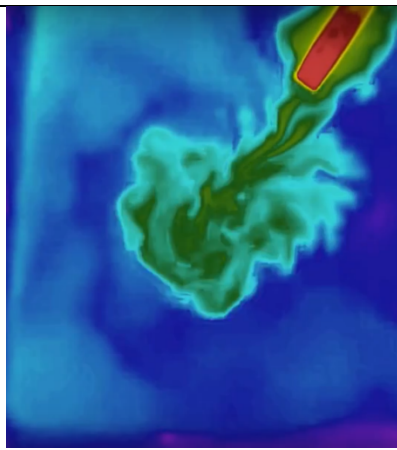
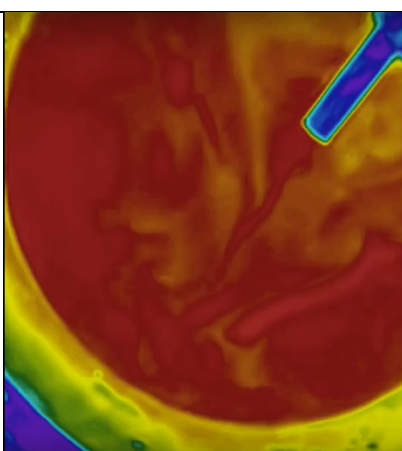
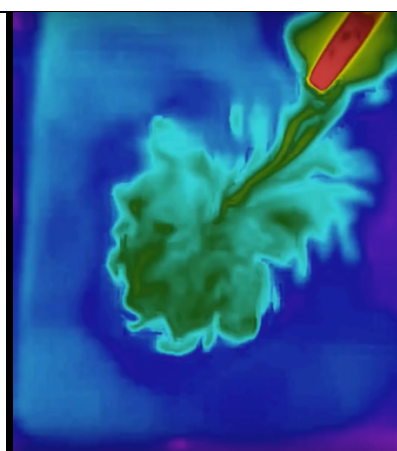


7s		
8s		
9s		
影片 連結		

表 2-3-2：現象觀察

3. 為更了解真實氣體在我們實驗（使用自製器材）中的流動狀況，我們使用可視物質（乾冰）模擬氣體流動，其中可以發現：

- (1) 射出的白色煙霧會帶動空氣流動，兩流體間逐漸融合，距離針筒出口處越遠，融合效應越明顯，導致白色逐漸淡化。
- (2) 白色煙霧距離出口處越遠，流動的散佈面積越大。

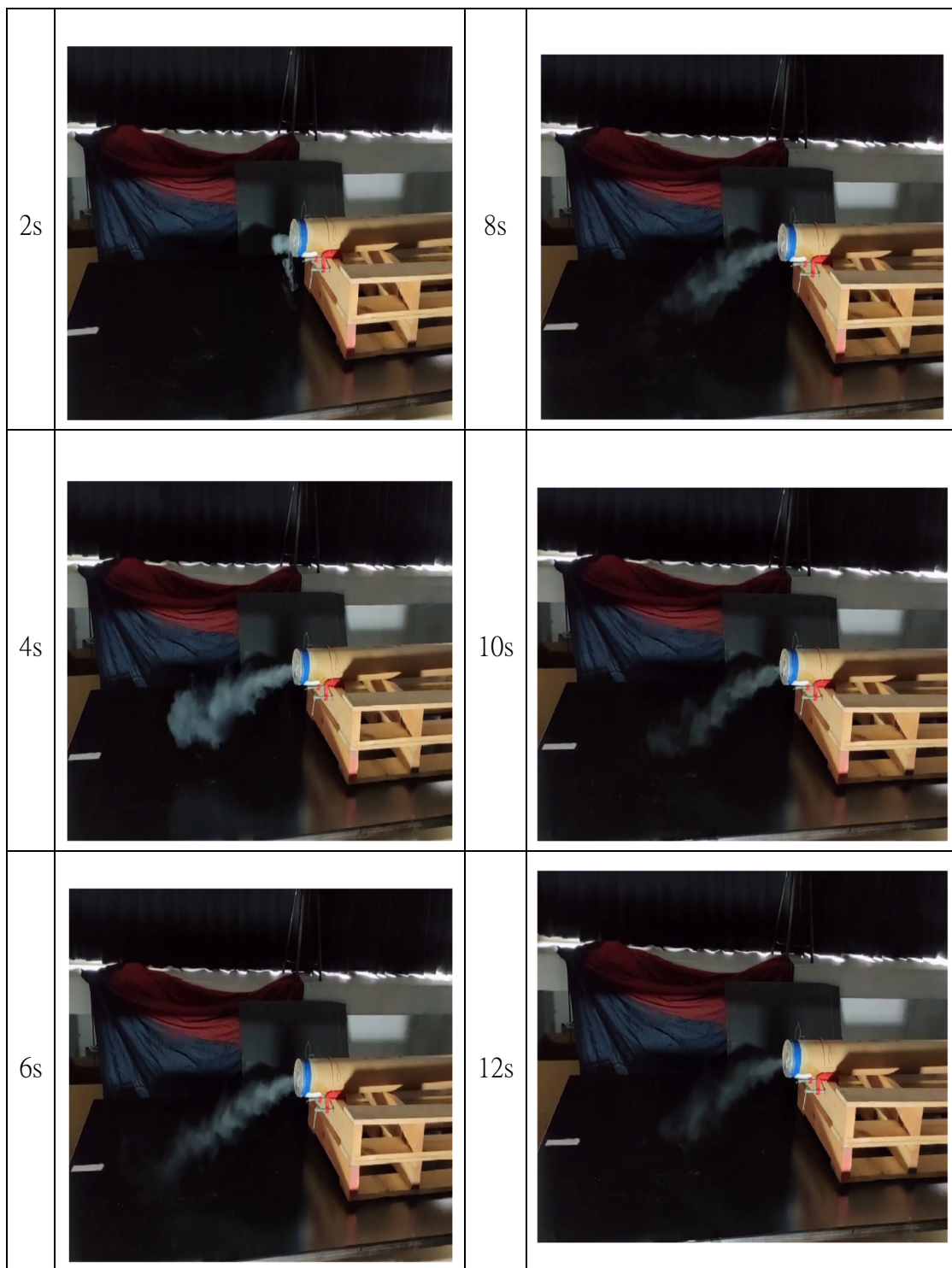


表 2-3-3：乾冰模擬

(四) 初步實驗

1. 口腔內外氣體條件的測量

由初步實驗測量口腔內外的數據（表 2-5-1）可知，吹氣和哈氣時，口腔內的氣體溫度差異不大，且皆大於外界環境的室溫。

		口腔內	外界環境
吹氣	氣壓(kPa)	106.2	98.7
	溫度(°C)	35.70	30.3
哈氣	氣壓(kPa)	100.8	98.7
	溫度(°C)	35.70	30.3

表 2-4-1：觀察口腔內外測量數據

若僅考慮絕熱膨脹的效應造成的溫度變化，由公式 $\frac{T'}{T} = \left(\frac{P'}{P}\right)^{\frac{2}{\gamma}}$ 可得：

- (1) 吹氣時，當氣體離開口腔後，因絕熱膨脹將可使溫度下降至 29.31°C
- (2) 哈氣時，當氣體離開口腔後，因絕熱膨脹將可使溫度下降至 33.85°C



圖 2-4-1-1：測量口腔內氣溫



圖 2-4-1-2：測量口腔內氣壓

2. 觀察吹氣是否經過吸管，對目標物表面溫度的影響

- (1) 粗吸管的直徑：1.10cm，細吸管的直徑：0.50cm。
- (2) 口腔內氣溫度：35.7°C，環境氣溫：30.3°C。
- (3) 固定口腔出口處到目標物的距離，利用吸管隔絕外界氣流引入，並測量目標物的表面溫度，以比較引入氣流對目標物表面溫度的影響。
- (4) 由實驗結果（表 2-4-2）可知，不論吸管粗細，使用吸管吹氣時目標物的表面溫度皆會較沒用吸管時高約 2.0~3.5°C。此外，目標物的表面溫度會介於口腔內氣溫與環境氣溫兩者之間。
- (5) 不使用吸管時，目標物的表面溫度皆會較以絕熱膨脹(初步實驗 1)所預測的溫度高約 1.50~2.50°C。

與目標物的距離	是否使用吸管		目標物表面溫度(°C)			
			1	2	3	平均
10cm	是	粗吸管	34.0	34.0	35.0	34.3
		細吸管	33.0	32.4	32.9	32.8
	否	哈氣	31.1	31.2	31.1	31.1
		吹氣	30.9	30.7	30.8	30.8
5cm	是	粗吸管	34.3	34.1	35.0	34.3
		細吸管	33.2	33.3	33.1	33.2
	否	哈氣	31.7	32.0	31.5	31.7
		吹氣	31.2	31.3	31.0	31.2

表 2-4-2：觀察使用吸管與否對目標物表面溫度的影響數據



圖 2-4-2-1：使用細吸管的初步實驗



圖 2-4-2-2：使用粗吸管的初步實驗


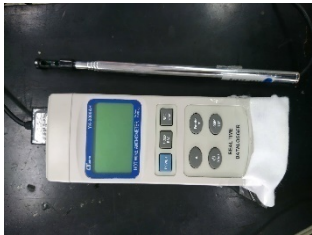
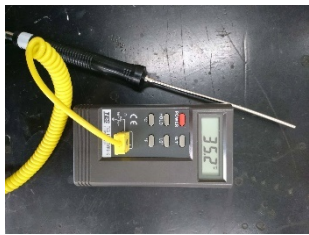




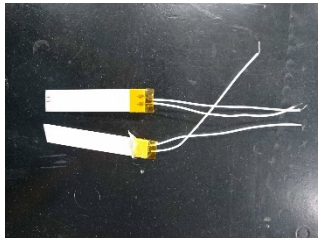


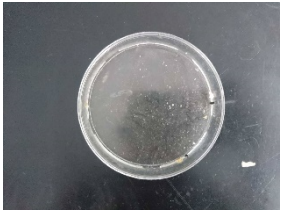


3. 觀察吹氣時目標物含水量對其表面溫度的影響

- (1) 粗吸管的直徑：1.10cm，細吸管的直徑：0.50cm。
- (2) 口腔內氣溫：35.7°C
- (3) 固定口腔出氣口到目標物的距離為 10cm，利用吸管隔絕外界氣流引入，減少環境空氣對此實驗的影響，並在目標物上噴灑水滴，模擬皮膚表面有水分的狀態。
- (4) 測量吹氣前後目標物的表面溫度及目標物上水分的質量變化即可得知蒸發的水量，並用以比較蒸發降溫對此現象的影響。
- (5) 我們本以為用吸管吹氣會加速水分的蒸發，應當造成目標物表面的降溫。但由實驗結果（表 2-4-3）可以發現，在短暫的吹氣過程中，由於水分的蒸發量甚少，蒸發降溫的效果並不大，再加上口腔氣溫較目標物的初溫高很多，以至於吹出的熱空氣對目標物造成的加溫效果遠較其水分蒸發的降溫效果大，故使目標物表面最終是溫度增高的。

		1	2	3	4	5	平均
粗 吸 管	初質量(g)	4.22	4.14	4.13	4.12	4.10	
	末質量(g)	4.20	4.10	4.12	4.12	4.09	
	蒸發量(g)	0.02	0.04	0.01	0.00	0.01	0.02
	初溫(°C)	19.1	19.3	22.6	22.6	22.4	
	末溫(°C)	28.9	29.0	31.3	30.9	31.5	
	溫度差 (°C)	+9.8	+9.7	+8.7	+8.3	+9.1	+9.1
細 吸 管	初質量(g)	4.97	4.94	4.95	4.95	4.93	
	末質量(g)	4.95	4.93	4.95	4.94	4.91	
	蒸發量(g)	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01
	初溫(°C)	23.0	23.0	22.4	18.1	20.0	
	末溫(°C)	30.7	30.2	30.4	28.9	30.9	
	溫度差 (°C)	+7.7	+7.2	+8.0	+10.8	+10.9	+8.9

表 2-4-3：觀察水分的蒸發對目標物表面溫度的影響數據

(五) 實驗器材

		
<p>FLIR ONE 紅外線熱顯像儀</p>	<p>記憶式熱線 風速風量溫度計</p>	<p>TES-1310 探針型數位溫度計</p>
		
<p>PASCO 550 通用主機</p>	<p>PASCO CI-6532A Pressure Sensor</p>	<p>紅外線測溫槍</p>
		
<p>馬桶疏通器</p>	<p>130cm 厚紙筒</p>	<p>薄型高溫陶瓷加熱器</p>
		
<p>游標尺</p>	<p>膠帶</p>	<p>黏土</p>
		
<p>培養皿</p>	<p>尺</p>	<p>紗布</p>



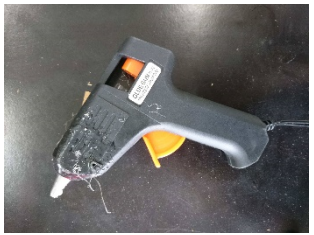



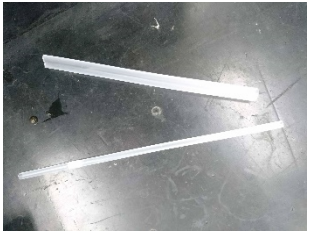


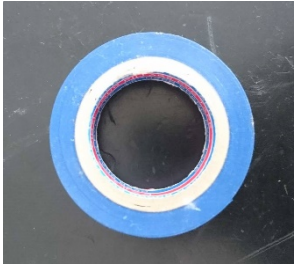





		
直流電源裝置	雙頭鱷魚夾線	熱熔膠槍
		
電鑽	電子秤	針筒
		
吸管	115cm PVC 塑膠管	泡棉膠
		
電工膠帶	灑水器	球針
		
排球	足球	籃球

表 2-5：實驗器材列表

(六) 自製器材模擬口腔吹出氣體

1. 利用鋸子將馬桶疏通器切開，前半部連同把手作為推進處，且因馬桶疏通器前半部的半徑較厚紙筒大，可做為卡榫，避免推進過量而破壞安裝於末端的陶瓷加熱片及 TES-1310 數位溫度計的探針；以疏通器後半部作為活塞，利用泡棉膠搭配電工膠帶網綁多次，使疏通器後半部的外徑略小於厚紙筒，外層再裹以透明膠帶減少摩擦力。
2. 以雙面膠及膠帶纏繞使馬桶疏通器推桿的外徑恰等於 PVC 塑膠管的內徑，利用長度 115cm 的 PVC 塑膠管連結馬桶疏通器前後兩部份，以增加實驗操作時氣柱的推進距離及時間。
3. 利用電鑽在厚紙筒前端鑽洞，放入兩片薄型高溫陶瓷加熱器和 TES-1310 數位溫度計的探針，並利用熱融膠槍將洞孔封緊，避免漏氣影響實驗結果。
4. 以長度 130cm 的厚紙筒模擬口腔氣室，藉由較長的推進距離，以增加氣體流出氣室所需的時間，使實驗能測量的時間拉長，降低誤差。
5. 將陶瓷加熱器連接直流電源裝置，以調整電壓的方式改變加熱程度，由小到大分別為 0V、3V、6V、9V，以模擬不同的口腔氣溫。
6. 利用電鑽在不同的培養皿上鑽出不同口徑的孔洞，以游標尺測量其孔徑，製作出由小到大直徑分別為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.7cm 的孔洞，可用來模擬人們吹氣和哈氣時，不同的張口程度。

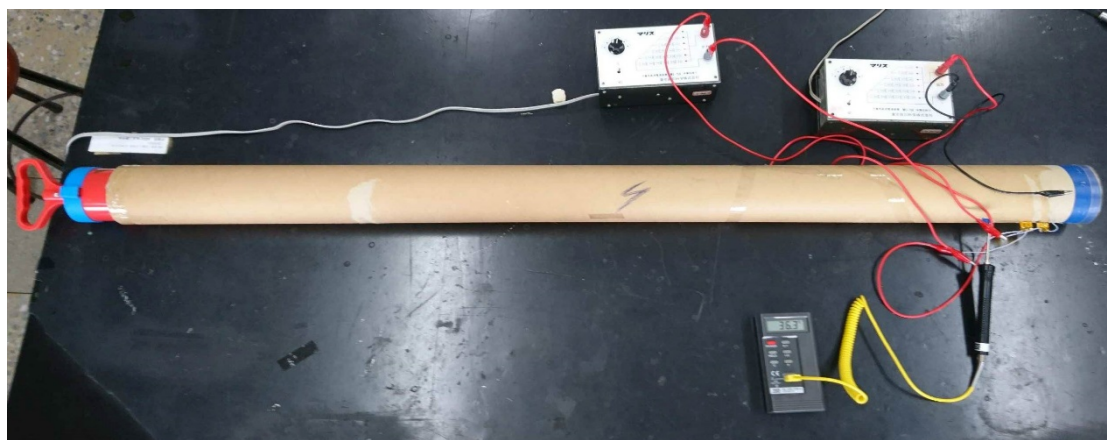


圖 2-6：自製器材模擬口腔吹出氣體

(七) 實驗操作

1. 探討絕熱膨脹對於吹氣致冷現象的影響

- (1) 取 15 顆皮球打氣後，共同放置於實驗室內一天使之和環境達成熱平衡，測量平衡時的室溫。(如圖 2-7-1-1)
- (2) 利用 PASCO CI-6532A Pressure Sensor 測量球內氣壓及實驗室氣壓 10 秒，每秒記錄二十個數據，計算出 10 秒內的平均氣壓。
(如圖 2-7-1-2-1、圖 2-7-1-2-2、圖 2-7-1-2-3)
- (3) 利用記憶式熱線風速-溫度計測量由球針噴出的球內氣流之溫度 5 秒。探針位於球針上方 1cm 處，以降低氣流引入對此實驗的影響。測量氣體噴出時前 5 秒內的溫度，每秒紀錄 60 個數據並計算其平均值。(如圖 2-7-1-3)
- (4) 比較在僅考慮絕熱膨脹的效應下，氣體溫度的理論值，及實際實驗數據的差異。



圖 2-7-1-1：擺放於實驗室的球



圖 2-7-1-2-1：測量排球的氣壓



圖 2-7-1-2-2：測量足球的氣壓



圖 2-7-1-2-3：測量籃球的氣壓

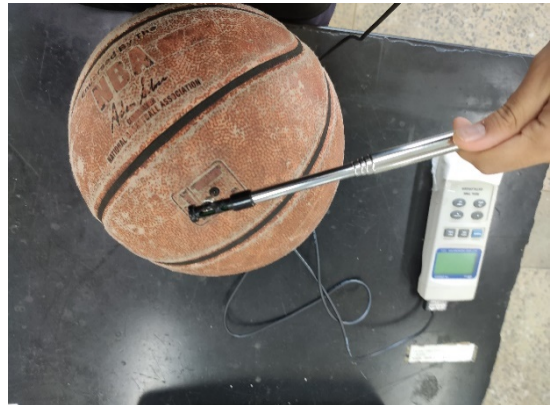


圖 2-7-1-3：測量球的出口風速

2. 探討氣流引入對於吹氣致冷現象的影響

- (1) 每次對氣室的推進時間固定為 7~8 秒內。(如圖 2-7-2-1)
- (2) 藉由自製器材模擬口腔情形，利用 TES-1310 探針型數位溫度計測量當直流電源裝置定為 0V、3V、6V、9V 時，高溫陶瓷加熱器造成的氣室內溫度分別為何。(如圖 2-7-2-2)
- (3) 利用記憶式熱線風速風量溫度計測量當出風口徑為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.70cm 時，出口風速分別為何。(如圖 2-7-2-3)
- (4) 每次實驗後，將推桿後拉，使氣室的體積回復最大，靜待陶瓷加熱器重新對氣腔內的氣體加熱。當 TES-1310 探針型數位溫度計上的讀數固定不變時，再進行下一次的推進。
- (5) 利用膠帶、紗布、黏土製作可固定的目標物。
- (6) 以直尺在實驗桌上標記 5cm、10cm、15cm 的位置放置目標物。(如圖 2-7-2-6)
- (7) 調整不同口徑的出風孔及設定氣腔氣溫後推出氣體，以紅外線測溫槍測量目標物放在不同位置時其表面的溫度，多次測量後計算平均值。(如圖 2-7-2-7)
- (8) 利用手機拍攝儀器的顯示螢幕，再將影片匯入 tracker 軟體中，逐格紀錄影格畫面中的數據，每秒計入 60 個數據，並將數據輸入 excel 中進行分析。



圖 2-7-2-1

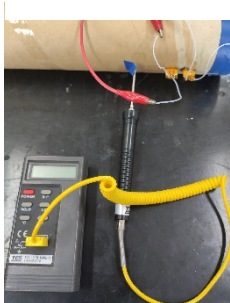


圖 2-7-2-2

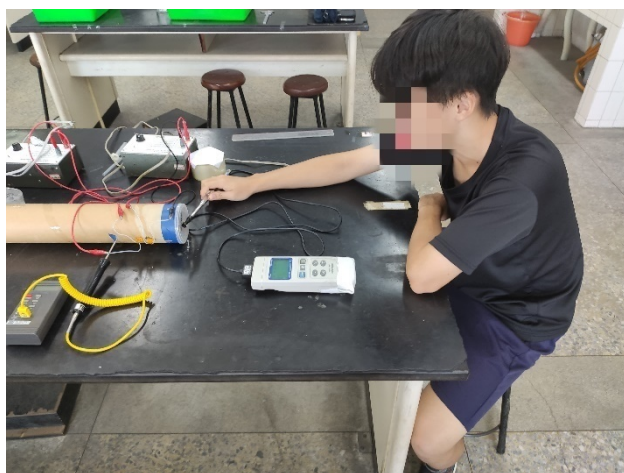


圖 2-7-2-3

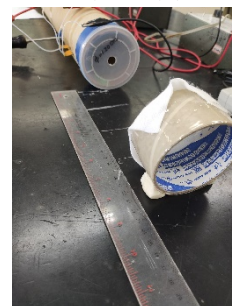


圖 2-7-2-6



圖 2-7-2-7

3. 探討蒸發降溫對於吹氣致冷現象的影響

- (1) 利用電子秤測量目標物重量。
- (2) 以灑水器噴灑水分於目標物紗布上。(如圖 2-7-3-2)
- (3) 再以電子秤測量目標物含水分時的初重量，減去目標物重量，即可得目標物上水分的重量。(如圖 2-7-3-3)
- (4) 固定每次推進的時間為 7~8 秒內，每個實驗推進十次。
- (5) 每次推進後，將推桿後拉，使氣室的體積回復最大，並靜待陶瓷加熱器重新對氣腔內的氣體加熱。待 TES-1310 探針型數位溫度計上的讀數固定不變時，再進行下一次的推進。
- (6) 調整不同的出風口徑及氣腔氣溫後推出氣體，以紅外線測溫槍測量當目標物位於不同位置及含水量時，目標物的表面溫度變化，測量多次並計算平均。
- (7) 利用電子秤測量目標物末重量，減去目標物含水分時的初重量，即可得實驗過程中水分的蒸發量。
- (8) 比較紗布上水分含量對於目標物表面溫度的影響，並計算每次推進時目標物的平均水分蒸發量，及每次推進時所下降的平均溫度值。

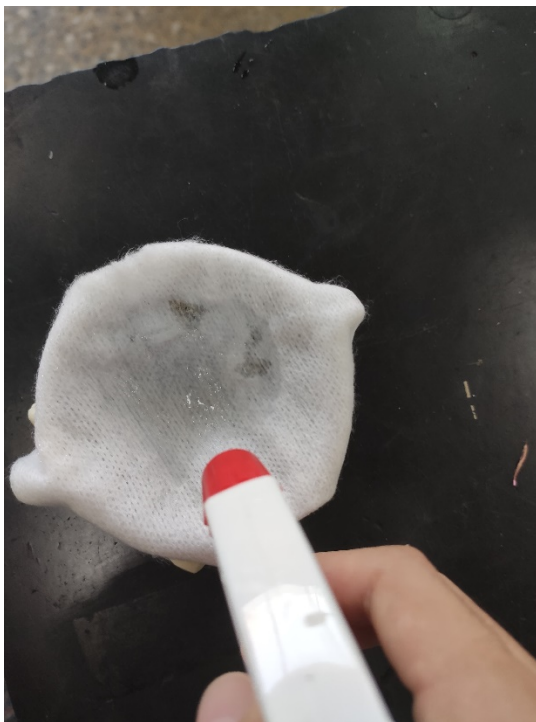


圖 2-7-3-2：利用灑水器在紗布上灑

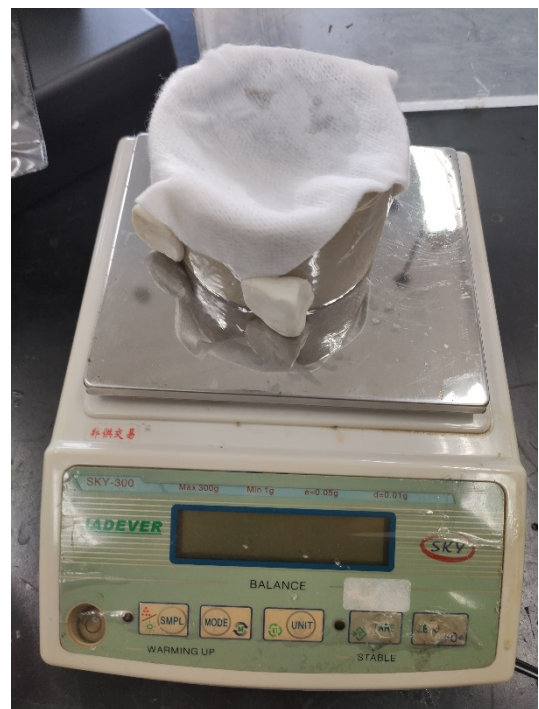


圖 2-7-3-3：利用電子秤測量目標物的質量變化

三、 研究結果與討論（數據參考附錄）

（一） 探討絕熱膨脹對於吹氣致冷現象的影響

1. 實驗結果

- (1) 實驗室氣壓：99kPa
- (2) 實驗室溫度＝球內氣體溫度：31.5℃
- (3) 實驗數據：（假設球內原體積為V）

編號	球內平均氣壓 (kPa)	球內氣壓變異係數 (%)	膨脹後理論體積 (V)	膨脹後理論溫度(℃)	實際測量溫度 (℃)	實際測量溫度變異係數(%)	百分誤差 (%)
1	198	0.00862	1.636585	-23.0	28.0	3.95236	20.381010
2	128	0.00000	1.197513	10.3	30.9	0.13969	7.255238
3	101	0.04875	1.013944	29.8	31.1	0.68166	0.428054
4	139	0.20473	1.268672	3.9	29.5	1.06982	9.275715
5	130	0.06164	1.209795	9.2	30.2	0.50060	7.463016
6	154	0.33957	1.368294	-4.4	28.6	1.42004	12.301150
7	134	0.07323	1.235487	6.8	30.6	0.87611	8.500145
8	117	0.05990	1.121651	17.8	30.6	0.12918	4.382607
9	113	0.05221	1.095251	20.6	30.6	0.39510	3.405281
10	136	0.05160	1.248758	5.6	30.3	0.84512	8.872279
11	132	0.03114	1.225352	7.7	30.6	0.23322	8.131748
12	133	0.01980	1.232167	7.1	30.2	0.49430	8.257349
13	139	0.33001	1.274426	3.4	30.1	0.82173	9.680831
14	136	0.09465	1.252135	5.3	30.1	1.10338	8.900439
15	136	0.09465	1.252135	5.3	30.0	1.47138	8.855555

表 3-1：絕熱膨脹之實驗數據

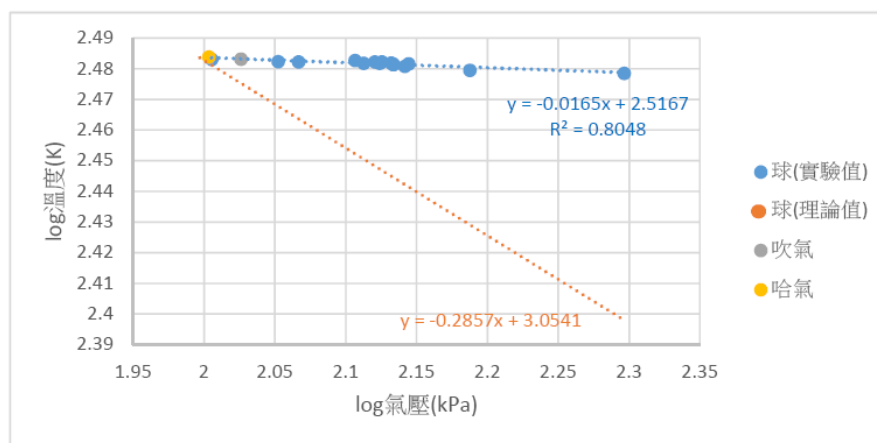


圖 3-1：絕熱膨脹之實驗數據（取對數）

2. 討論

- (1) 實驗時已將儀器和出風口處的距離固定為 1cm，使其保有膨脹空間而非直接測量出口溫度，且儀器仍相當接近出風口，避免氣流引入的效應對於實驗結果影響太大。
- (2) 由實驗數據（表 3-1）可知，球內的初壓力皆比實驗室內的大氣壓力大，且其初壓力越大，噴出球針後的氣流，其溫度越低，此趨勢與絕熱膨脹的理論是一致的。
- (3) 由絕熱膨脹可知：

$$T \propto P^{\frac{2}{7}} \approx P^{0.2857}$$

故將所測得的球內初始壓力與噴出氣體的末溫度以 10 為底數取對數後做出（圖 3-1），其理論斜率應為 $-2/7 \approx -0.2857$ 。

- (4) 在（圖 3-1）中根據實驗數據所繪製的回歸直線其斜率為 -0.0165 ，較理論值小很多。也就是說，絕熱膨脹的效果相當不明顯。雖然氣體在離開球針後是有降溫的現象，但降溫幅度並不如絕熱膨脹預測的那般劇烈，故可推斷吹氣致冷的過程中，皮膚和嘴巴的相距更遠，故絕熱膨脹並非主要影響因素。
- (5) 將初步實驗中測量吹氣和哈氣時的氣壓及氣流溫度的數據（目標物與出風口距離為 10cm）繪製於圖中進行比較，可以發現其實驗數據較接近皮球噴出氣體的數據之回歸直線，而與絕熱膨脹的理論線相差甚大。若吹氣和哈氣時，氣體的降溫完全是由絕熱膨脹造成的，則其溫度的差異應該會更加明顯。

(二) 探討氣流引入對於吹氣致冷現象的影響

1. 風速與出風口孔徑的關係

(1) 實驗數據

編號	a	b	c	d	e
直徑 (cm)	0.40	0.80	1.20	1.70	2.70
面積 (cm^2)	0.1256	0.5024	1.1304	2.2687	5.7227
面積倒數 (cm^{-2})	7.96178	1.99044	0.88464	0.44079	0.17474
平均風速 (m/s)	15.7	3.8	3.8	3.6	1.4

表 3-2-1：風速與出風口徑關係

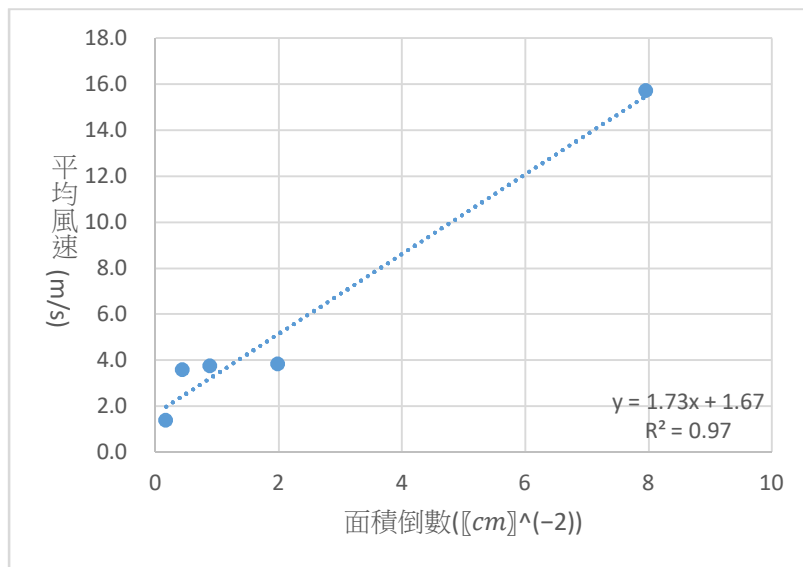


圖 3-2-1：風速與面積倒數關係

(2) 討論

I 由實驗數據（表 3-2-1）可知，培養皿出風口面積越小，風速越大。

II 假設氣室流出的氣體體積為 V ，且培養皿出風口面積為 A ，風速為 v ，而推進時間為 t ，則 $V = Avt$ 。而氣體體積 V 固定，推進時間 t 雖為人為操作，但僅選取 $7s \leq t \leq 8s$ 之數據，故： $v \propto \frac{1}{A}$

III 而由上圖面積倒數與平均風速的回歸直線可知，其相關係數平方為 0.972，可見實驗中之出口風速是很穩定的。

2. 加熱片電壓與氣腔內氣體溫度的關係

(1) 實驗數據

溫度 (°C)		電壓 (V)			
		0	3	6	9
編號	a	31.1	31.7	30.3	35.6
	b	30.6	31.6	35.0	37.1
	c	30.7	33.6	33.3	38.4
	d	30.0	30.5	33.3	36.5
	e	31.7	33.7	35.3	37.6
平均溫度 (°C)		30.8	32.2	33.4	37.1

表 3-2-2：電壓與溫度關係

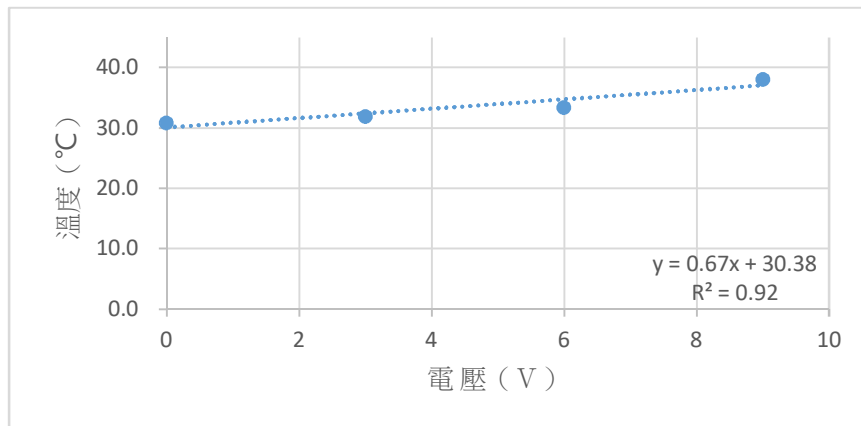


圖 3-2-2-1：電壓與溫度關係

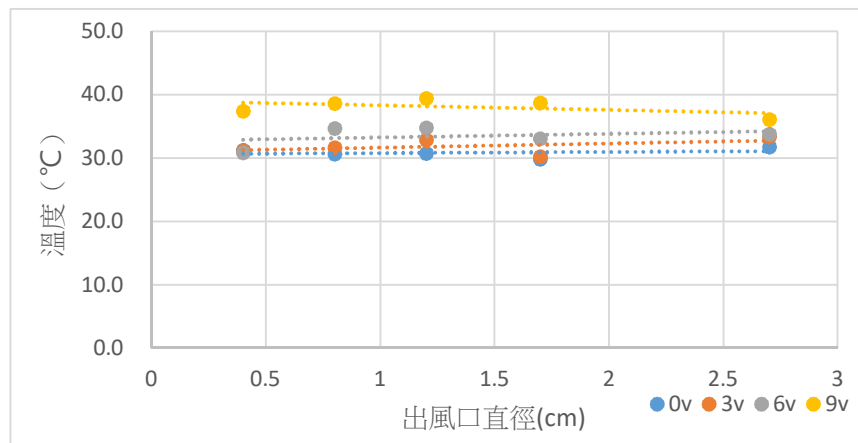


圖 3-2-2-2：出風口直徑與溫度關係

(2) 討論

I 由（圖 3-2-2-1）可知，直流電源裝置設定的電壓越高，其薄型高溫陶瓷加熱器加熱效果越好，厚紙筒內模擬口腔的氣室溫度也會越高。

II 由（圖 3-2-2-2）可知，氣室內氣溫與出風口孔徑無關，出風口的大小並不會影響後續實驗中的氣室內初溫。

3. 距離出風口遠近與溫度的關係

(1) 實驗數據

編號	距離	0V	3V	6V	9V
a	5cm	27.0	24.6	26.0	27.7
	10cm	26.9	24.0	25.1	26.4
	15cm	27.0	24.4	25.0	26.1
b	5cm	30.6	25.5	25.3	27.3
	10cm	30.4	24.7	24.9	26.8
	15cm	30.4	24.8	25.0	27.3
c	5cm	30.6	25.0	25.8	27.3
	10cm	29.9	30.2	25.6	26.8
	15cm	29.9	24.0	25.2	26.0
d	5cm	30.0	25.1	26.0	27.9
	10cm	30.1	25.1	26.1	27.6
	15cm	30.2	25.3	25.3	27.4
e	5cm	25.5	24.6	25.6	27.4
	10cm	25.1	25.0	25.7	26.8
	15cm	25.2	30.6	25.8	26.9

表 3-2-3-1：實驗環境溫度（°C）

編號	距離	0V	3V	6V	9V
a	5cm	27.0	24.9	26.7	28.8
	10cm	26.6	24.5	25.4	26.8
	15cm	26.6	24.5	25.1	26.5
b	5cm	30.7	26.3	26.7	29.7
	10cm	30.3	25.9	25.4	27.9
	15cm	30.1	25.8	25.4	27.5
c	5cm	30.6	26.4	27.5	30.3
	10cm	29.8	30.5	26.6	28.2
	15cm	29.5	25.0	25.6	26.8
d	5cm	30.2	27.0	28.0	31.0
	10cm	30.1	26.6	27.3	30.1
	15cm	30.0	26.6	26.0	28.8
e	5cm	25.9	30.1	26.8	29.6
	10cm	25.3	30.0	26.5	27.7
	15cm	26.1	31.2	29.0	32.0

表 3-2-3-2：目標物表面溫度（°C）

編號	距離	0V	3V	6V	9V	平均
a	5cm	100.92	95.98	90.35	86.41	90.91
	10cm	107.13	93.27	96.68	95.97	95.30
	15cm	110.87	99.09	99.06	96.00	98.05
b	5cm	91.90	85.79	82.31	73.37	80.49
	10cm	104.98	82.82	94.69	88.12	88.54
	15cm	146.27	85.76	96.23	98.18	93.39
c	5cm	114.78	78.84	77.29	66.22	74.12
	10cm	108.19	71.46	87.00	84.87	81.11
	15cm	137.40	87.10	95.14	92.17	91.47
d	5cm	87.10	70.12	73.47	62.08	68.56
	10cm	100.40	75.71	83.53	70.29	76.51
	15cm	123.04	78.65	91.36	84.42	84.81
e	5cm	93.44	19.60	85.01	74.05	59.55
	10cm	96.42	22.34	90.43	89.57	67.45
	15cm	85.07	22.06	58.44	86.41	76.51

表 3-2-3-3：氣流引入百分比 (%)

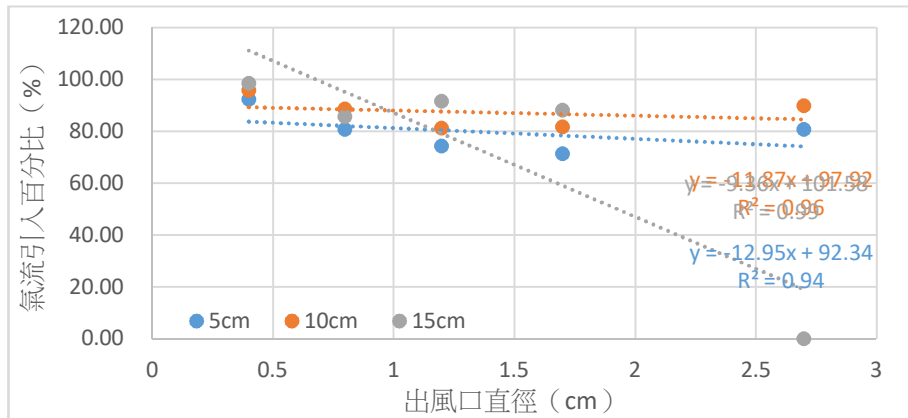


圖 3-2-3-1：氣流引入百分比與出風口直徑關係

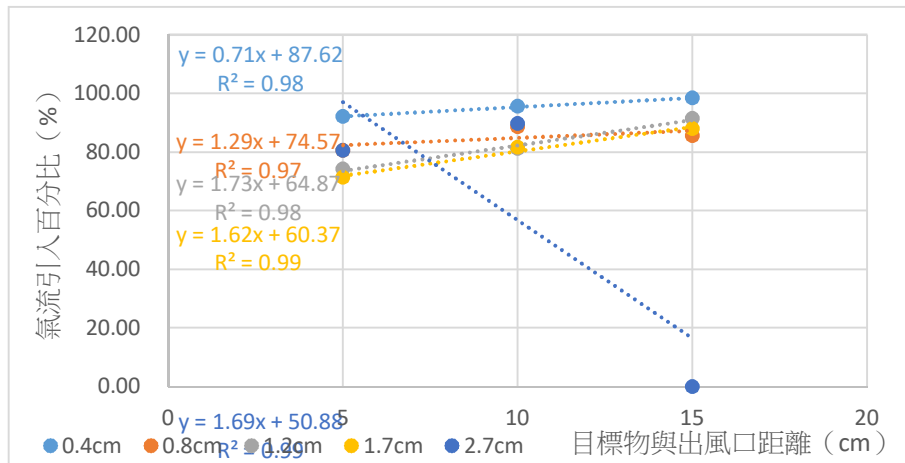


圖 3-2-3-2：氣流引入百分比與目標物與出風口距離關係

(2) 討論：

I 因氣室內氣體與環境氣體的組成成分相同，故過程中的莫爾比熱相同。

II 藉由能量與溫度變化的公式可知，假設原氣室內的溫度為 T_1 ，環境的氣溫 T_2 ，目標物的表面溫度為 T ，且接觸目標物的氣體是由 N_1 莫爾的原氣室氣體和 N_2 莫爾的環境氣體組成，在沒有熱量喪失的情況下，則：

$$(N_1 + N_2)T = N_1T_1 + N_2T_2$$

$$N_1(T - T_1) = N_2(T_2 - T)$$

$$N_1 : N_2 = (T_2 - T) : (T - T_1)$$

$$\text{氣流引入百分比例} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} * 100\% = \frac{T - T_1}{(T_2 - T) + (T - T_1)} * 100\% = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} * 100\%$$

III 由於實驗量極大，無法在短時間內完成所有實驗，然而實驗結果會受環境溫度影響，僅比較表面溫度的差異無法得知結論，故除了在實驗時開啟空調以維持恆溫外，實驗結果以比較氣流引入百分比例為主。

IV 在 0V 的情況下，陶瓷加熱器未加熱，故厚紙筒內的氣室氣溫與外界環境溫度甚為接近，故相較於別組數據而言，氣流引入百分比較無規律，甚至出現超過 100% 的數據。

V 故計算時僅利用 3V、6V 和 9V 三組數據進行平均，並以所得平均繪製（圖 3-2-3-1）和（圖 3-2-3-2）。

VI 由（圖 3-2-3-1）可知，不論目標物距離出風口的距離為何，出風口直徑越大，在目標物上測得的氣流引入百分比越小，也就是說，出風口直徑較大，原氣室內的氣體佔到達目標物的氣體比例較高，故導致目標物的表面溫度和原溫差異較大，溫度上升幅度較大。

VII 由（圖 3-2-3-2）可知，不論出風口直徑為何，目標物距離出風口越遠，在目標物上測得的氣流引入百分比越大，也就是說，氣體從氣室流出，流經的距離越遠，其引入的外界環境的氣體越多，而原氣室內的氣體溫度高於外界環境的氣體溫度，故會導致目標物的表面溫度和原溫差異較小，溫度上升幅度較小。

4. 使用吸管與否

- (1) 實驗數據（吸管直徑：1.10cm，目標物與出風口距離：10cm，電壓：6V，出風口直徑：1.2cm）

	使用吸管	未使用吸管
環境溫度（°C）	26.1	25.6
表面溫度（°C）	29.7	26.6
等效的氣流引入百分比（%）	50.68	87.00

表 3-2-4：使用吸管與否對氣流引入的差異

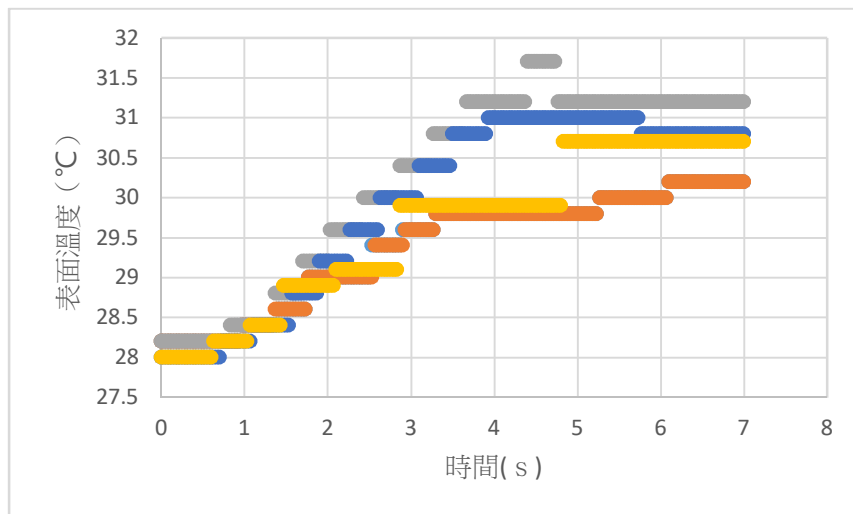


圖 3-2-4：以吸管吹氣時目標物表面溫度與時間關係（5 次測量）

(2) 討論

- I 由於氣流自出風口吹出後，並無與外界空氣混合，直接接觸目標物，故無所謂的氣流引入百分比。
- II 由實驗數據（表 3-2-4）可知，目標物表面溫度仍較紙管報紙筒內氣室的溫度低，推測是因為雖然吸管隔絕了外界氣流引入，但吸管溫度在實驗初，其溫度為室溫，會與從出風口流出高溫氣體進行熱傳導，導致目標物上的表面溫度較原紙管報紙筒內氣室的溫度低。
- III 由於目標物表面溫度仍較紙管報紙筒內氣室的溫度低，故將降溫的比例依據氣流引入百分比的公式推倒，換算成使用吸管時，等效於多少比例的氣流引入情形。
- IV 由實驗數據（表 3-2-4）可知，使用吸管的等效氣流引入比例較任何一組未使用吸管的低。

(三) 探討蒸發降溫對於吹氣致冷現象的影響

1. 實驗數據

電壓 (V)	0		6	
出風口直徑 (cm)	0.40	2.70	0.40	2.70
平均一次推進造成的含水量變化(g)	0.006	0.008	0.006	0.016
平均一次推進造成的溫度變化量(°C)	0.02	0.03	0.03	0.03

表 3-3：蒸發降溫的影響

2. 討論

- (1) 因推進一次導致的蒸發量極小，甚至小於電子秤所能感應的最小值；且導致的溫度變化量也很小，也小於紅外線測溫槍所能感應的最小值。故此實驗測量推進十次的前後溫度和質量變化再進行比較。
- (2) 吹氣或哈氣過程時間皆較此實驗時間短故手汗對溫度感受的影響較此實驗小。
- (3) 由實驗數據（表 3-3）可知，出風口直徑越大，造成目標物上水分蒸發量越多，應造成較大的降溫現象，但實驗結果未發現此現象。另外，口徑大為模擬哈氣時情形，哈氣時人體皮膚感覺溫度較吹氣時高，與蒸發降溫的現象相反。
- (4) 由實驗數據（表 3-3）可知，電壓越高，水分蒸發量越多，推測原因是，溫度越高蒸發速率越快，故質量變化較大。而溫度變化量與水的質量變化量相關性低，推測原因為，水的比熱大且氣體溫度高逾目標物表面溫度的初溫，進而加熱目標物，造成水分蒸發時目標物表面降溫幅度變小，降溫效果不明顯。

(四) 誤差討論

1. 本實驗吹出氣體的過程是利用人工推進活塞，為了降低誤差，故僅選取特定時間長度的實驗，去除推進過快或過慢的數據。
2. 由於實驗在不同日期進行，且實驗過程中的環境溫度可能改變，故在實驗過程中要全程開啟空調以維持恆溫環境。
3. 因為空氣流動會對於本實驗結果產生很大的影響，故實驗過程中要關門關窗，且不能開啟電風扇。
4. 由於實驗儀器無發自行記錄數據，而實驗過程較短，故將儀器讀數以錄影方式記錄，再利用 Tracker 軟體以逐一影格來紀錄下數據。

四、 結論與應用

(一) 結論

1. 藉由實驗（一）可知，真實生活中，絕熱膨脹並不存在，氣體在兩個不同氣壓的環境中雖然會改變其溫度，但其實際效應遠小於絕熱膨脹的預測結果。因此，雖然吹氣和哈氣時口腔內氣壓不同，可能會導致吹出的氣體溫度差異，但影響其實不大。
2. 藉由實驗（二）可知，氣流引入會很明顯的造成氣體的溫度變化，除了距離之外，原出風口孔徑大小亦會影響氣流引入的效果。因此，哈氣與吹氣時的嘴型不同，確實會導致氣流引入的程度差異，進而影響最後抵達目標物的氣體溫度。例如在我們的實驗圖 3-2-3-2 中，當目標物距離出風口 10cm（也就是我們一般對著手心哈氣或吹氣的典型距離），以口徑 0.4cm 的小孔”吹氣”時，最後到達目標物的氣體中竟有高達 95%以上是原本環境中的空氣，所以當環境溫度低於人體溫度時，對著手心吹氣當然會覺得冰涼。反之，當以口徑 2.7cm 的大孔”哈氣”時，最後到達目標物的氣體中則只含有少於 70%的環境空氣，所以此情況下手心會感覺溫暖。
3. 藉由實驗（三）可知，原氣室內的溫度高於目標物溫度，雖會導致蒸發速率加快，但短時間內的水分蒸發的現象仍不明顯，且高溫還會加熱目標物，故最後的降溫效果不明顯。因此，皮膚表面的水分蒸發效應對於哈氣和吹氣兩者的溫度差異影響也不大。
4. 此研究針對目前社會大眾對於造成吹氣與哈氣的溫度差異的三種主要因素（絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫），進行深度的探討與量化研究，由實驗佐證，這三種因素中，氣流引入的效應才是最為顯著的。

(二) 應用

除了哈氣與吹氣外，生活中仍可看見氣體在流動的過程中的溫度變化，如燒開水水壺上的蒸氣、工業煙囪、電腦硬碟的散熱……可將研究結果進一步推廣到其他氣體流動的溫度變化上。

(三) 未來展望

1. 申購能夠自行記錄數據的儀器，加快實驗數據處理速度，以進行更多組測量，且能夠獲得連續性的實驗數據。
2. 此實驗中僅探討原氣室溫度高於環境溫度或與環境溫度相同的情況，期盼未來能進一步研究當原氣室溫度低於環境溫度的情況。
3. 利用吹風機或其他可定速的的儀器取代人工推進，且同時其溫度須全程固定，以改進實驗結果並排除人為誤差因素。

五、 參考文獻

- (一) Serway & Jewett Principle of Physics 初版 臺中市
蒼海書局 47~89 2003
- (二) David Halliday & Robert Resnick & Jearl Walker Fundamentals of
Physics Extended 8th Edition 初版 臺北縣 全華圖書
14-1~14-38 2008
- (三) A. W. JONES 1982 Effects of temperature and humidity of inhaled air on the
concentration of ethanol in a man's exhaled breath Clinical Science 63
441-445
- (四) 李通藝 基礎地球科學(上冊) 四版 新北市 康熙文化事業股份
有限公司 63 2016

六、 附錄

原始數據檔：https://drive.google.com/drive/folders/1EeN3tp1crLGOByslBYXL_zQ7E-urZHnH?usp=sharing

urZHnH?usp=sharing

(一) 探討絕熱膨脹對於吹氣致冷、哈氣致熱現象的影響

時間 (s)	氣壓 (kPa)															
	外界	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.05	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.10	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.15	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.20	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.25	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.30	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.35	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.40	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.45	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.50	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.55	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.60	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.65	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.70	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.75	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.80	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.85	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.90	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
0.95	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.00	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.05	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.10	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.15	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.20	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.25	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.30	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136
1.35	99	198	128	101	139	130	155	134	117	113	136	132	133	140	136	136

9.00	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.05	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	136	132	133	139	136	136
9.10	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.15	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.20	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.25	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.30	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.35	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.40	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.45	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.50	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.55	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.60	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.65	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.70	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.75	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.80	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.85	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.90	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
9.95	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136
10.00	99	198	128	101	138	130	153	133	117	113	135	132	133	139	136	136

1. 氣壓 (kPa)

2. 溫度 (°C)

時間 (s)	溫度 (°C)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.000	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.017	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.033	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.050	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.067	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.083	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.100	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.117	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.133	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.150	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5
0.167	29.2	30.9	31.2	29.9	30.4	29.1	30.9	30.6	30.8	30.6	30.8	30.4	30.5	30.5	30.5

(二) 探討氣流引入對於吹氣致冷、哈氣致熱現象的影響

1. 電壓與溫度關係

編號	直徑 (cm)	電壓 (V)	1		2		3		4		5		平均溫度 (°C)
			平均溫度 (°C)	推進時間 (s)	平均溫度 (°C)	推進時間 (s)	平均溫度 (°C)	推進時間 (s)	平均溫度 (°C)	推進時間 (s)	平均溫度 (°C)	推進時間 (s)	
a	0.4	0	31.9	8.00	31.0	8.00	31.2	8.00	31.1	8.00	30.8	8.00	31.2
		3	31.0	7.13	30.8	8.00	31.0	8.00	32.3	8.00	30.8	8.00	31.2
		6	30.0	8.00	30.5	7.83	31.1	8.00	31.5	7.98	31.8	8.00	30.9
		9	36.4	8.00	36.7	8.00	37.5	8.00	38.3	8.00	38.3	7.87	37.4
b	0.8	0	30.7	7.55	30.7	7.55	30.7	7.55	30.7	8.00	30.8	8.00	30.7
		3	31.7	7.55	31.7	7.55	31.7	7.55	31.7	8.00	31.8	8.00	31.7
		6	34.8	7.45	34.7	7.55	34.6	7.65	34.8	7.55	34.8	7.45	34.7
		9	38.8	7.53	39.6	8.00	39.2	8.00	38.0	7.55	37.5	8.00	38.6
c	1.2	0	30.8	8.00	30.8	8.00	30.8	8.00	30.8	8.00	30.8	8.00	30.8
		3	32.6	8.00	33.0	8.00	30.9	8.00	32.9	8.00	32.9	8.00	32.9
		6	35.5	7.28	34.3	7.87	34.5	8.00	34.8	8.00	34.9	8.00	34.8
		9	38.9	7.52	39.8	7.88	39.2	7.72	39.7	8.00	40.0	7.78	39.5
d	1.7	0	29.6	7.00	30.0	7.20	29.5	7.00	29.7	7.94	30.4	7.00	29.8
		3	29.4	7.00	30.5	7.00	30.4	7.15	30.2	7.00	30.4	7.00	30.2
		6	32.5	8.00	33.0	8.00	33.4	7.83	33.4	7.50	33.4	7.97	33.1
		9	38.3	7.52	38.3	7.88	38.7	7.72	38.6	8.00	39.7	7.88	38.7
e	2.7	0	31.7	7.00	31.7	7.00	31.7	8.00	31.7	78.2	31.7	78.7	31.7
		3	33.8	8.00	33.5	7.77	33.2	7.00	33.2	7.00	33.2	7.00	33.4
		6	33.6	8.00	33.7	7.95	34.2	8.00	33.5	7.97	34.0	8.00	33.8
		9	36.9	7.00	38.0	7.67	35.2	8.00	35.2	8.00	35.2	8.00	36.1

2. 距離出風口遠近與溫度的關係

(1) 實驗環境溫度 (°C)

電壓 (V)	編號	距離 (cm)	溫度 (°C)					平均 (°C)	
			1	2	3	4	5		
0	a	5	27.2	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	
		10	27.0	27.0	27.0	26.8	26.8	26.9	
		15	26.8	27.2	26.6	27.2	27.2	27.0	
	b	5	30.4	30.8	30.4	30.6	30.7	30.6	
		10	30.4	30.2	30.5	30.5	30.2	30.4	
		15	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	
	c	5	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	
		10	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	
		15	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	
	d	5	30.4	29.8	30.0	30.0	30.0	30.0	
		10	30.2	30.0	30.3	30.2	29.8	30.1	
		15	30.0	29.9	30.3	30.1	30.5	30.2	
	e	5	25.2	25.0	25.4	25.4	25.0	25.5	
		10	25.6	25.6	25.2	25.2	26.0	25.1	
		15	25.2	25.1	25.1	25.1	25.0	25.2	
	3	a	5	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6
			10	24.6	24.4	24.4	24.6	24.6	24.0
			15	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
b		5	25.9	25.7	25.1	25.3	25.3	25.5	
		10	24.9	24.7	24.6	24.8	24.6	24.7	
		15	24.6	25.0	24.8	24.8	24.9	24.8	
c		5	25.0	25.2	24.8	25.0	25.0	25.0	
		10	30.0	29.9	30.3	30.1	30.5	30.2	
		15	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	
d		5	25.2	24.8	25.2	25.2	25.2	25.1	
		10	24.9	25.1	25.1	25.1	25.3	25.1	
		15	25.3	25.3	25.3	25.3	25.1	25.3	
e		5	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	
		10	25.0	25.0	25.2	25.0	25.0	25.0	
		15	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	

6	a	5	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
		10	25.2	25.1	25.1	25.1	25.0	25.1
		15	24.8	25.0	25.2	25.0	25.2	25.0
	b	5	25.2	25.0	25.2	25.2	26.0	25.3
		10	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9
		15	25.0	25.0	25.2	25.0	25.0	25.0
	c	5	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
		10	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6
		15	25.4	25.0	24.8	25.2	25.4	25.2
	d	5	26.2	25.8	26.0	26.0	25.8	26.0
		10	25.9	25.9	25.9	26.3	26.5	26.1
		15	25.2	25.0	25.2	25.2	26.0	25.3
	e	5	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6
		10	25.9	25.8	25.8	25.6	25.6	25.7
		15	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
9	a	5	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
		10	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
		15	25.9	25.9	25.9	26.3	26.5	26.1
	b	5	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
		10	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8
		15	27.1	27.3	27.3	27.5	27.5	27.3
	c	5	27.1	27.3	27.3	27.5	27.5	27.3
		10	26.8	26.8	26.8	26.8	26.6	26.8
		15	26.2	25.8	26.0	26.0	25.8	26.0
	d	5	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9
		10	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
		15	27.2	27.4	27.4	27.4	27.6	27.4
	e	5	27.2	27.4	27.4	27.4	27.6	27.4
		10	26.8	26.8	26.8	26.8	26.6	26.8
		15	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9

(2) 目標物表面溫度 (°C)

電壓 (V)	編號	距離 (cm)	溫度 (°C)					平均 (°C)
			1	2	3	4	5	
0	a	5	27.0	27.0	27.0	27.0	27.1	27.0
		10	27.0	27.0	26.4	26.4	26.4	26.6
		15	26.6	26.6	26.5	26.6	26.6	26.6
	b	5	30.4	30.7	31.3	30.5	30.6	30.7
		10	30.2	30.6	30.1	30.3	30.4	30.3
		15	30.2	30.0	30.2	30.2	30.0	30.1
	c	5	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6
		10	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8
		15	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
	d	5	30.4	30.0	30.1	30.1	30.1	30.2
		10	30.1	30.1	30.1	30.2	30.0	30.1
		15	29.7	30.0	30.1	30.0	30.1	30.0
	e	5	25.9	26.0	25.9	25.5	26.1	25.9
		10	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3
		15	26.0	25.8	26.2	26.4	25.9	26.1
3	a	5	25.1	25.1	24.8	24.8	24.8	24.9
		10	24.7	24.4	24.4	24.6	24.7	24.5
		15	24.4	24.6	24.6	24.4	24.3	24.5
	b	5	26.6	26.4	26.5	26.1	26.1	26.3
		10	25.9	26.0	25.9	25.5	26.1	25.9
		15	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.8
	c	5	26.6	26.4	26.5	26.1	26.1	26.4
		10	25.9	25.7	26.1	26.0	26.0	30.5
		15	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.0
	d	5	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
		10	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
		15	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
	e	5	30.2	30.0	30.2	30.2	30.0	30.1
		10	29.7	30.0	30.1	30.0	30.1	30.0
		15	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2

6	a	5	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
		10	25.5	25.3	25.5	25.2	25.2	25.4
		15	25.1	25.3	24.9	25.0	25.0	25.1
	b	5	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
		10	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
		15	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
	c	5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
		10	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
		15	26.1	25.9	25.4	25.3	25.3	25.6
	d	5	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
		10	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	27.3
		15	25.7	25.9	25.9	26.3	26.4	26.0
	e	5	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8
		10	26.7	26.6	26.7	26.3	26.0	26.5
		15	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
9	a	5	28.4	28.6	28.7	29.0	29.1	28.8
		10	26.7	26.8	26.9	27.0	26.4	26.8
		15	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
	b	5	29.4	29.7	30.3	29.5	29.6	29.7
		10	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9
		15	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
	c	5	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3
		10	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2
		15	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8
	d	5	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
		10	30.1	30.1	30.1	30.2	30.0	30.1
		15	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
	e	5	29.8	29.6	29.1	29.5	30.3	29.6
		10	27.5	27.6	28.0	27.8	27.8	27.7
		15	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0

3. 使用吸管的表面溫度

影格 編號	時間 (s)	溫度 (°C)				
		1	2	3	4	5
0	0.000	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
1	0.033	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
2	0.067	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
3	0.100	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
4	0.133	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
5	0.167	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
6	0.200	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
7	0.233	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
8	0.267	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
9	0.300	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
10	0.333	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
11	0.367	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
12	0.400	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
13	0.433	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
14	0.467	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
15	0.500	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
16	0.533	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
17	0.567	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
18	0.600	28.2	28.2	28.2	28.0	28.0
19	0.633	28.2	28.2	28.2	28.2	28.0
20	0.667	28.2	28.2	28.2	28.2	28.0
21	0.700	28.2	28.2	28.2	28.2	28.0
22	0.733	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2
23	0.767	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2
24	0.800	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2
25	0.833	28.2	28.2	28.4	28.2	28.2
26	0.867	28.2	28.2	28.4	28.2	28.2
27	0.900	28.2	28.2	28.4	28.2	28.2
28	0.933	28.2	28.2	28.4	28.2	28.2
29	0.967	28.4	28.4	28.4	28.2	28.2
30	1.000	28.4	28.4	28.4	28.2	28.2
31	1.033	28.4	28.4	28.4	28.2	28.2
32	1.067	28.4	28.4	28.4	28.4	28.2
33	1.100	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
34	1.133	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4

35	1.167	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
36	1.200	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
37	1.233	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
38	1.267	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
39	1.300	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
40	1.333	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
41	1.367	28.4	28.6	28.8	28.4	28.4
42	1.400	28.6	28.6	28.8	28.4	28.4
43	1.433	28.6	28.6	28.8	28.4	28.4
44	1.467	28.6	28.6	28.8	28.9	28.4
45	1.500	28.6	28.6	28.8	28.9	28.4
46	1.533	28.6	28.6	28.8	28.9	28.4
47	1.567	28.6	28.6	28.8	28.9	28.8
48	1.600	28.6	28.6	28.8	28.9	28.8
49	1.633	28.6	28.6	28.8	28.9	28.8
50	1.667	28.6	28.6	28.8	28.9	28.8
51	1.700	28.6	28.6	29.2	28.9	28.8
52	1.733	28.6	28.6	29.2	28.9	28.8
53	1.767	29.0	29.0	29.2	28.9	28.8
54	1.800	29.0	29.0	29.2	28.9	28.8
55	1.833	29.0	29.0	29.2	28.9	28.8
56	1.867	29.0	29.0	29.2	28.9	28.8
57	1.900	29.0	29.0	29.2	28.9	29.2
58	1.933	29.0	29.0	29.2	28.9	29.2
59	1.967	29.0	29.0	29.2	28.9	29.2
60	2.000	29.0	29.0	29.2	28.9	29.2
61	2.033	29.0	29.0	29.6	28.9	29.2
62	2.067	29.0	29.0	29.6	28.9	29.2
63	2.100	29.0	29.0	29.6	29.1	29.2
64	2.133	29.0	29.0	29.6	29.1	29.2
65	2.167	29.0	29.0	29.6	29.1	29.2
66	2.200	29.0	29.0	29.6	29.1	29.2
67	2.233	29.0	29.0	29.6	29.1	29.2
68	2.267	29.0	29.0	29.6	29.1	29.6
69	2.300	29.0	29.0	29.6	29.1	29.6
70	2.333	29.0	29.0	29.6	29.1	29.6
71	2.367	29.0	29.0	29.6	29.1	29.6
72	2.400	29.0	29.0	29.6	29.1	29.6

73	2.433	29.0	29.0	30.0	29.1	29.6
74	2.467	29.0	29.0	30.0	29.1	29.6
75	2.500	29.0	29.0	30.0	29.1	29.6
76	2.533	29.4	29.0	30.0	29.1	29.6
77	2.567	29.4	29.4	30.0	29.1	29.6
78	2.600	29.4	29.4	30.0	29.1	29.6
79	2.633	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
80	2.667	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
81	2.700	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
82	2.733	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
83	2.767	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
84	2.800	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
85	2.833	29.4	29.4	30.0	29.1	30.0
86	2.867	29.4	29.4	30.4	29.9	30.0
87	2.900	29.6	29.4	30.4	29.9	30.0
88	2.933	29.6	29.6	30.4	29.9	30.0
89	2.967	29.6	29.6	30.4	29.9	30.0
90	3.000	29.6	29.6	30.4	29.9	30.0
91	3.033	29.6	29.6	30.4	29.9	30.0
92	3.067	29.6	29.6	30.4	29.9	30.0
93	3.100	29.6	29.6	30.4	29.9	30.4
94	3.133	29.6	29.6	30.4	29.9	30.4
95	3.167	29.6	29.6	30.4	29.9	30.4
96	3.200	29.6	29.6	30.4	29.9	30.4
97	3.233	29.6	29.6	30.4	29.9	30.4
98	3.267	29.6	29.6	30.8	29.9	30.4
99	3.300	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
100	3.333	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
101	3.367	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
102	3.400	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
103	3.433	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
104	3.467	29.8	29.8	30.8	29.9	30.4
105	3.500	29.8	29.8	30.8	29.9	30.8
106	3.533	29.8	29.8	30.8	29.9	30.8
107	3.567	29.8	29.8	30.8	29.9	30.8
108	3.600	29.8	29.8	30.8	29.9	30.8
109	3.633	29.8	29.8	30.8	29.9	30.8
110	3.667	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8

111	3.700	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
112	3.733	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
113	3.767	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
114	3.800	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
115	3.833	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
116	3.867	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
117	3.900	29.8	29.8	31.2	29.9	30.8
118	3.933	29.8	29.8	31.2	29.9	31.0
119	3.967	29.8	29.8	31.2	29.9	31
120	4.000	29.8	29.8	31.2	29.9	31
121	4.033	29.8	29.8	31.2	29.9	31
122	4.067	29.8	29.8	31.2	29.9	31
123	4.100	29.8	29.8	31.2	29.9	31
124	4.133	29.8	29.8	31.2	29.9	31
125	4.167	29.8	29.8	31.2	29.9	31
126	4.200	29.8	29.8	31.2	29.9	31
127	4.233	29.8	29.8	31.2	29.9	31
128	4.267	29.8	29.8	31.2	29.9	31
129	4.300	29.8	29.8	31.2	29.9	31
130	4.333	29.8	29.8	31.2	29.9	31
131	4.367	29.8	29.8	31.2	29.9	31
132	4.400	29.8	29.8	31.7	29.9	31
133	4.433	29.8	29.8	31.7	29.9	31
134	4.467	29.8	29.8	31.7	29.9	31
135	4.500	29.8	29.8	31.7	29.9	31
136	4.533	29.8	29.8	31.7	29.9	31
137	4.567	29.8	29.8	31.7	29.9	31
138	4.600	29.8	29.8	31.7	29.9	31
139	4.633	29.8	29.8	31.7	29.9	31
140	4.667	29.8	29.8	31.7	29.9	31
141	4.700	29.8	29.8	31.7	29.9	31
142	4.733	29.8	29.8	31.7	29.9	31
143	4.767	29.8	29.8	31.2	29.9	31
144	4.800	29.8	29.8	31.2	29.9	31
145	4.833	29.8	29.8	31.2	30.7	31
146	4.867	29.8	29.8	31.2	30.7	31
147	4.900	29.8	29.8	31.2	30.7	31
148	4.933	29.8	29.8	31.2	30.7	31

149	4.967	29.8	29.8	31.2	30.7	31
150	5.000	29.8	29.8	31.2	30.7	31
151	5.033	29.8	29.8	31.2	30.7	31
152	5.067	29.8	29.8	31.2	30.7	31
153	5.100	29.8	29.8	31.2	30.7	31
154	5.133	29.8	29.8	31.2	30.7	31
155	5.167	29.8	29.8	31.2	30.7	31
156	5.200	29.8	29.8	31.2	30.7	31
157	5.233	29.8	29.8	31.2	30.7	31
158	5.267	30	30	31.2	30.7	31
159	5.300	30	30	31.2	30.7	31
160	5.333	30	30	31.2	30.7	31
161	5.367	30	30	31.2	30.7	31
162	5.400	30	30	31.2	30.7	31
163	5.433	30	30	31.2	30.7	31
164	5.467	30	30	31.2	30.7	31
165	5.500	30	30	31.2	30.7	31
166	5.533	30	30	31.2	30.7	31
167	5.567	30	30	31.2	30.7	31
168	5.600	30	30	31.2	30.7	31
169	5.633	30	30	31.2	30.7	31
170	5.667	30	30	31.2	30.7	31
171	5.700	30	30	31.2	30.7	31
172	5.733	30	30	31.2	30.7	31
173	5.767	30	30	31.2	30.7	30.8
174	5.800	30	30	31.2	30.7	30.8
175	5.833	30	30	31.2	30.7	30.8
176	5.867	30	30	31.2	30.7	30.8
177	5.900	30	30	31.2	30.7	30.8
178	5.933	30	30	31.2	30.7	30.8
179	5.967	30	30	31.2	30.7	30.8
180	6.000	30	30	31.2	30.7	30.8
181	6.033	30	30	31.2	30.7	30.8
182	6.067	30	30	31.2	30.7	30.8
183	6.100	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
184	6.133	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
185	6.167	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
186	6.200	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8

187	6.233	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
188	6.267	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
189	6.300	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
190	6.333	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
191	6.367	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
192	6.400	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
193	6.433	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
194	6.467	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
195	6.500	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
196	6.533	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
197	6.567	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
198	6.600	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
199	6.633	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
200	6.667	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
201	6.700	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
202	6.733	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
203	6.767	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
204	6.800	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
205	6.833	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
206	6.867	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
207	6.900	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
208	6.933	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
209	6.967	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8
210	7.000	30.2	30.2	31.2	30.7	30.8

(三) 探討蒸發降溫對於吹氣致冷、哈氣致熱現象的影響

1. 質量變化

電壓 (V)	直徑 (cm)	初質量 (g)	末質量 (g)	質量 變化(g)	平均一次 變化(g)	平均 (g)
0	0.4	4.38	4.32	0.06	0.006	0.006
		4.51	4.47	0.04	0.004	
		4.72	4.66	0.06	0.006	
		4.9	4.85	0.05	0.005	
		4.98	4.91	0.07	0.007	
	2.7	4.74	4.64	0.1	0.010	0.008
		5	4.91	0.09	0.009	
		4.92	4.85	0.07	0.007	
		4.99	4.93	0.06	0.006	
		4.95	4.85	0.1	0.010	
6	0.4	4.72	4.67	0.05	0.005	0.006
		4.94	4.87	0.07	0.007	
		4.97	4.92	0.05	0.005	
		4.97	4.91	0.06	0.006	
		4.96	4.91	0.05	0.006	
	2.7	4.63	4.49	0.14	0.014	0.016
		4.7	4.52	0.18	0.018	
		5	4.86	0.14	0.014	
		4.81	4.66	0.15	0.015	
		4.61	4.48	0.13	0.013	

2. 溫度變化

電壓 (V)	直徑 (cm)	初溫 (°C)	末溫 (°C)	溫度 變化(°C)	平均一次 變化(°C)	平均 (°C)
0	0.4	19.5	19.3	0.2	0.02	0.02
		19.2	19	0.2	0.02	
		19.5	19.3	0.2	0.02	
		19.7	19.4	0.3	0.03	
		20	19.7	0.3	0.03	
	2.7	19.3	19	0.3	0.03	0.03
		19.2	18.8	0.4	0.04	
		19.1	18.8	0.3	0.03	
		19	18.8	0.2	0.02	
		19.1	18.9	0.2	0.02	
6	0.4	19.3	19.1	0.2	0.02	0.03
		19.2	19	0.2	0.02	
		19.5	19.1	0.4	0.04	
		19.7	19.4	0.3	0.03	
		20	19.7	0.3	0.03	
	2.7	19.5	19.2	0.3	0.03	0.03
		19.8	19.4	0.4	0.03	
		19.3	19	0.3	0.03	
		19.6	19.2	0.4	0.04	
		19	18.7	0.3	0.03	

【評語】 160040

找到一個大部份教課書錯誤的機制，解釋關於吹氣致冷現象是值得嘉獎的。實驗方法可再加強一些，去掉一些其他可能的因素會更好。也能提出一個新的正確的機制。