

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：輻射熱計量計之轉速研究

關 鍵 詞：溫度、照度、壓力

編 號：040104

學校名稱：

國立科學工業園區實驗高級中學

作者姓名：

顏維志、呂中宇、莊 宸、張景棠

指導老師：

陳元彰



摘要：

本研究乃經由控制系統溫度、光源照度與氣體壓力的變化來觀察輻射熱計量計的轉速所受影響；根據我們所要控制的變因，設計出各種實驗系統以利觀察，如關於溫度控制方面有氣體控溫與水箱控溫，光源照度則以高功率變壓器調控之，氣體壓力部分雖然有待進一步發展，根據我們的推測也能在不久的將來完成這項變因控制。並且經過嚴謹的推導公式，其所呈現的理論與實驗所得結果互相支持，顯示我們的實驗是非常成功的。

動機：

在一天專題研究的課中，偶然看到儲物櫃中一個形狀奇異的儀器，仔細一看，原來是輻射熱計量計；包裝上描述著：此計量計是由太陽光來推動的！於是我們就開始試試它的功能；發現其轉速大小主要由三個因素所決定：溫度、光強度及壓力。本校數理實驗班在二年級的理科課程中有許多地方皆與本研究主題有密切的相關性，如：化學的氣體分子動力論、數學的微積分運算與最重要的物理：牛頓力學中的轉動與碰撞，同時也討論了功與動能等主題，於是我們認為輻射熱計量計的轉速研究這個主題相當適合高中教程並且也相當有趣，而有系統地來研究輻射熱計量計。

目的：

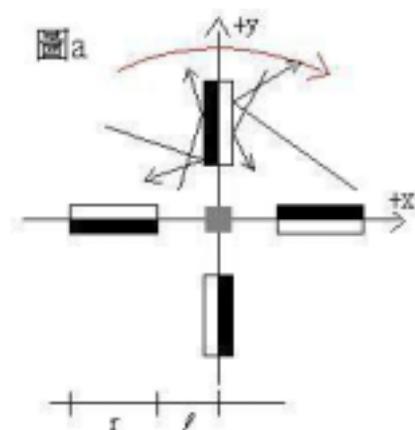
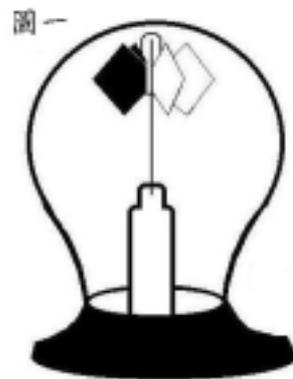
經由初步的實驗得知：轉速主要決定於溫度與照度。但我們很好奇，想進一步了解其中之關係，希望能從考慮各種因素，推導出轉速隨溫度、照度及壓力變化的函數式，並作實驗驗證之。

原理：

為什麼它會遇光而轉呢？動力來自於黑白兩面吸收光源能量的功率不同(黑面大、白面小)，釋放能量給空氣分子的功率也會不同。因此空氣分子相對於葉片離開的速度不同，因此葉片兩面所獲得的衝量也不同，有力矩產生，故有角加速度。

但是在轉速越大的時候，空氣阻力也越來越大。因旋轉物是由平板所組成，故在此所說的空氣阻力只考慮碰撞所產生的阻力。

在達到平衡後，單位時間的衝量差所得的力矩與空氣阻力所產生的力矩相等、不變、葉片吸收與釋放能量的功率相等、而且儀器內的溫度不變。完整的理論方程式推導如下。



方程式推導：

設中心軸為慣性座標系原點，座標系如圖 a。在此葉片為一以 r 為對角線長之正方形。

設旋轉物之質量為 M ，角速度為 ω ，正方形葉片之對角線長為 r ，夾住葉片的柄長為 l ，黑面吸熱功率為 W ，白面吸熱功率為 W' 。

設空氣分子質量 m ，平均速度量值為 v ，溫度為 T ，壓力為 P ， n 為每 m^2 、每秒所碰到的粒子數。

考慮上方指向正 y 方向的那一片葉片上，距中心軸 x 處之細片（在此 x 小於 $l+r/2$ ），在黑色面所受的力為：

$$dF_{\text{黑}} = \Sigma dp_{\text{空氣分子}} / t \quad (F = \text{負的總空氣分子動量變化} / \text{時間})$$

因為 $v \gg (l+r)$ ，故在葉片各處的碰撞頻率相等，所以各處 n 持相同。因此，可知當 $2*(x-l)*dx$ 為細片之面積，則 $n*2*(x-l)*dx$ 為一秒內碰撞的顆數。在沒有能量損耗的情況之下每一顆給葉片的衝量 J 為 $-\Delta p^w = -m\Delta v^w$ ，而因為我們先只考慮上方那一片葉片指向正 y 方向的瞬間，故只需考慮 x 方向的動量變化。因為一理想氣體的動能曲線為一常態分布曲線，故空氣分子速率的方均根值與空氣分子速率的平均值成正比，所以平均動能正比於平均速率的平方，也正比於速度 x 分量之量值得平方，故設 $k*v$ 正比於溫度的 0.5 次方。

$$dF_{\text{黑}} = n \cdot 2(x-l)dx[mk\bar{v} + m(k\bar{v} - 2\omega \cdot x + k\Delta v)]$$

〔力 = (空氣分子個數 / (面積*時間)) * 面積 * 負的每個空氣分子的平均動量變化〕

同理，白色為：

$$dF_{\text{白}} = n \cdot 2(x-l)dx[-mk\bar{v} - m(k\bar{v} - 2\omega \cdot x - k\Delta v')]$$

黑白兩面加起來為：

$$dF_{\text{總}} = n \cdot 2(x-l)dx \cdot m(-4\omega \cdot x + k\Delta v - k\Delta v')$$

故力矩為：

$$d\Gamma_{\text{總}} = n \cdot 2(x-l)xdx \cdot m(-4\omega \cdot x + k\Delta v - k\Delta v')$$

而從此葉片的內側積分到中間的值為：

$$\int_l^{l+r/2} d\Gamma_{\text{總}} = [-mnr^2(3r^2\omega + 2r(k\Delta v' - k\Delta v + 8l\omega) + 6l(k\Delta v' - k\Delta v + 4l\omega))] / 24 \dots\dots(1)$$

而在 x 大於 $l+r/2$ ，也就是從葉片中間到最遠端，在黑色那邊所受的力為：

$$dF_{\text{黑}} = n \cdot 2(l+r-x)dx[mk\bar{v} + m(k\bar{v} - 2\omega \cdot x + k\Delta v)]$$

白色為：

$$dF_{\text{白}} = n \cdot 2(l+r-x)dx[-mk\bar{v} + m(-k\bar{v} - 2\omega \cdot x - k\Delta v')]$$

黑白兩面加起來為：

$$dF_{\text{總}} = n \cdot 2(l+r-x)dx \cdot m(-4\omega \cdot x + k\Delta v - k\Delta v')$$

故力矩為：

$$d\Gamma_{\text{總}} = n \cdot 2(l+r-x)xdx \cdot m(-4\omega \cdot x + k\Delta v - k\Delta v')$$

從葉片中間積分到最遠端，值為：

$$\int_{l+r/2}^{l+r} d\Gamma_{\text{總}} = [-mnr^2(11r^2\omega + 4r(k\Delta v' - k\Delta v + 8l\omega) + 6l(k\Delta v' - k\Delta v + 4l\omega))] / 24 \dots\dots(2)$$

當力矩和為 0 時，為定值，故(1)+(2)=0 時，解之得

$$\omega = 3k(r+2l)(\Delta v - \Delta v') / (7r^2 + 24rl + 24l^2)$$

$$\text{而因為 } \frac{1}{2}m(\bar{v} + \Delta v)^2 - \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{W/(r^2/2)}{n}, \quad \frac{1}{2}m(\bar{v} + \Delta v')^2 - \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{W'/(r^2/2)}{n}$$

〔每個空氣分子的動能變化量 = 功率 / (總面積*單位面積單位時間之空氣分子個數)〕，故：

$$\Delta v = \sqrt{\frac{4W}{mnr^2} + \bar{v}^2} - \bar{v}, \quad \Delta v' = \sqrt{\frac{4W'}{mnr^2} + \bar{v}^2} - \bar{v}, \quad \text{故：} \Delta v - \Delta v' = \sqrt{\frac{4W}{mnr^2} + \bar{v}^2} - \sqrt{\frac{4W'}{mnr^2} + \bar{v}^2} \dots\dots(3)$$

$$\text{若 } W' = fW, \quad \text{則 } \Delta v - \Delta v' = \sqrt{\frac{4W}{mnr^2} + \bar{v}^2} - \sqrt{\frac{4fW}{mnr^2} + \bar{v}^2}$$

而 W 正比於照度，故轉速是照度 0.5 次方的函數。

因為： $2mnk\bar{v} = P$ 從(3)演化可知： $\Delta v - \Delta v' = \sqrt{\frac{8k\bar{v}W}{Pr^2} + v^{-2}} - \sqrt{\frac{8k\bar{v}W'}{Pr^2} + v^{-2}}$

，故轉速是壓力-0.5 次方的函數。

(在此以下，只是要將 n、V、P、v 與 T 之間的關係比出來。)

理想氣體 $PV=nRT$ ，V、n、R 定值，因為 $P \propto nv$ ，設在溫度為 T_1 時，氣壓為 P_1 ，單位時間單位面積內碰撞的顆數為 n_1 ，速率為 v_1 ；在溫度為 T_2 時，氣壓為 P_2 ，單位時間單位面積內碰撞的顆數為 n_2 ，速率為 v_2 。

$(n_1 * v_1)/(n_2 * v_2) = P_1/P_2$ ，故， $n_1/n_2 = P_1 * v_2 / P_2 * v_1 = \sqrt{T_1}/\sqrt{T_2}$ ，得知 $n \propto \sqrt{T}$

故： $\omega \propto \Delta v' - \Delta v \propto 1/\sqrt{n} \propto 1/\sqrt[4]{T}$

所以轉速正比於溫度的-0.25 次方。

從以上嚴謹的運算可知：轉速是照度 0.5 次方的函數，正比於溫度的-0.25 次方，且為壓力-0.5 次方的函數。

器材：

<p>實驗一： 光電計時器x1 光電閘x1 雷射光筆x1 直流電源供應器x2 伏特計x2 安培計x2 三用電表x1 可變式變壓器x1 鹵素燈具 (12DCV, 55W) x1 精密溫度計 (0.05 /100) x2 遮光罩 (不透光黑布) x1 數位式鉤表x1 黑箱系統x1 電熱絲 (61.5Ω/m, 25.0) x1 電線若干 輻射熱計量計x1 平板風扇 (110V/ W) x1</p>	<p>長尺 (0.1 cm/100 cm) x1 改良版 光電計時器x1 光電閘x1 燈泡 (110ACV/100W) x1 精密溫度計 (0.05 /100) x2 水缸系統x1 電湯匙 (110ACV/500W) x1 電線若干 輻射熱計量計x1 吹風機 (110ACV/200W) x1 遮光罩x1 實驗二： 照度計x1 小風扇 (12DCV) x1</p>	<p>伏特計x1 安培計x1 光電計時器x1 長尺 (0.1 cm/100 cm) x1 光電閘x1 燈泡組 (110ACV/60W) x1 直流電源供應器x1 遮光罩 (不透光黑布) x1 電線若干 三用電表x1 交流變壓器x1 數位式勾表x1 精密溫度計x1 輻射熱計量計x1 實驗三： 照度計x1 實驗一之器材</p>	<p>實驗四： 抽氣幫浦 (附氣壓計) x1 壓力罩 (座) x1 高壓軟管若干 high vacuum grease 輻射熱計量計x1 光電計時器x1 光電閘x1 雷射光筆x1 直流電源供應器x1 伏特計x1 安培計x1 電線若干 燈泡 (110ACV/100W) x1 精密溫度計 (0.05 /100) x2 氬氣瓶x1 氣體閥開關x2</p>
--	---	--	---

方法：

為了測量轉速，我們將輻射熱計量計安置在光電閘中間，當其扇葉轉過去時，可造成光電閘的計數。但是光電閘本身的發射端太弱，故我們將之拆開以雷射筆代替發射端。並且為了不讓光本身影響到光電閘接收端的讀取，已黑色面朝向接收端（詳見圖二、三）。

由於輻射熱計量計對於震動非常敏感，所以需盡量避免系統受到震動的干擾。黑箱內強力風扇（見後項）採用懸吊系統減少震動影響，且安置計量系統的底座亦與黑箱其他部分（墊以海綿）分開（圖四、五）。

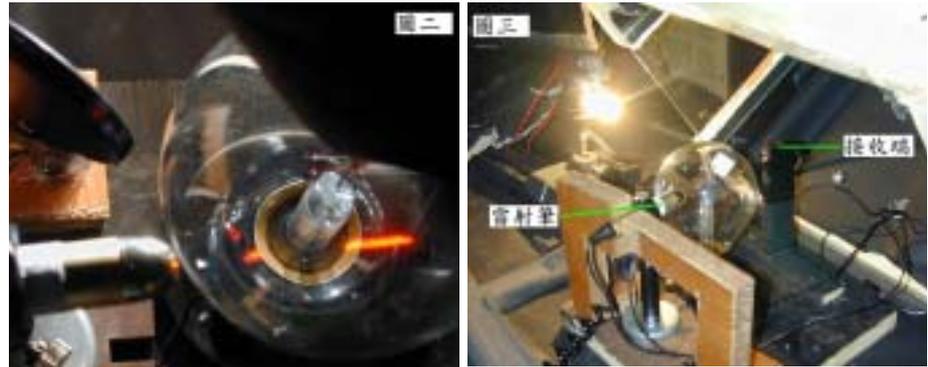
方法一：改變系統溫度：我們藉由電熱絲加熱系統（黑箱）溫度，同時必須使用強力風扇保持系統內熱能的平均分布。

改良版：在絕熱良好的水族缸中（四周包以襯黑之厚的保麗龍板），用碎冰和電湯匙控制水溫。因為水的比熱很大，故短時間內（數小時）溫度變化極小，效果較氣體介質好很多。計算次數仍用光電計時計數器之接收端，以光源為發射端。接收端前之長筒是要擋掉由旁邊射近來的光線。（圖七）

方法二：改變光源照度：控制光源輸入功率，在溫度恆定（燈絲）的情況下，其與系統輸入功率成正比。照度計須安置在與燈源等距（燈源至輻射熱計量計）處（圖六）。

方法三：同時改變照度和溫度，測量對轉速的影響，作綜合性的觀察實驗。

方法四：控制壓力罩內的氣壓，觀察其變化對轉速的影響，實際裝置如圖十三。要先將壓力艙內的氣體抽出，再灌入氫氣；重複操作此步驟，以確保壓力艙內的氫氣濃度達99.99%。用氫氣瓶放氫氣進入壓力罩，再用幫浦抽氣至欲得的壓力，藉此改變壓力罩內氣體的壓力。



步驟：

壹. 實驗一：

- 一、將器材照圖八、九（照度計為作實驗三時所裝上去的）所示安裝妥後，打開電源。
- 二、校正光電閘組，使雷射光通過葉片末端轉動路徑。
- 三、調整電熱絲功率後，靜待熱平衡。
- 四、設定光電計時器計時 180 秒，開始測量。
- 五、計時完畢，紀錄光電計時器計之讀數與系統溫度。



貳. 改良版：

- 一、將器材照圖十所示安裝後，打開電源。
- 二、校正光電閘組，使光電閘接收端正對著扇葉閃爍的本影區。
- 三、控制水溫（加入適量冰塊），之後每次升高溫度都以電湯匙稍微攪拌（注意不使水太渾濁）。
- 四、設定光電計時器計時 180 秒，開始測量。
- 五、計時完畢，紀錄光電計時器計之讀數與系統溫度。



參. 實驗二：

- 一、將器材照圖十一、十二所示安裝妥後，打開電源。
- 二、校正光電閘組，使葉片末端轉動路徑通過光電閘射出與吸收端之連線上。
- 三、改變燈泡輸入功率後，靜待熱平衡，並記錄照度計之讀數。



- 四、設定光電計時器計時 180 秒，開始測量。
- 五、計時完畢，紀錄光電計時器計之讀數，且每測量五次就紀錄一次系統溫度。



肆. 實驗三：

- 一、將器材照圖八、九所示安裝妥後，打開電源。
- 二、校正光電閘組，使葉片末端轉動路徑通



過雷射光。

- 三、調整燈泡輸入功率，靜待熱平衡，並記錄照度計之讀數。
- 四、設定光電計時器計時 180 秒，開始測量。
- 五、計時完畢，紀錄光電計時器計之讀數及系統溫度。
- 六、改變燈泡功率，並重複 3、4、5。
- 七、改變電熱絲輸出功率，並重複步驟 3、4、5、6。

伍. 實驗四：

- 一、將器材依圖十四所示安裝妥當。
- 二、關閉所有開關，開啟幫浦與壓力罩間的開關。
- 三、打開幫浦，將壓力罩內氣壓抽至 20 mm-Hg。
- 四、關掉幫浦與壓力罩間的開關（注意：幫浦仍在運轉），打開氦氣瓶的開關，控制開關使氦氣能緩慢溢出，填充氦氣至 0.3 大氣壓左右。
- 五、關閉壓力罩與氦氣瓶間的開關，打開幫浦與壓力罩間的開關。
- 六、重複步驟 2 至 5 五次（如此約是 99.99 % 的氦氣）。
- 七、校正光電開組，使葉片末端轉動路徑通過雷射光。
- 八、先用氦氣瓶放氦氣進入壓力罩，再用幫浦抽氣至欲得的壓力，藉此改變壓力罩內氣體壓力，紀錄光電計時器讀數（180 秒）。
- 九、重複測量三次後，重複步驟 2 至 8，以確保壓力罩內氦氣純度不變。

根據理論，填充分子量小的氣體有助於轉速加快；實驗證明以低壓之普通大氣充填之，無法轉動。

數據與圖表：

見附錄二

結果：

- 壹. 關於實驗一的數據，可以明顯看出溫度越高時，轉速越慢，近似直線，但有微微向上凹。
- 貳. 在實驗二中，溫度為控制變因，但是溫度的變化是難免的，修正後（如何修正見討論之其他問題）的圖形酷似一開口向右之拋物線。
- 參. 實驗三之圖形為一雙變因函數，溫度越高，轉速對照度的比值越小；而照度越大時，轉速對溫度的比值越大。故圖形為一以高照度、低溫度為最高點；以低照度、高溫度為最低點之曲面。
- 肆. 實驗四失敗，葉片無法轉動，故不能進行任何轉速的測量。猜測的原因在「討論」。

討論：

實驗誤差來源及其改進方法

- 壹. 影響實驗誤差的主要原因即是：因為時間緊迫，實驗時沒有等到系統（箱內溫度與輻射熱計量計內溫度）完全呈熱平衡時才開始紀錄數據，理論上在同一溫度的數據之一致性應該非常高（誤差在 1 次/3 分鐘），觀察個別電熱絲輸入功率之數據可發現依序，數據有變小或變大的趨勢；但大致來講，圖形中仍然可以看出整體趨勢，所以這方面可以忽略。
- 貳. 在『四、方法』中曾提到輻射熱計量計的之轉動對於震動有不小的敏感度，然而實驗中

有時會有操作者所造成的實驗體震動，或是系統內儀器所造成的種種震動。巨觀來看，此誤差之影響不大。

參. 數據中所謂的上溫、下溫，即輻射熱計量計上方與下方的二溫度計，因為加溫系統設置在實驗體上方，故溫度梯度難免會產生；但基於設計上的困難，我們只好採用強力的風扇緩和此誤差，在實驗體附近的溫差可被控制在 1 以內，總誤差在可接受的範圍內。

肆. 以上因素所造成的誤差，可用以下方法將實驗改良：

一、提高光源功率，提高轉速以減少“光電閘無條件捨去讀取”的誤差之影響。

二、用更精密的恆溫系統，並增加各儀器的耐溫能力。

三、對於實驗一亦考慮以冷卻系統增加實驗完整度。

四、擴大每次取樣範圍（目前是 180 秒），利用轉換介面使光電訊號輸入電腦程式自行紀錄，這樣實驗者不在現場亦可遠端遙控實驗，增加取樣數；且因有充裕的時間等待系統之熱平衡，誤差亦大幅減小。

五、當儀器故障或因可變變因的改變而使實驗無法繼續進行時（如：因為熱膨脹而使雷射筆方向改變），一貫的修正方法是把系統整個打開再修正之，但這樣便破壞了系統內原有之平衡。更新的設計是把所有需要修正的儀器皆裝設有外部修正系統，意即狀況發生時，實驗者可以不必打開系統就進行修正動作，不必浪費多餘的時間等待系統回復平衡。

六、遠端遙控時，無法如在場時可發現問題（如：光電計數系統發生不實讀數的情況），系統內部需增加至少一組對照的計數系統，以確保數據的正確性。

七、以高度真空油脂（high vacuum grease），仔細封住壓力罩系統中任何可能洩氣的孔洞或縫隙，目前已能確保壓力罩內保持 20 托（mm-Hg）10 分鐘壓力差不超過 0.01 托。

關於二點，我們已改用水為媒介的恆溫系統，系統溫度平衡得快也很穩定。

實驗四失敗的可能原因及其改進方法：

壹. 影響最大的原因應該是氫原子形狀對稱，電子軌域分布小而完整，故不容易與其他的分子產生能量的傳遞。空氣分子吸收能量的能力越好時，葉片對空氣的輸出功率（W）會越大，故越容易轉。

貳. 因為前面所敘述的理由，我們想氫氣應該可以使葉片轉動。 H_2 分子在兩氫原子之間有鍵結，可以用震動的方式吸收能量。假設我們灌氫氣在壓力艙內， H_2 分子的內能 - 出現機率圖應為一常態分布曲線；所以在分子撞擊葉片時，內能可能會被激發出來，造成較大的力矩。更何況 H_2 分子的分子軌域分布較散，容易因誘導偶極 - 誘導偶極力，與葉片表面分子有交互作用的機會。我們有用火點過原裝儀器中的氣體，並不是氫氣。

參. 輻射熱計量計中原本可能裝著某種特別容易與葉片作用的氣體，但是我們沒有可以對此氣體作分析的設備。

肆. 也有可能在拆除外殼的過程中，對於葉片有造成傷害，或是空氣中某種物質與葉片表面發生反應，使其失去功效。

伍. 我們沒有使用氫氣的原因是安全問題，若有辦法在實驗設計上降低危險性的話，就可以試試看了。

其他問題的討論：

壹. 關於波長的改變對轉速的影響，在我們實驗的範圍中其影響應不大，故不列考慮範圍之內。

- 貳. 理論推導中，並未考慮到流體力學計算形狀不同所造成的空氣擾動和空氣壓力差；與老師的討論認為因為實驗體本身的造型簡單（為垂直移動方向之平面），所以此部份的忽略是可接受的。
- 參. 水浴法控溫有他的問題。首先，箱內的水會嚴重影響光的路徑，造成折射和反射，大幅降低光強，讓接收端不容易測到。再者，水面和玻璃會反射光源，影響讀數，很不容易調到一個不受干擾的位置。
- 肆. 如何修正？因為實驗二中溫度變化的範圍不大，故從實驗一的結果即可之在小範圍內溫度與轉速的變化為一線性關係。所以就將每個（資料點的溫度-平均溫）*斜率，就是該資料點修正的量。

結論：

從理論推導的過程中可明顯看出轉速（ ω ）是一以溫度（ T ）、葉片吸收（只考慮吸收再放出的，不考慮反射的）功率（ W ）之二元函數。轉速是照度 0.5 次方的函數，正比於溫度的 -0.25 次方，且為壓力 -0.5 次方的函數。

我們所做出來的數據與理論完全符合，實驗一中趨勢類似於直線是因為我們實驗的範圍小，而且因為是四次根號分之一，故越靠近絕對零度時，斜率的變化越大。所以斜率變化不大的原因在於我們數據的範圍離絕對零度太遠。用水浴法控溫可以做到攝氏零度，可以看出有比較向上凹，但差別不大。而實驗二的圖形明顯為一開口向右之二次函數曲線。實驗三雖然沒有做出來，但是用繪圖計算機據理論繪圖的結果在附錄二。

因為我們不知道輻射熱計量計扇葉黑白面之吸收功率、轉軸動摩擦力 等條件，故無法量化我們的理論方程式，只能比出一個比例關係。進一步計算出量化的方程，作預測或改良設計的工作將是我們亟待進行的研究。

未來展望：

- 壹. 改變熱輻射計量計內部的環境；以氣體分子種類、葉片形狀、大小、數目、顏色、材質為操縱變因，研究其對轉速的影響。
- 貳. 發展制式的實驗套組，即遠端操控系統。
- 參. 量化的應用：測量某處的各种物理量（如：照度、溫度、壓力、環境狀態、性質等）。
- 肆. 在一固定照度固定溫度之下，以達到最高轉速為目標，設計並製造一台熱輻射計量計。

參考資料：

- 壹. David Halliday、Robert Resnick、Jearl Walkerm 原著，黃崢瑜等譯，物理（上），二版，台北市，全華科技圖書股份有限公司，20-2 20-9，90 年。

實驗機組的演進

由於本校數理實驗班在二年級每週有所謂的專題研究課程，在為期一年的研究中同學必須選定一科學性題目並完成之，類似科學展覽。在上學期中、末，我們的組員無意中在物理實驗室發現了一個奇怪形狀的儀器——輻射熱計量計。包裝上的說明說這個計量計可被太陽光推動；於是我們起了極大的興趣，試著用各種方法讓計量計轉的快一點。在這個過程中我們發現：計量計的轉速不僅跟照度有關，其與系統的溫度更有密切的關係。當時就決定要有系統地來探討輻射熱計量計的轉速。

控制（溫度、照度）變因之前，研究轉速必須先找出方法來測量它，本組的方法就是以光電閘通過計量計的扇葉，使扇葉轉動時光電閘的射出光能恰巧被扇葉阻斷並造成閃爍的情形，再以光電計時器作為紀錄的儀器。

由於必須控制系統的溫度，我們就先以大的瓦楞紙箱罩住整個實驗主體（光源、計量計與光電閘），然而因為光源的發熱功率實在太高，箱內溫度不易控制在室溫附近；而且光源照到箱壁所反射的光也極易影響到光電閘的計數。我們想出以內壁燻黑之鋁箔製成罩子，藉由黑色表面不反射與鋁箔散熱迅速的性質來解決這兩個問題。但是鋁箔燻黑後難以加工，而且其散熱效果仍不甚佳，無法提供穩定的內在因素進行實驗，我們必須找到更好的設計才行。

因為光源所發出的熱難以溢散出系統，將之移出整個計數系統便不失為一個可行的辦法。我們選用適當大小的紙箱後先將其內壁塗黑，割掉一塊紙板並裝上一片平板玻璃，將光源放在紙箱的外面可以隔絕大部分的對流熱；為了實驗操作的方便，在其側邊也挖一個操作孔以利實驗器材之校正動作進行。經驗中我們發現震動對於計量計的轉速有著不小的影響，所以我們用木條做成一個座子，把紙箱安置在上面，如此一來便可以固定光源與實驗主體的距離。



加溫的裝置（電熱絲）裝在實驗主體的四周，我們以平板風扇造成系統熱對流，試圖讓箱內溫度均勻，但是風力太弱，故箱內各點的溫度都不一樣。雖然強力的風扇可解決溫度梯度的問題，但本身的震動卻也會造成計量計轉速受到影響；於是把風扇以細繩懸吊於外襯的木板上，在木板與紙箱之間再使用軟墊減少震動影響。

紙箱的質地脆弱，各種儀器的裝載只能使用黑色的膠布貼住，如電熱絲就容易把膠布熔掉；況且紙箱承受應力時形變量不小，我們於是把整個罩子都改成木製的箱子，並且把方形木箱的底面與其他部分分開，這樣子風扇的影響就減到最低了（在上面的部分與桌面接觸部分墊以黑色海綿）。加溫的電熱絲纏好放在上方風扇的上面，用電扇把熱空氣



送到實驗主體的附近，增強熱對流。

隨著系統溫度的升高（控制變因），光電閘越來越脆弱；塑膠製的光電閘承受不了高溫。拆掉光電閘的外殼取出接收端，而以低功率雷射替代其發射端；我們收到了良好的效果。只是在定位時可能會比較麻煩一點，有時候不小心動到也要整個罩子打開才能修正，所以我們把雷射筆安置在特製的座，雷射筆可以以圓筒座標系（ θ, r, h ）瞄準接收端，方便操作。需要注意的一點就是接收端（光敏電阻）須以黑膠布纏成圓筒狀，這樣才能確定由光源反射的光不會影響計數。

目前最新的發展是一改過去氣冷（以空氣為介質控制溫度）的方式；把一個適當大小的水族缸四周貼上黑面的厚寶麗龍板，利用水的比熱大與寶麗龍隔熱效果好的特性。控制溫度在室溫以上時，以電熱絲加熱到預定溫度後就可以開始實驗；而在室溫以下時，以碎冰塊降至預定溫度時，撈去冰塊。這樣的好處在於控制溫度改變時可以迅速到達，不像氣冷式的加熱系統要花費不少時間；況且氣冷式系統若要做到室溫以下，頗為困難，但水冷式則可以迅速降至零度（ $^{\circ}\text{C}$ ）左右。

晉級全國科展後，我們更利用期限前的一段時間繼續進行「未來與展望」中關於控制實驗體內壓力的變化與轉速的關係，利用排水法可測知輻射熱計量計玻璃罩內的體積，進行所謂的破壞性實驗，在一大水缸內敲破一個計量計，並以排水集氣法收集原本在罩子內的氣體，計算玻璃罩內原本的氣壓約為 17.6 托（ mm-Hg ），所以就先將計量計放在已經抽至低壓之壓力罩內※，再以鐵鎚敲擊插在壓力罩上的鐵棒，使鐵棒能恰好擊碎計量計的罩子而不使內部裝置毀損，故我們仍然使用計量計的座子與葉片。而當我們試圖以抽氣幫浦來到達低壓時（根據理論，壓力與轉速有反比關係），我們發現葉片照光仍然不會轉動，而推論出須以分子量小的氣體作為填充之用，考慮填充氣體的安全性與操作的方便，我們使用氫氣，但是仍然無法得到預期的效果，在「討論」中有提到我們推測的失敗原因與未來改良的方法，希望以後能完成這項變因的操控。

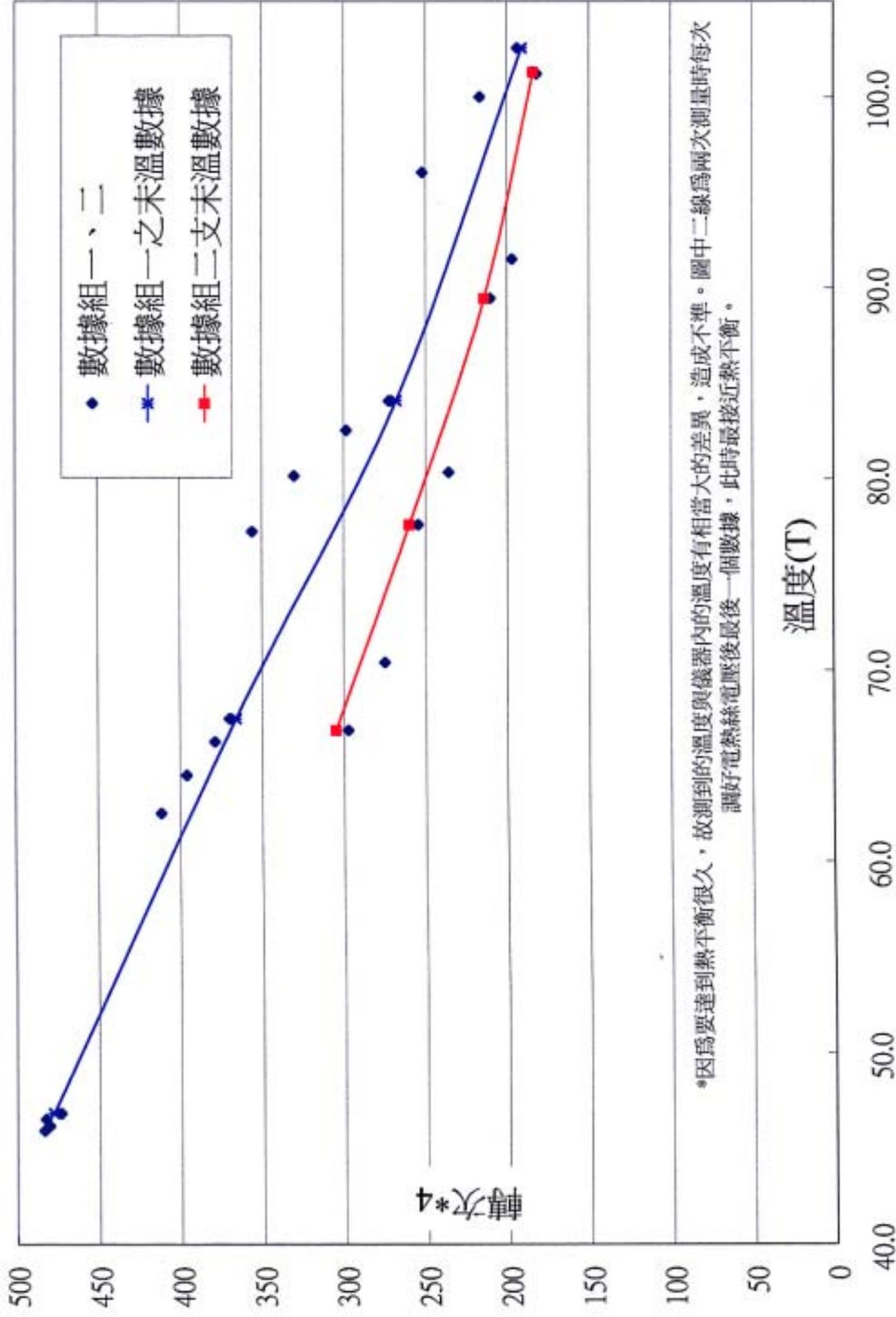
附錄二之實驗一（氣體控溫）

組：	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
cm：	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
燈V：	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
燈A：	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
laserV：	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
laser mA：	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
熱絲V：	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	30.0	30.0	30.0	30.0	35.0	35.0	40.0	40.0
熱絲A：	1.1	1.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	2.1	2.1	2.1	2.1	2.3	2.3	2.7	2.7
室溫：	28.0	28.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	28.1	28.1	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.1	28.1
上溫：	71.0	68.2	46.0	45.9	45.9	45.9	46.6	81.0	78.4	63.0	65.5	67.0	68.1	92.3	90.3	78.3	81.3
下溫：	69.8	65.5	47.1	46.0	46.5	46.5	47.1	79.7	76.8	62.0	63.5	65.5	66.8	90.7	88.6	76.2	79.0
平均溫：	70.4	66.9	46.6	46.0	46.2	46.2	46.9	80.4	77.6	62.5	64.5	66.3	67.5	91.5	89.5	77.3	80.2
180sec內 轉次*4	261	290	483	486	482	481	465	225	249	424	402	385	370	190	206	377	339
	270	294	482	483	481	480	472	232	252	411	398	382	371	195	208	359	334
	276	298	483	483	481	481	476	236	255	406	395	379	372	200	211	353	332
	282	301	483	482	481	481	477	241	257	405	394	374	371	203	213	349	325
	286	305	483	485	480	480	478	245	260		391	374	366		214	342	321
平均：	275	297.6	482.8	483.8	481	480.6	473.6	235.8	254.6	411.5	396	378.8	370	197	210.4	356	330.2
標準差：	9.899	5.857	0.447	1.643	0.707	0.548	5.320	7.791	4.278	8.737	4.183	4.868	2.345	5.715	3.362	13.266	7.190
標準差%：	3.600	1.968	0.093	0.340	0.147	0.114	1.123	3.304	1.680	2.123	1.056	1.285	0.634	2.901	1.598	3.727	2.178
轉次：	68.8	74.4	120.7	121.0	120.3	120.2	118.4	59.0	63.7	102.9	99.0	94.7	92.5	49.3	52.6	89.0	82.6

附錄二之實驗一（氣體控溫）

	18	19	20	21	22	23	24
	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
	40.0	40.0	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0
	2.7	2.7	3.0	3.0	3.4	3.4	3.4
	28.0	28.0	27.9	28.0	28.1	28.1	28.1
	83.6	85.0	101.2	101.3	97.5	102.0	104.0
	81.5	83.2			94.6	98.0	101.1
	82.6	84.1	101.2	101.3	96.1	100.0	102.6
	316	277	176	183	276	227	200
	324	275	178	184	259	222	195
	291	272	190	185	248	217	193
	281	270	183	185	241	212	190
	280	268	183	184	236	205	191
	298.4	272.4	182	184.2	252	216.6	193.8
	20.379	3.647	5.431	0.837	15.953	8.562	3.962
	6.829	1.339	2.984	0.454	6.331	3.953	2.045
	74.6	68.1	45.5	46.1	63.0	54.2	48.5

附錄二之實驗一（氣體控溫）繪圖



附錄二之實驗—改良版數據

	1	2	3	4	5	6
溫度一：	52.8	46.7	40.8	35.8	30.9	25.4
溫度二：	52.9	46.6	40.8	35.8	30.8	25.5
平均溫：	52.9	46.7	40.8	35.8	30.9	25.5
轉次*4	397	415	442	487	518	541
	395	416	442	489	513	546
	394	418	444	493	511	546
平均轉次*4	395.3	416.3	442.7	489.7	514.0	544.3
標準差：	1.527525	1.527525	1.154701	3.05505	3.605551	2.886751
標準差%：	0.386389	0.3669	0.260851	0.623904	0.701469	0.530328

燈泡電壓等
為控制變因

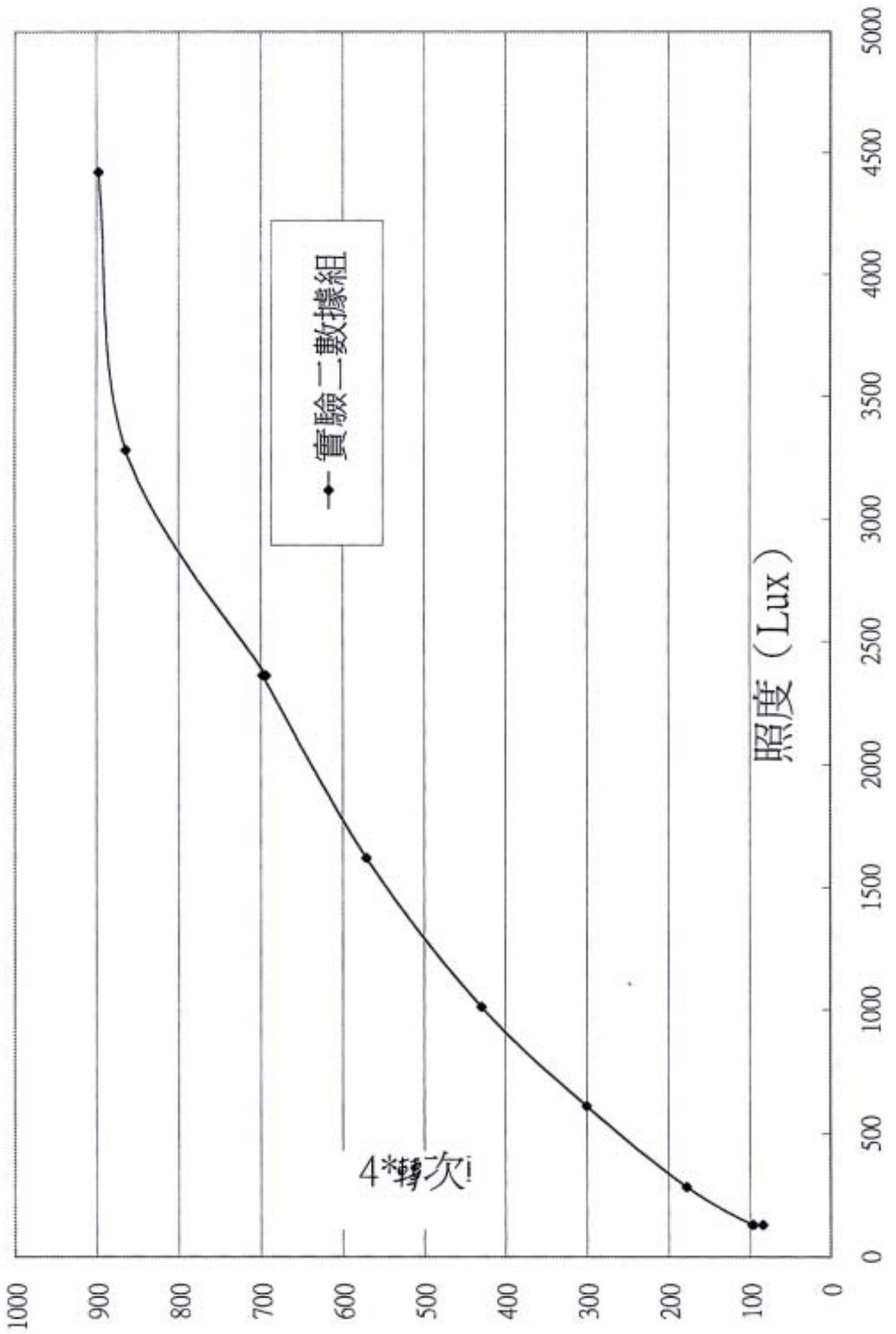
附錄二之實驗一（水浴控溫）繪圖



附錄二之實驗二數據

組：	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
cm：	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
風扇V：	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
風扇mA：	89	89	89	89	90	90	90	89	89	88	87	87	87	87
燈V：	40	40	40	50	60	70	80	90	90	100	110	110	110	110
燈A：	0.3	0.3	0.3	0.33	0.37	0.4	0.43	0.46	0.46	0.49	0.52	0.52	0.52	0.52
燈W：	12	12	12	16.5	22.2	28	34.4	41.4	41.4	49	57.2	57.2	57.2	57.2
Lux：	129	129	129	282	610	1010	1620	2360	2360	3280	4420	4420	4420	4420
室溫：	27	27	27	27	27	27	27	26.9	26.9	27.1	27.4	27.4	27.4	27.4
溫度：	29.2	30	30.4	30.9	31.6	33	34.4	34.5	34	35.2	36	36.1	38.8	39.1
轉數*4：	107	113	114	197	320	432	568	693	694	854	857	844	902	904
	107	117	118	195	320	436	571	697	693	855	851	847	892	912
	111	117	119	195	314	436	569			864	850		898	910
	114	116		194	311	434	569						888	906
	112	118		193	311	434	565							
	110	119			309	437								
	110	122			309									
		120												
平均：	110.1	117.8	117.0	194.8	313.4	434.8	568.4	695.0	693.5	857.7	852.7	845.5	895.0	908.0
標準差：	2.545	2.712	2.646	1.483	4.791	1.835	2.191	2.828	0.707	5.508	3.786	2.121	6.218	3.651
%：	2.310	2.304	2.261	0.761	1.529	0.422	0.385	0.407	0.102	0.642	0.444	0.251	0.695	0.402
轉次：	27.5	29.4	29.3	48.7	78.4	108.7	142.1	173.8	173.4	214.4	213.2	211.4	223.8	227.0
經溫控對照校正後之值：														
修正量：	-26.1	-21.7	-19.6	-16.9	-13.0	-5.4	2.2	2.7	0.0	6.5	10.9	11.4	26.1	27.7
結果：	84.0	96.0	97.4	177.9	300.4	429.4	570.6	697.7	693.5	864.2	863.5	856.9	921.1	935.7

附錄二之實驗二繪圖



附錄二之實驗三數據

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
cm :	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
燈V :	12.0	11.0	10.0	9.0	8.0	6.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0
燈A :	4.00	3.85	3.69	3.67	3.39	2.84	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	3.87	3.87	3.87	3.87	3.70
燈W :	48	42.35	36.9	33.03	27.12	17.04	48.36	48.36	48.36	48.36	48.36	48.36	48.36	42.57	42.57	42.57	42.57	37
laserV :	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
laser mA :	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
熱絲V :	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
熱絲A :	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.40	1.40	1.40	1.40	1.39
Lux :	4190	3390	2630	2120	1580	560	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	3390	3900	3900	3900	2700
室溫 :	28.0	28.0	27.9	27.9	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.3	28.3	28.3	28.3	28.2
上溫 :	48.0	49.0	49.2	38.0	41.0	42.0	49.3	50.2	50.8	51.2	52.0	52.1	52.9	54.3	55.0	55.0	55.2	56.3
下溫 :	47.3	48.7	48.9	37.7	40.5	42.0	49.0	49.4	50.0	50.8	51.2	51.7	52.1	53.8	54.0	54.3	54.7	55.5
平均溫 :	47.7	48.9	49.1	37.9	40.8	42.0	49.2	49.8	50.4	51.0	51.6	51.9	52.5	54.1	54.5	54.7	55.0	55.9
180sec內 轉的次數*4	450	363	304	299	241	102	435	430	427	423	419	419	418	339	354	355	349	301
	442	360	308	294	239	103								359				300
	437	362	306	291	237	104												
	433	361	306	286	236	104												
		362	306		233	106												
平均 :	440.5	361.6	306.0	292.5	237.2	103.8	435.0	430.0	427.0	423.0	419.0	419.0	418.0	349.0	354.0	355.0	349.0	300.5
標準差 :	7.326	1.140	1.414	5.447	3.033	1.483								14.142				0.707
% :	1.663	0.315	0.462	1.862	1.279	1.429								4.052				0.235
轉次 :	110.1	90.4	76.5	73.1	59.3	26.0	108.8	107.5	106.8	105.8	104.8	104.8	104.5	87.3	88.5	88.8	87.3	75.1

39	40	41	42	43	44	45
15	15	15	15	15	15	15
9.0	9.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0
3.52	3.52	3.34	3.34	3.34	3.34	4.01
31.68	31.68	26.72	26.72	26.72	26.72	48.12
6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	40.0
2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.68
2000	2000	1490	1490	1490	1490	4180
28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	84.4
74.8	74.8	75.0	75.0	75.0	74.9	83.2
75.4	75.4	75.5	75.5	75.5	75.5	83.8
179	179	144	143	144	144	258
178	179		144	144	143	
179	179					
178.7	179.0	144.0	143.5	144.0	143.5	258.0
0.577	0.000		0.707	0.000	0.707	
0.323	0.000		0.493	0.000	0.493	
44.7	44.8	36.0	35.9	36.0	35.9	64.5

附錄二之實驗三繪圖

