

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：追光者

—探討不同反射面鏡對物體溫度變化的影響

關鍵詞：反射面鏡、金屬塊、溫度變化

編號：

中 華 民 國 一 零 八 年 三 月 二 十 四 日

目錄

摘要	1
壹、研究動機	1
貳、研究目的	1
參、研究設備及器材	2
肆、研究過程與方法	4
伍、研究成果	14
陸、討論	16
柒、結論	24
捌、參考資料及其他	24

圖目錄

圖一：半徑為 16 公分的半球面	4
圖二：球面像差	4
圖三：半徑為 15 公分的部分半球面	4
圖四：3x1 面鏡之立體圖	5
圖五：3x1 面鏡之四分之一圓	5
圖六：3x1 面鏡之俯視圖	5
圖七：3x2 面鏡之立體圖	6
圖八：3x2 面鏡之四分之一圓	6
圖九：3x2 面鏡之俯視圖	7
圖十：3x3 面鏡之立體圖	8
圖十一：3x3 面鏡之四分之一圓	8
圖十二：3x3 面鏡之俯視圖	8
圖十三：光線行經的路徑圖	21
圖十四：改變距離後的 $\overline{\Delta T}$	22

摘要

本研究以凹面鏡中的球面鏡為基礎，設計出不同型態的反射面鏡，利用凹面鏡有會聚光線的效果，以不同金屬塊當作待測物，測量金屬塊的溫度變化。反射面鏡的幾何型態有著一定的數學模式。同一系列，即 $nx1$ 、 $nx2$ 及 $nx3$ 面鏡($n=3,4,5,6,8$)，隨著 n 增加，溫度變化率也隨之增加。有包黑膠帶的待測物其溫度變化要比沒有包的來得高。不同質量的相同金屬，其 P 值有著較高的相關性。待測物的溫度變化除了考慮反射面的幾何形態、反射面數量之外，還需考慮放置高度的問題，以便能獲得較高的升溫率。

關鍵字：反射面鏡、金屬塊、溫度變化、黑膠帶、 P 值

壹、研究動機

在上理化的第四章「光與影像」時，有提到面鏡和透鏡的成像，當物體位在不同焦距其所成像的差異性，並且凹面鏡和凸透鏡皆有會聚光線的效果。第五章「溫度與熱」中學習到「比熱」的概念，也就是物質吸收或散發熱量時，其和溫度變化的相關性，並且也了解到了熱的傳播方式有傳導、對流及輻射三種方式。

這讓我們不禁想起小學時曾經做過的太陽能鍋。利用厚紙板做的反射面，將光線集中起來照在黑色的鍋子，外面還包上一個透明塑膠袋，藉此讓鍋子的溫度上升並且能夠保溫，來達到煮熟食物的目地，整個流程使用到了我們在課堂上學到的概念。上網查詢之後發現，目前太陽能鍋已普及到世界各地，並且在型態上也有不同，大致上所討論的為方便性以及煮熟食物效果，但是在科學上沒有系統性的去探討反射面的型態對溫度變化的相關性。

因此，我們想利用凹面鏡中的球面鏡當作一個基礎，配合數學所學的多邊形及三角形邊角關係，設計出不同的反射面鏡，並以金屬來吸收能量，藉由測量溫度的變化，試著找出不同反射面鏡其溫度變化是否存在著一些相關性。

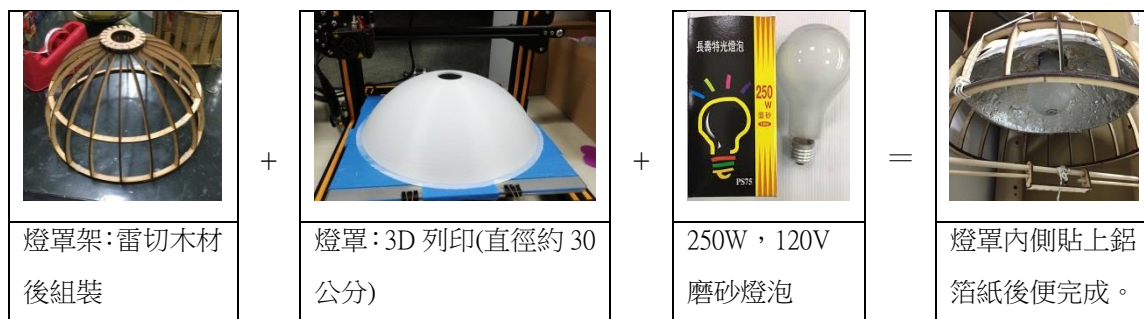
貳、研究目的

- 一、探討「同種待測物對不同反射面鏡，其溫度變化的相關性」
- 二、探討「質量相同的同種金屬，其『包黑膠帶的有無』，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性
- 三、探討「質量不同的同種金屬，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性
- 四、探討「同種待測物和鏡心之間的距離，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性

參、研究設備及器材

整個實驗裝置大致上分為以下幾個部分，有些先用繪圖軟體(CorelDRAW)設計，再用雷射切割機處理各部件或是用 3D 列印輸出。

一、光源：



二、反射面鏡：利用厚度約 1.0(mm)的紙板，待雷射切割出形狀後，用白膠將鋁箔紙平貼於一面，折出立體型態後用紙膠帶貼合。

三、待測物：(尺寸如下表一)

(一) 取正方體鋁塊和正方體銅塊各 2 個，從其中一個面鑽一個直徑為 4(mm)的圓孔穿過金屬塊，並取鋁塊和銅塊各一個，每一個面貼上黑色膠帶。

(二) 取長方體鋁塊及長方體銅塊各 2 個，從其中一個面鑽一個直徑為 4(mm)，深度為 20mm 的圓孔，並取鋁塊和銅塊各一個，每一個面貼上黑色膠帶。

表一：待測物相關參數



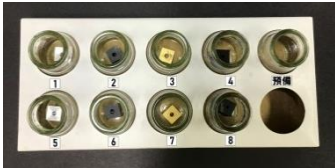
待測物	長 (mm)	寬 (mm)	高 (mm)	體積 (cm ³)	鑽孔		體積 (鑽孔後) (cm ³)	質量 (g)	密度 (g/cm ³)
					直徑 (mm)	深度 (mm)			
正方體鋁塊	16.10	16.10	15.90	4.12	4.09	15.90	4.05	10.6	2.61
正方體銅塊	15.95	16.03	15.88	4.06	4.03	15.88	4.00	30.5	7.63
長方體鋁塊	16.05	15.98	25.07	6.43	4.16	20.00	6.34	16.7	2.63
長方體銅塊	16.08	15.90	25.13	6.43	4.05	20.00	6.34	50.3	7.93

(備註：鋁的密度為 2.7g/cm³；銅的密度為 8.96g/cm³)

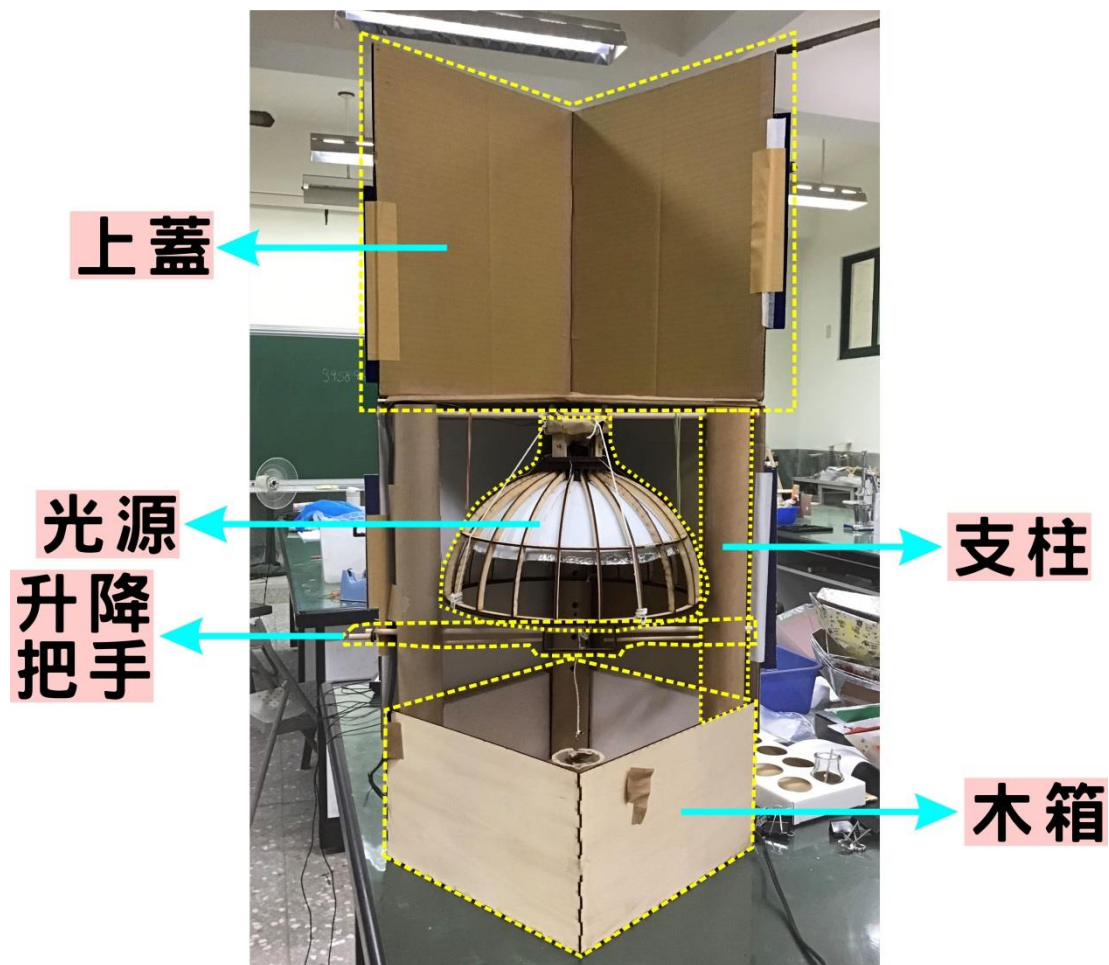
(三) 將待測物依序編號 1-8：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
待測物								
	正方體鋁塊	正方體鋁塊 (包黑膠帶)	正方體銅塊	正方體銅塊 (包黑膠帶)	長方體鋁塊	長方體鋁塊 (包黑膠帶)	長方體銅塊	長方體銅塊 (包黑膠帶)

四、其他相關設備及器材：

		
<p>探針溫度計及附有掛環的橡皮塞</p>	<p>電子秤</p>	<p>電子卡尺</p>
		
<p>玻璃瓶直徑 7(cm) (內部放置金屬塊)</p>	<p>木箱 (35cmx35cmx20cm)</p>	<p>瓶架</p>

五、整體完成圖：



肆、研究過程及方法

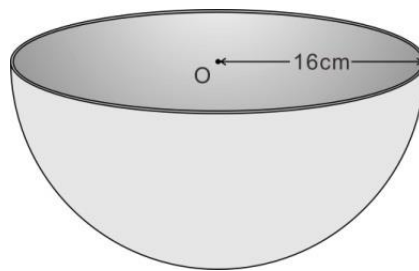
一、數學模型建立：

(一) 初步構想：

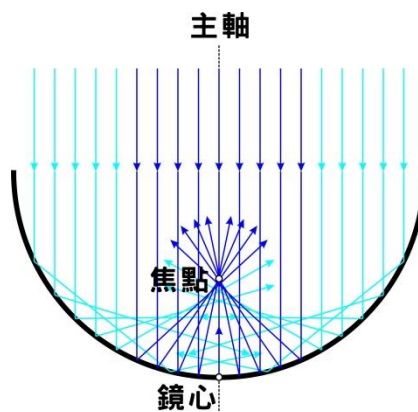
以凹面鏡中的球面鏡為基本架構，作一個以 O 為圓心，取半徑(R)為 16 公分的半球面，其理想焦點(f)會是距離鏡心 8 公分處($f = \frac{R}{2}$)，如圖一。

但是，球面鏡本身會有球面像差的限制。「在光學中，球面像差是發生在經過透鏡折射或面鏡反射的光線，接近中心與靠近邊緣的光線不能將影像聚在一個點上的現象。這望遠鏡和其他的光學儀器上都是一個缺點。」(上述段落摘自維基百科)，也就是說平行主軸入射的光，只有在靠近主軸時，光線才能會聚在接近焦點處($\frac{R}{2}$)，越遠離主軸時光線行經的路徑則是會偏向鏡心，如圖二。

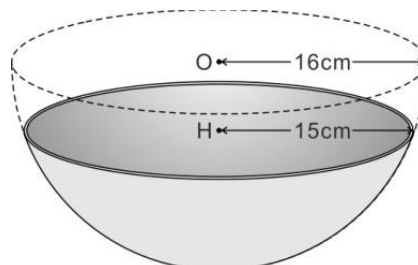
因此在設計上我們去除球面鏡上面的一部分，設定半徑(R')為 15 公分，減少球面像差的影響以及節省材料，如圖三。



圖一：半徑為 16 公分的半球面



圖二：球面像差



圖三：半徑為 15 公分的部分半球面

(二) $n \times m$ 面鏡的設計：

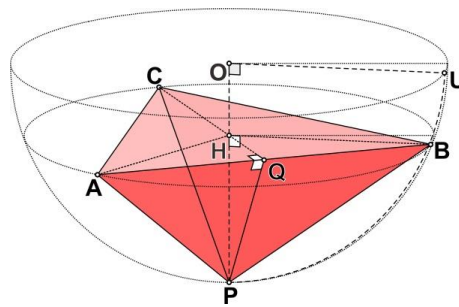
在圖三的架構下，我們逐步繪製反射面鏡，定義為 $n \times m$ 面鏡。 n 為俯視時，圓內接多邊形的邊數， m 為前視時，分割部分二分之一圓弧所得的線段數，並且定義橫向圓心角為 θ_n ，縱向圓心角為 ϕ_m 。

隨著 n 和 m 的值漸漸增加，分割面的數量也會漸增，愈來愈趨近於半球面。接著以 3×1 面鏡、 3×2 面鏡和 3×3 面鏡為例來說明。

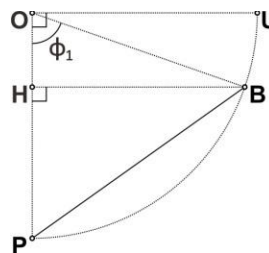
1. 3×1 面鏡($n=3, m=1$)：

在圖三中，在以 H 為圓心的大圓中繪製一個內接正三角形 ABC ， P 為最底部，則 $\triangle PAB$ 、 $\triangle PBC$ 、 $\triangle PAC$ 構成的型態定義為 3×1 面鏡（圖四），且 $\triangle PAB \cong \triangle PBC \cong \triangle PAC$ 。

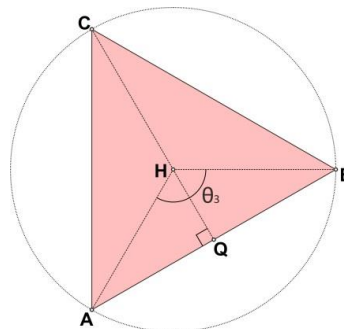
接著在圖四以通過圓心的縱剖面截取出的四分之一圓，其中， P 、 H 、 O 、 U 、 B 五個點位在同一平面上，即為圖五。圖六為俯視圖。



圖四：3x1 面鏡之立體圖



圖五：3x1 面鏡之四分之一圓



圖六：3x1 面鏡之俯視圖

為了要繪出 $\triangle PAB$ ，必須求得 \overline{AB} 和 \overline{PQ} ，以下為推導過程：

由圖五， \overline{OB} 、 \overline{HB} 為已知， $\overline{OB} = \overline{OU}$

$$\text{設 } \angle POB = \phi, \because \sin \phi = \frac{\overline{HB}}{\overline{OB}}, \therefore \phi = \sin^{-1} \left(\frac{\overline{HB}}{\overline{OB}} \right)$$

$$\phi_m = \frac{\phi}{m}, \text{ 當 } m = 1 \text{ 時, } \phi_m = \phi_1 = \frac{\phi}{1} = \phi$$

※一圓的為半徑(\mathcal{R})，其圓心角(ϕ)所對應的弦長(l)關係為： $l = 2\mathcal{R}\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$

$$\overline{PB} = 2\overline{OB} \sin\left(\frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$\theta_n = \frac{2\pi}{n}, \text{ 由圖六, 當 } n=3 \text{ 時, } \theta_n = \theta_3 = \frac{2\pi}{3}$$

$$\overline{AB} = 2\overline{HB} \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) = 2\overline{OB} \sin \phi_1 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

由圖四， $\overline{PQ} \perp \overline{BQ}$ ，

$$\overline{PQ} = \sqrt{\overline{PB}^2 - \overline{BQ}^2}$$

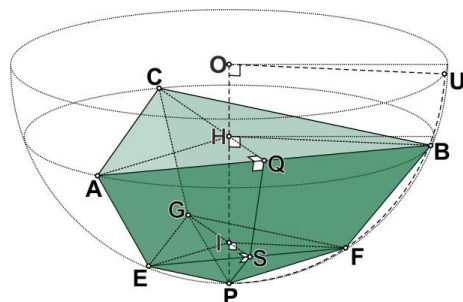
$$= \sqrt{\overline{PB}^2 - \left(\frac{1}{2}\overline{AB}\right)^2} = \sqrt{\left(2\overline{OB} \sin\left(\frac{\phi_1}{2}\right)\right)^2 - \left(\overline{OB} \sin \phi_1 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)^2}$$

$$= \overline{OB} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_1}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_1\right)^2} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

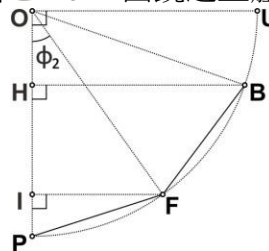
$$\text{又 } \angle APB = 2\angle BPQ = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\overline{BQ}}{\overline{BP}} \right) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

將①②藉由軟體的計算，得到所需要的長度，即可繪出 $\triangle PAB$ ，配合③可得 3x1 面鏡的展開圖，並將 n=4,5,6,8 代入可得其餘 nx1 系列展開圖。

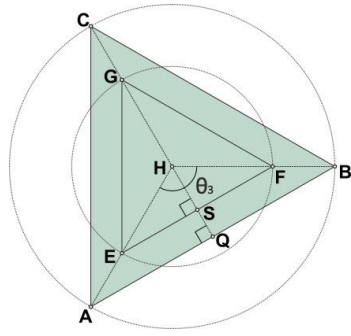
2. 3x2 面鏡(n=3, m=2)：



圖七：3x2 面鏡之立體圖

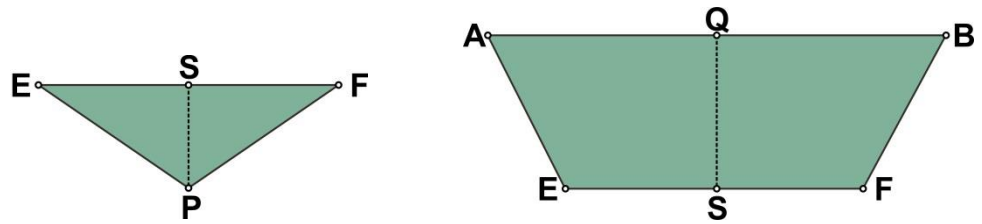


圖八：3x2 面鏡之四分之一圓



圖九：3x2 面鏡之俯視圖

我們的目標是 $\triangle PEF$ 和等腰梯形 $EFBA$ ，如下：



因此我們必須求出 \overline{AB} 、 \overline{EF} 、 \overline{PS} 及 \overline{SQ} ，以下為推導過程：

由①可得 \overline{AB} 。

$\phi_m = \frac{\phi}{m}$ ，由圖八，當 $m = 2$ 時， $\phi_m = \phi_2 = \frac{\phi}{2}$

$\theta_n = \frac{2\pi}{n}$ ，由圖九，當 $n=3$ 時， $\theta_n = \theta_3 = \frac{2\pi}{3}$

$\overline{EF} = 2\overline{IF} \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)$ ，其中 $\overline{IF} = \overline{OF} \sin \phi_2$ ，又 $\overline{OF} = \overline{OU} = \overline{OB}$

$\therefore \overline{EF} = 2\overline{OF} \sin \phi_2 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \dots\dots\dots ④$

由圖八， $\overline{PF} = \overline{FB} = 2\overline{OF} \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)$

$\overline{PS} = \sqrt{\overline{PF}^2 - \overline{FS}^2}$

$= \sqrt{\overline{PF}^2 - \left(\frac{1}{2}\overline{EF}\right)^2}$

$= \sqrt{\left(2\overline{OF} \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\overline{OF} \sin \phi_2 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)^2}$

$= \overline{OF} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_2\right)^2} \dots\dots\dots ⑤$

$\overline{SQ} = \sqrt{\overline{FB}^2 - \left(\frac{1}{2}(\overline{AB} - \overline{EF})\right)^2}$

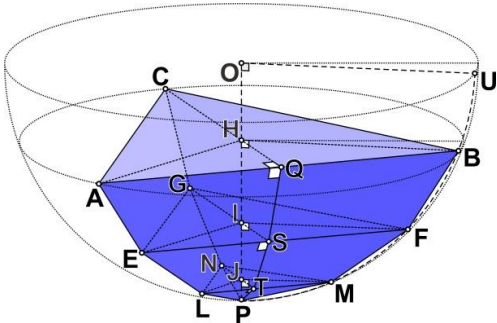
$$= \sqrt{\left(2\overline{OF} \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\left(2\overline{OB} \sin\phi_1 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) - 2\overline{OF} \sin\phi_2 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)\right)^2}$$

$$= \overline{OB} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin\phi_1 - \sin\phi_2)\right)^2} \dots\dots\dots ⑥$$

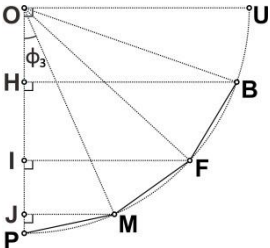
又 $\angle EPF = 2\angle SPF = 2 \sin^{-1}\left(\frac{\overline{SF}}{\overline{PF}}\right) \dots\dots\dots ⑦$

將①④⑤⑥利用軟體計算得到的值即可繪出△PEF 和等腰梯形 EFBA，配合⑦可得 3x2 面鏡的展開圖，並將 n=4,5,6,8 代入可得其餘 nx2 系列展開圖。

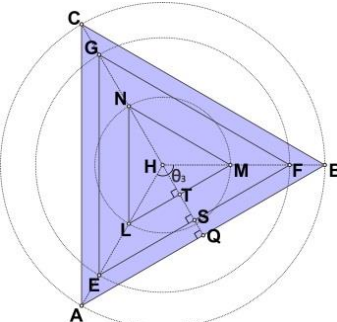
3. 3x3 面鏡(n=3, m=3)：



圖十：3x3 面鏡之立體圖

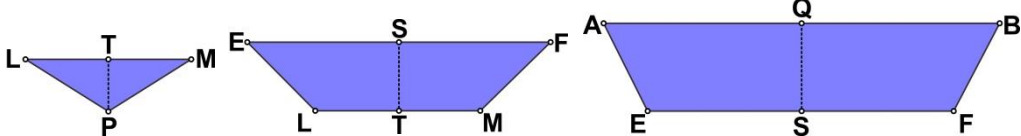


圖十一：3x3 面鏡之四分之一圓



圖十二：3x3 面鏡之俯視圖

我們的目標是△PLM、等腰梯形 EFML 和等腰梯形 ABFE，如下：



因此我們必須求出 \overline{AB} 、 \overline{EF} 、 \overline{LM} 、 \overline{PT} 、 \overline{TS} 及 \overline{SQ} ，以下為推導過程：

由①可得 \overline{AB} ，由④可得 \overline{EF} 。

$$\phi_m = \frac{\phi}{m}, \text{ 由圖十一, 當 } m=3 \text{ 時, } \phi_m = \phi_3 = \frac{\phi}{3}。$$

$$\theta_n = \frac{2\pi}{n}, \text{ 由圖十二, 當 } n=3 \text{ 時, } \theta_n = \theta_3 = \frac{2\pi}{3}$$

$$\overline{LM} = 2\overline{JM} \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right), \text{ 其中 } \overline{JM} = \overline{OM} \sin \phi_3, \text{ 又 } \overline{OM} = \overline{OU} = \overline{OB} = \overline{OF}$$

$$\therefore \overline{LM} = 2\overline{OM} \sin \phi_3 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \dots\dots\dots \textcircled{8}$$

$$\text{由圖十一, } \overline{PM} = \overline{MF} = \overline{FB} = 2\overline{OM} \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)$$

$$\begin{aligned} \overline{PT} &= \sqrt{\overline{PM}^2 - \overline{MT}^2} \\ &= \sqrt{\overline{PM}^2 - \left(\frac{1}{2}\overline{LM}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(2\overline{OM} \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\overline{OM} \sin \phi_3 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)^2} \\ &= \overline{OM} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_3\right)^2} \dots\dots\dots \textcircled{9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{TS} &= \sqrt{\overline{MF}^2 - \left(\frac{1}{2}(\overline{EF} - \overline{LM})\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(2\overline{OM} \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\left(2\overline{OF} \sin \phi_2 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) - 2\overline{OM} \sin \phi_3 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)\right)^2} \\ &= \overline{OM} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin \phi_2 - \sin \phi_3)\right)^2} \dots\dots\dots \textcircled{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{SQ} &= \sqrt{\overline{FB}^2 - \left(\frac{1}{2}(\overline{AB} - \overline{EF})\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(2\overline{OM} \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\left(2\overline{OB} \sin \phi_1 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) - 2\overline{OF} \sin \phi_2 \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)\right)\right)^2} \\ &= \overline{OM} \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)\right)^2} \dots\dots\dots \textcircled{11} \end{aligned}$$

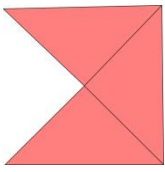
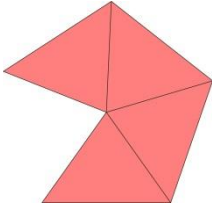
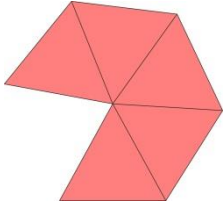
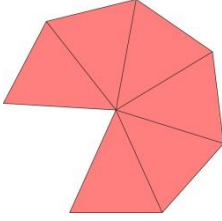
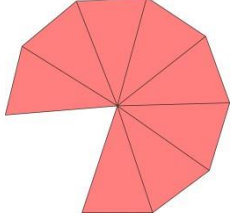
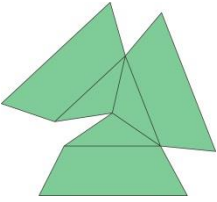
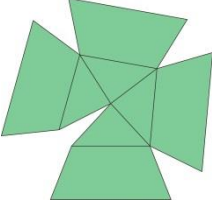
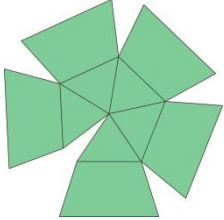
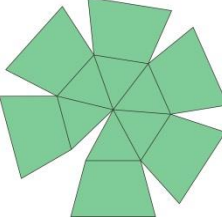
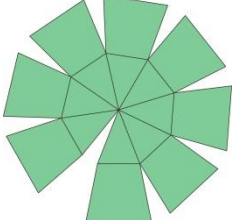
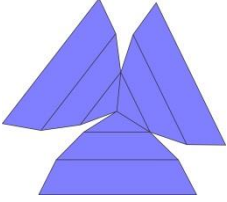
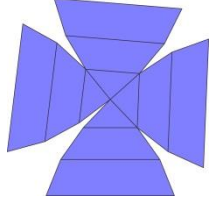
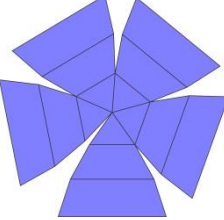
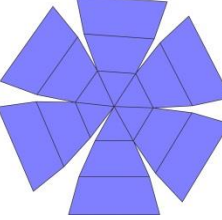
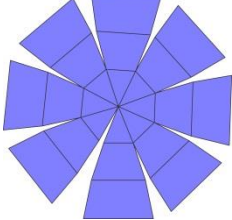
$$\text{又 } \angle LPM = 2\angle TPM = 2 \sin^{-1}\left(\frac{\overline{TM}}{\overline{PM}}\right) \dots\dots\dots \textcircled{12}$$

將①④⑧⑨⑩⑪利用軟體計算得到的值即可繪出△PLM、等腰梯形 EFML 和等腰梯形 ABFE，配合⑫可得 3x3 面鏡的展開圖，並將 n=4,5,6,8 代入可得其餘 nx3 系列展開圖。

(三) 由上面的推導過程，我們可歸納出其中的關係：

n=3	m=1	\overline{AB}	$2R \sin \phi_1 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{PQ}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_1}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_1\right)^2}$
n=3	m=1,2	\overline{AB}	$2R \sin \phi_1 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{EF}	$2R \sin \phi_2 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{PS}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_2\right)^2}$
		\overline{SQ}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_2}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)\right)^2}$
n=3	m=1,2,3	\overline{AB}	$2R \sin \phi_1 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{EF}	$2R \sin \phi_2 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{LM}	$2R \sin \phi_3 \sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right)$
		\overline{PT}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) \sin \phi_3\right)^2}$
		\overline{TS}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin \phi_2 - \sin \phi_3)\right)^2}$
		\overline{SQ}	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_3}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_3}{2}\right) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)\right)^2}$
n=n	m=1,2,⋯,m	$\overline{AB_1}$ $\overline{AB_2}$ $\overline{AB_3}$ ⋯ $\overline{AB_m}$	$2R \sin \phi_1 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$ $2R \sin \phi_2 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$ $2R \sin \phi_3 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$ ⋯ $2R \sin \phi_m \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$
		$\overline{PQ_1}$ $\overline{PQ_2}$ $\overline{PQ_3}$ ⋯ $\overline{PQ_m}$	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) \sin \phi_m\right)^2}$ $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_{(m-1)} - \sin \phi_m)\right)^2}$ $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_{(m-2)} - \sin \phi_{(m-1)})\right)^2}$ ⋯ $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)\right)^2}$

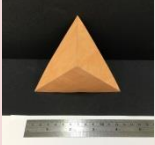
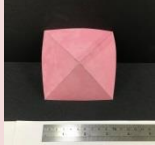
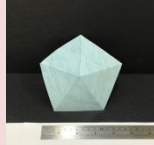
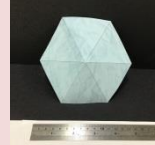
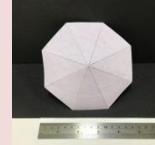
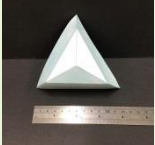

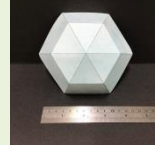
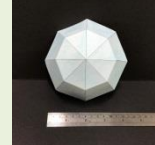
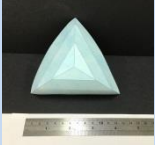

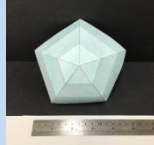


(四) 經過計算及繪圖後所得到的展開圖如下：

				
3x1	4x1	5x1	6x1	8x1
				
3x2	4x2	5x2	6x2	8x2
				
3x3	4x3	5x3	6x3	8x3

二、製作紙模型及反射面鏡：

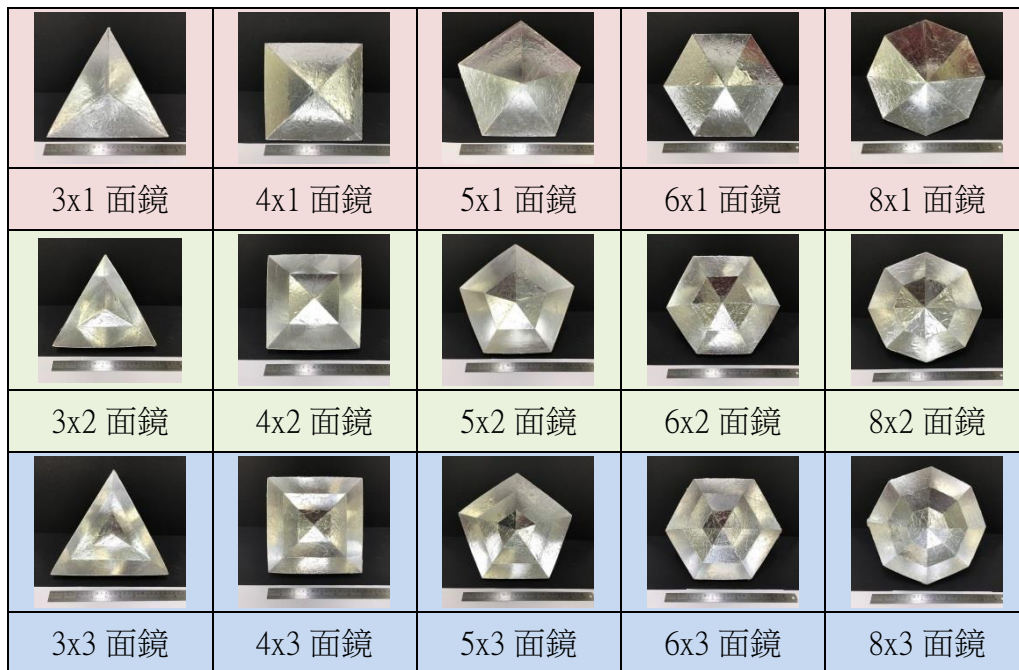
(一) 紙模型：

為了避免可能因理論模型計算的錯誤，我們在繪製了展開圖之後，先以等比例縮小 50%，然後印在有色卡紙上，並以膠水黏合，得到紙模型，如下：

				
3x1 面鏡	4x1 面鏡	5x1 面鏡	6x1 面鏡	8x1 面鏡
				
3x2 面鏡	4x2 面鏡	5x2 面鏡	6x2 面鏡	8x2 面鏡
				
3x3 面鏡	4x3 面鏡	5x3 面鏡	6x3 面鏡	8x3 面鏡

(二) 反射面鏡：

確定型態無誤之後，利用有色紙板在雷射切割機上切出展開圖，在白色那個面黏上鋁箔紙，盡量要求平整，然後在接合處貼上紙膠帶，便完成反射面鏡，如下：



三、實驗階段：

(一) 校正：

1. 把反射面鏡放進木箱，中間預先置入了用完的膠帶紙捲當作底座，並將面鏡的對稱軸對準木箱的對角線。
2. 將裝有金屬塊的玻璃瓶（先用帶有掛勾的橡皮塞塞好）掛上圓環，利用升降裝置使其降至最低並碰觸到面鏡，再次微調使玻璃瓶位於面鏡中心且面鏡保持水平狀態。
3. 慢慢升高瓶子的高度，利用已經量測好的 8 公分木棒，放置在瓶子的底部中心並碰觸到面鏡鏡心，來確保瓶子的底部距離鏡心為 8 公分（預設的焦距 f ），且保持在一鉛垂線上。

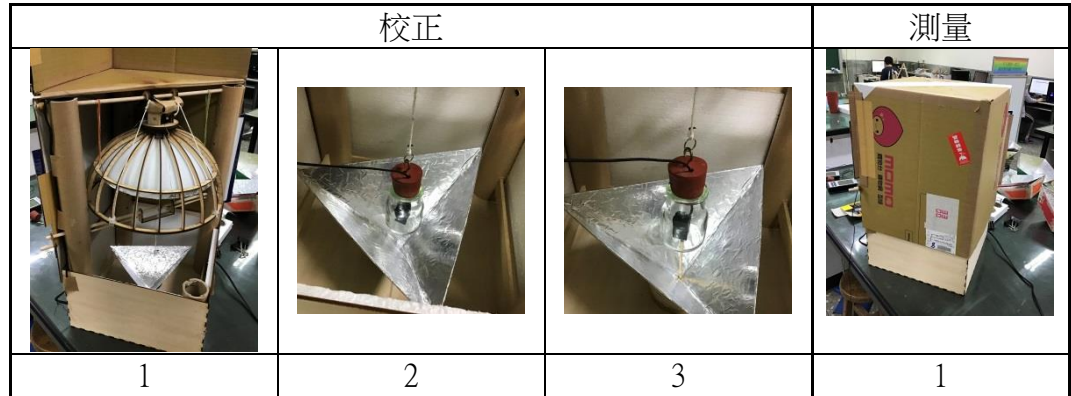
(二) 預熱：

接著將玻璃瓶取出，將上蓋關上，打開電源使燈泡開始發熱，持續約 2 分鐘來使整個裝置預熱，目的是為了減少一開始因突然加熱導致溫度變化太快的誤差，之後打開上蓋便可開始量測。

(三) 測量：

1. 將探針溫度計穿過橡皮塞的圓孔並插入待測物（編號 1：正方體鋁塊）的鑽孔，用橡皮塞塞住玻璃瓶後掛上圓環，蓋上上蓋並用黑色長尾夾夾住兩側使其盡量密閉。
2. 打開電源使燈泡開始發熱，並將電池裝入探針溫度計。6 秒後會顯示第一個讀數，將「探針溫度」及「室內溫度」2 個讀數記錄下來。之後每隔 30 秒記錄一次，持續 7 分鐘，總共會得到 15 筆讀數（有些測量因為超過儀器的檢測範圍，所以紀錄會少於 15 筆）。

3. 關掉電源，取出探針溫度計的電池，接著拿掉夾子將上蓋打開。取出玻璃瓶置於水盆降溫，然後換編號 2 的待測物，重複相同的步驟。
 4. 待編號 1~8 的待測物皆測量完畢，便更換下一個反射面鏡。
- (四) 針對三組 (nx1、nx2、nx3) 共 15 個反射面鏡，重複步驟(一)~(三)，並且每個待測物皆至少測量 3 次以上，選取 3 次測量值較接近者作分析。



四、資料整理：

每個待測物的量測資料依序為 $T_1、T_2、\dots、T_{15}$ ，接著兩兩相減得到其每隔 30 秒的溫度變化 ΔT ($\Delta T = T_n - T_{n-1}$)，並將 ΔT 加以平均得到 $\overline{\Delta T}_1、\overline{\Delta T}_2$ 及 $\overline{\Delta T}_3$ 。最後再將 3 者的平均值乘以 2，便得到該面鏡該待測物每分鐘的溫度變化 $\overline{\Delta T}_{n \times m \text{面鏡, 編號}}$ ，如表二。

表二：測量紀錄表

面鏡：3x1 編號：1 待測物：正方體鋁塊						
順序	第一次測量		第二次測量		第三次測量	
	T	ΔT	T	ΔT	T	ΔT
T ₁	23.5		23.1		24.1	
T ₂	24.6	1.1	24.1	1.0	25.1	1.0
T ₃	25.5	0.9	25.0	0.9	26.0	0.9
T ₄	26.5	1.0	25.8	0.8	26.9	0.9
T ₅	27.5	1.0	26.7	0.9	27.8	0.9
T ₆	28.5	1.0	27.5	0.8	28.7	0.9
T ₇	29.5	1.0	28.5	1.0	29.5	0.8
T ₈	30.6	1.1	29.3	0.8	30.4	0.9
T ₉	31.8	1.2	30.3	1.0	31.3	0.9
T ₁₀	32.9	1.1	31.3	1.0	32.3	1.0
T ₁₁	33.9	1.0	32.3	1.0	33.2	0.9
T ₁₂	35.1	1.2	33.3	1.0	34.1	0.9
T ₁₃	36.1	1.0	34.3	1.0	35.2	1.1
T ₁₄	37.2	1.1	35.4	1.1	36.2	1.0
T ₁₅	38.4	1.2	36.4	1.0	37.2	1.0
$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta T}_1$	1.06	$\overline{\Delta T}_2$	0.95	$\overline{\Delta T}_3$	0.94
$\overline{\Delta T}_{n \times m \text{面鏡, 編號}}$	$\overline{\Delta T}_{3 \times 1 \text{面鏡, 1}} = 2 \times \frac{(1.06+0.95+0.94)}{3} = 1.97(^{\circ}\text{C})$					

伍、研究成果

針對每一個反射面鏡對 8 個待測物的測量結果依序如下：

一、nx1 系列：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
待測物	正方體鋁塊	正方體鋁塊 (包黑膠帶)	正方體銅塊	正方體銅塊 (包黑膠帶)	長方體鋁塊	長方體鋁塊 (包黑膠帶)	長方體銅塊	長方體銅塊 (包黑膠帶)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 1}$ 面鏡	1.97	3.40	2.01	3.58	1.83	3.49	1.63	3.07
$\overline{\Delta T}_{4 \times 1}$ 面鏡	2.14	4.06	2.23	3.84	2.11	3.83	1.72	3.39
$\overline{\Delta T}_{5 \times 1}$ 面鏡	2.24	4.30	2.25	3.88	2.13	4.15	1.77	3.46
$\overline{\Delta T}_{6 \times 1}$ 面鏡	2.96	4.81	2.71	4.37	2.54	4.78	2.10	4.13
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	2.98	5.28	2.90	4.81	2.68	5.21	2.36	4.43

二、nx2 系列：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
待測物	正方體鋁塊	正方體鋁塊 (包黑膠帶)	正方體銅塊	正方體銅塊 (包黑膠帶)	長方體鋁塊	長方體鋁塊 (包黑膠帶)	長方體銅塊	長方體銅塊 (包黑膠帶)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 2}$ 面鏡	2.02	3.26	1.77	2.88	1.62	2.94	1.41	2.51
$\overline{\Delta T}_{4 \times 2}$ 面鏡	1.97	3.72	2.08	3.51	1.91	3.43	1.71	3.03
$\overline{\Delta T}_{5 \times 2}$ 面鏡	2.59	4.51	2.46	4.12	2.20	4.25	1.99	3.56
$\overline{\Delta T}_{6 \times 2}$ 面鏡	2.81	4.80	2.50	4.47	2.29	4.57	2.10	3.93
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	3.04	5.32	2.72	4.73	2.53	4.84	2.28	4.10

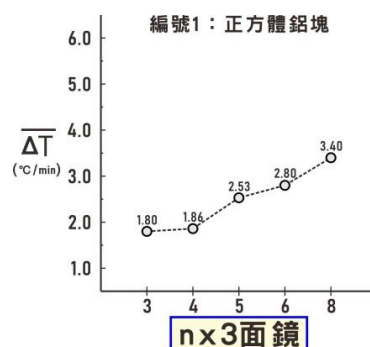
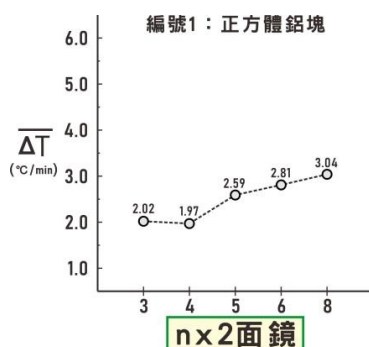
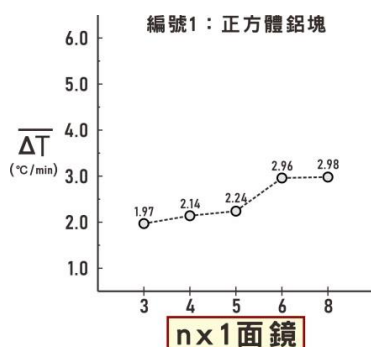
三、nx3 系列：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
待測物	正方體鋁塊	正方體鋁塊 (包黑膠帶)	正方體銅塊	正方體銅塊 (包黑膠帶)	長方體鋁塊	長方體鋁塊 (包黑膠帶)	長方體銅塊	長方體銅塊 (包黑膠帶)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 3}$ 面鏡	1.80	2.99	1.86	3.03	1.71	2.93	1.50	2.62
$\overline{\Delta T}_{4 \times 3}$ 面鏡	1.86	3.09	1.82	2.97	1.63	3.20	1.53	2.67
$\overline{\Delta T}_{5 \times 3}$ 面鏡	2.53	3.97	2.25	3.70	1.81	3.65	1.80	3.00
$\overline{\Delta T}_{6 \times 3}$ 面鏡	2.80	4.66	2.60	4.33	2.44	4.14	2.08	3.63
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	3.40	5.87	3.22	5.10	2.77	5.48	2.31	4.50

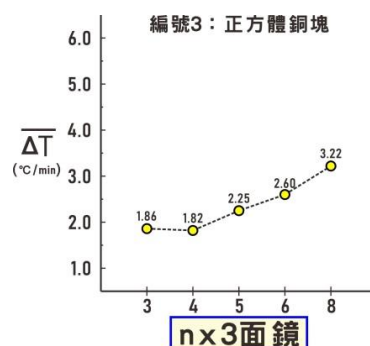
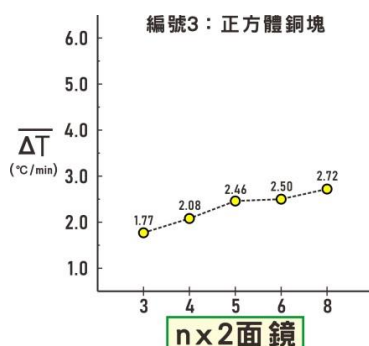
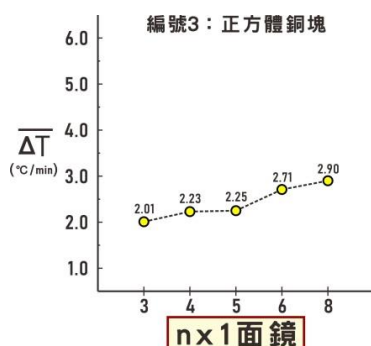
陸、討論

一、探討「同種待測物對不同反射面鏡，其溫度變化的相關性」：

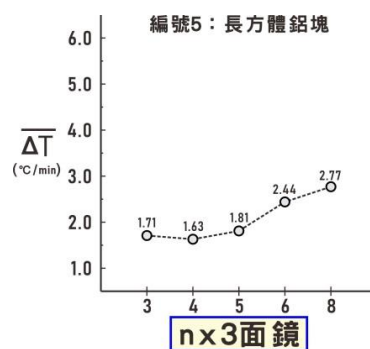
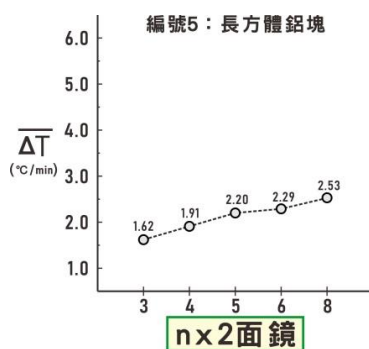
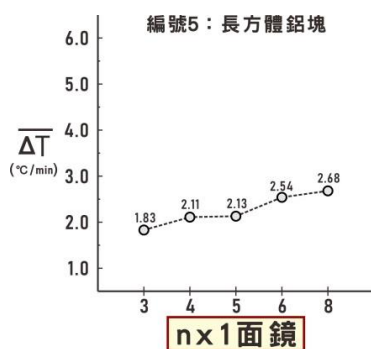
(一) 編號 1：正方體鋁塊



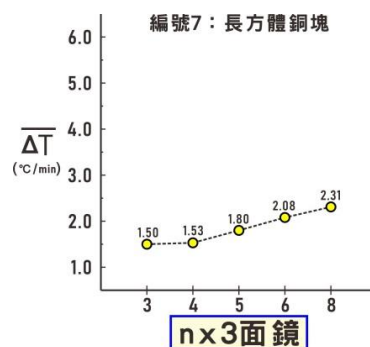
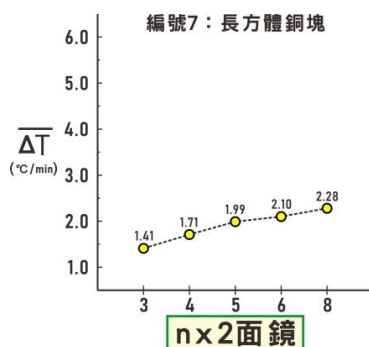
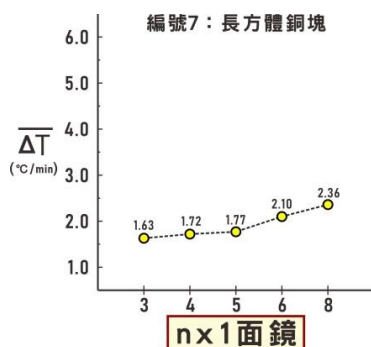
(二) 編號 3：正方體銅塊



(三) 編號 5：長方體鋁塊



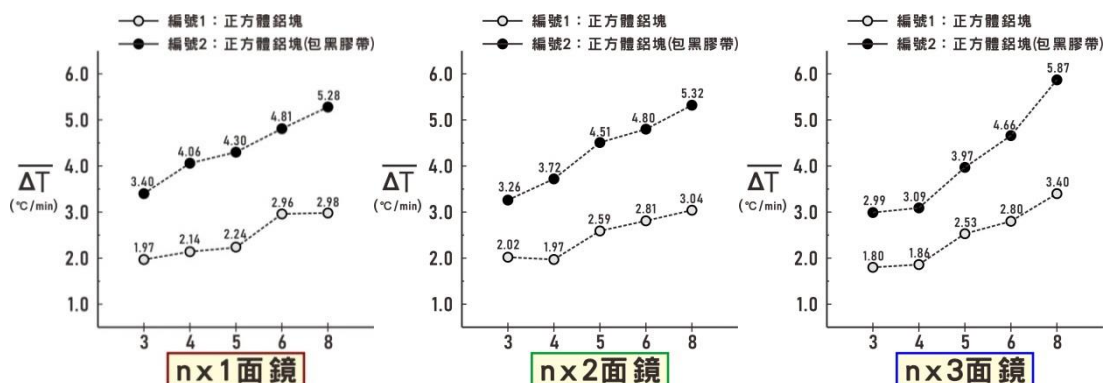
(四) 編號 7：長方體銅塊



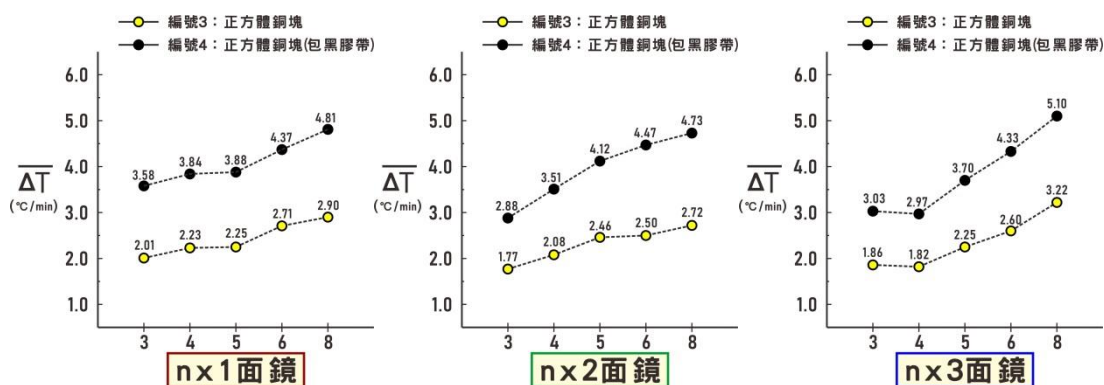
(五) 討論：編號 1、3、5、7 的待測物，對 3 個系列的反射面鏡，其 $\overline{\Delta T}$ 隨著 n 有上升的趨勢。

二、探討「質量相同的同種金屬，其『包黑膠帶的有無』，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性：

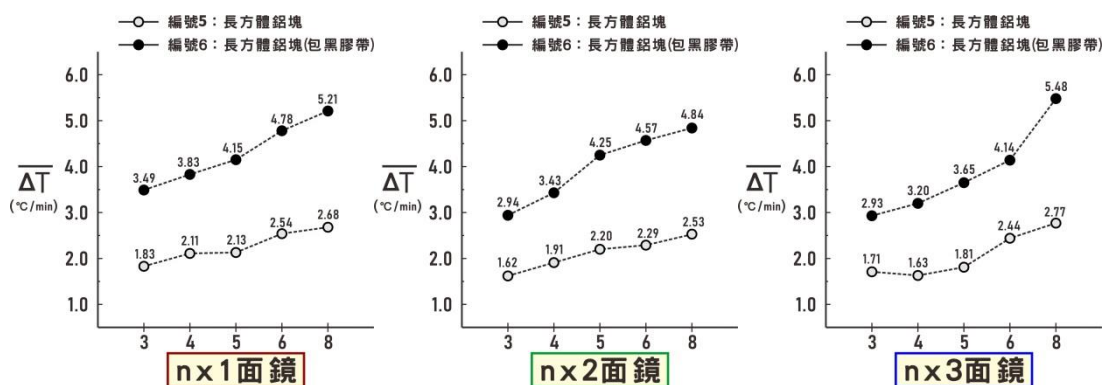
(一) 正方體鋁塊：編號 1 和 2



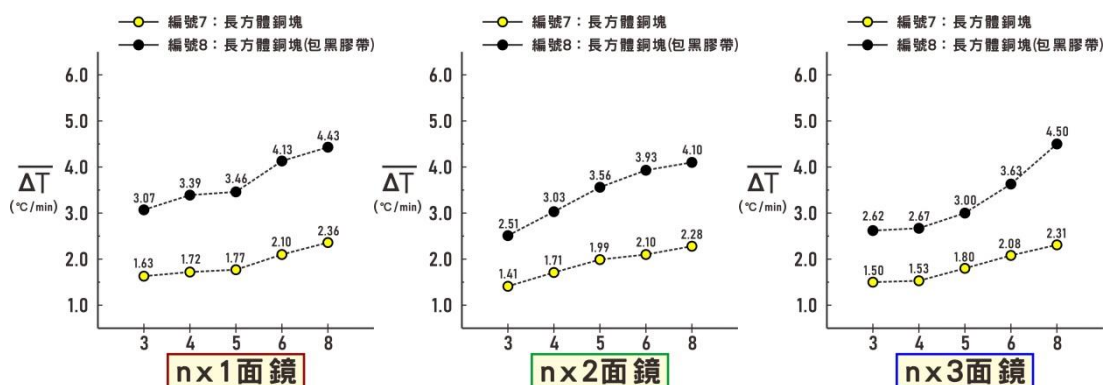
(二) 正方體銅塊：編號 3 和 4



(三) 長方體鋁塊：編號 5 和 6



(四) 長方體銅塊：編號 7 和 8



(五) 討論：

我們由上可發現質量相同的同種金屬，有包黑膠帶其 $\overline{\Delta T}$ 要比沒有包黑膠帶的要來得高，我們將其差值表列如下：

nx1 系列								
待測物	正方體鋁塊		正方體銅塊		長方體鋁塊		長方體銅塊	
編號	1(無)	2(有)	3(無)	4(有)	5(無)	6(有)	7(無)	8(有)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 1}$ 面鏡	1.43		1.57		1.66		1.44	
$\overline{\Delta T}_{4 \times 1}$ 面鏡	1.92		1.61		1.72		1.67	
$\overline{\Delta T}_{5 \times 1}$ 面鏡	2.06		1.63		2.02		1.69	
$\overline{\Delta T}_{6 \times 1}$ 面鏡	1.85		1.66		2.24		2.03	
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	2.30		1.91		2.53		2.07	

nx2 系列								
待測物	正方體鋁塊		正方體銅塊		長方體鋁塊		長方體銅塊	
編號	1(無)	2(有)	3(無)	4(有)	5(無)	6(有)	7(無)	8(有)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 2}$ 面鏡	1.24		1.11		1.32		1.10	
$\overline{\Delta T}_{4 \times 2}$ 面鏡	1.75		1.43		1.52		1.32	
$\overline{\Delta T}_{5 \times 2}$ 面鏡	1.92		1.66		2.05		1.57	
$\overline{\Delta T}_{6 \times 2}$ 面鏡	1.99		1.97		2.28		1.83	
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	2.28		2.01		2.31		1.82	

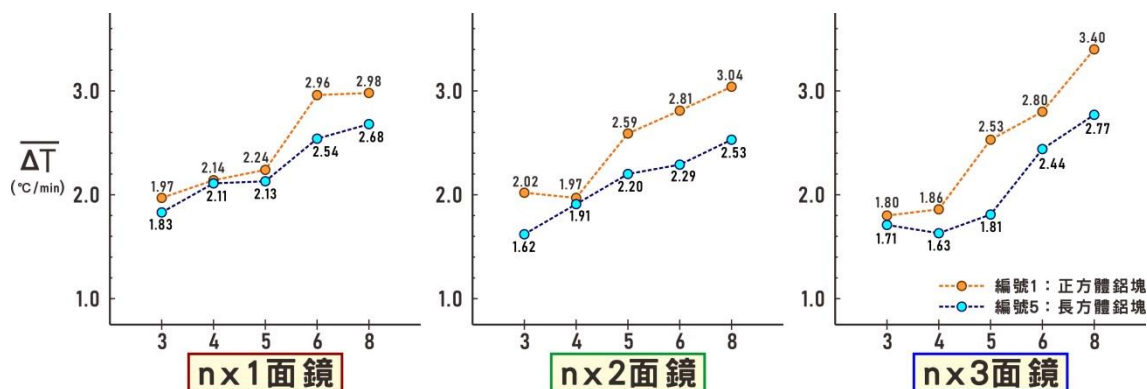
nx3 系列								
待測物	正方體鋁塊		正方體銅塊		長方體鋁塊		長方體銅塊	
編號	1(無)	2(有)	3(無)	4(有)	5(無)	6(有)	7(無)	8(有)
$\overline{\Delta T}_{3 \times 3}$ 面鏡	1.19		1.17		1.22		1.12	
$\overline{\Delta T}_{4 \times 3}$ 面鏡	1.23		1.15		1.57		1.14	
$\overline{\Delta T}_{5 \times 3}$ 面鏡	1.44		1.45		1.84		1.20	
$\overline{\Delta T}_{6 \times 3}$ 面鏡	1.86		1.73		1.70		1.55	
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	2.47		1.88		2.71		2.19	

整體而言， $\overline{\Delta T}$ 差值的範圍介於 1.10~2.71(°C/min)，平均值為 1.72(°C/min)。

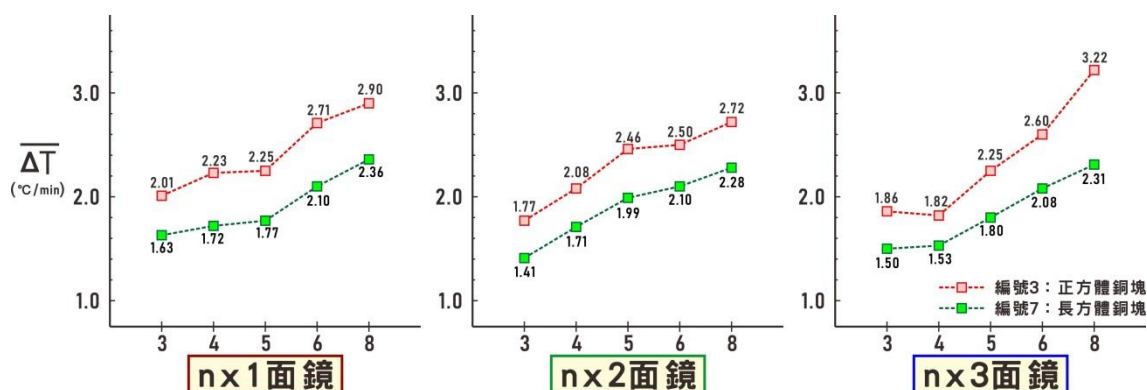
三、探討「質量不同的同種金屬，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性：

(一) $\overline{\Delta T}$ 和不同反射面鏡的關係：

1. 鋁塊：編號 1 和編號 5



2. 銅塊：編號 3 和編號 7



3. 討論：

根據「 $H = MS\Delta T$ 」，相同面鏡及相同時間視為 H 相同，同種金屬視為 S 相同，此時 M 和 ΔT 會有反比關係。由此我們只能大致上得到「同種面鏡同種金屬在相同時間下，質量較大者，其 $\overline{\Delta T}$ 則會較小」的結論。

(二) K 和不同反射面鏡的關係：

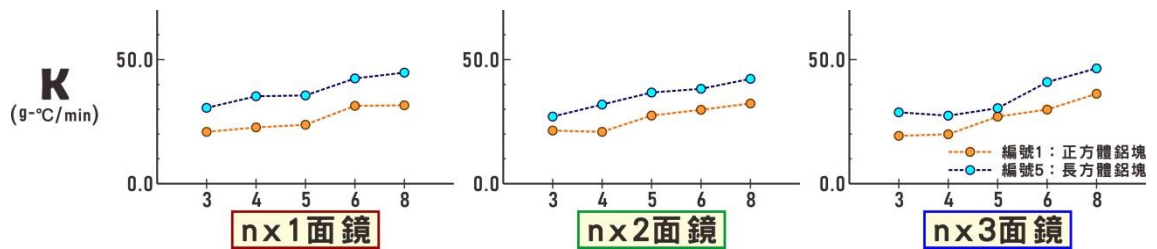
我們將 $M \times \Delta T$ 定義為 K ，則 K 應為一定值，將計算後的結果表列如下，並繪製成比較圖。

表三：K值

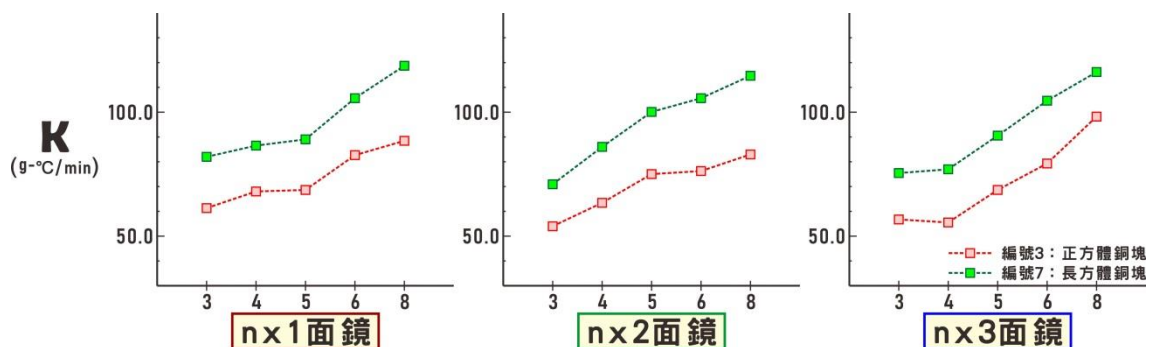
	編號 1：正方體鋁塊 $M_1=10.6(g)$ K_1		編號 5：長方體鋁塊 $M_5=16.7(g)$ K_5		編號 3：正方體銅塊 $M_3=30.5(g)$ K_3		編號 7：長方體銅塊 $M_7=50.3(g)$ K_7	
$\overline{\Delta T}_{3 \times 1}$ 面鏡	1.97	20.88	1.83	30.56	2.01	61.31	1.63	81.99
$\overline{\Delta T}_{4 \times 1}$ 面鏡	2.14	22.68	2.11	35.24	2.23	68.02	1.72	86.52
$\overline{\Delta T}_{5 \times 1}$ 面鏡	2.24	23.74	2.13	35.57	2.25	68.63	1.77	89.03
$\overline{\Delta T}_{6 \times 1}$ 面鏡	2.96	31.38	2.54	42.42	2.71	82.66	2.10	105.63
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	2.98	31.59	2.68	44.76	2.90	88.45	2.36	118.71
$\overline{\Delta T}_{3 \times 2}$ 面鏡	2.02	21.41	1.62	27.05	1.77	53.99	1.41	70.92

$\overline{\Delta T}_{4 \times 2}$ 面鏡	1.97	20.88	1.91	31.90	2.08	63.44	1.71	86.01
$\overline{\Delta T}_{5 \times 2}$ 面鏡	2.59	27.45	2.20	36.74	2.46	75.03	1.99	100.10
$\overline{\Delta T}_{6 \times 2}$ 面鏡	2.81	29.79	2.29	38.24	2.50	76.25	2.10	105.63
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	3.04	32.22	2.53	42.25	2.72	82.96	2.28	114.68
$\overline{\Delta T}_{3 \times 3}$ 面鏡	1.80	19.08	1.71	28.56	1.86	56.73	1.50	75.45
$\overline{\Delta T}_{4 \times 3}$ 面鏡	1.86	19.72	1.63	27.22	1.82	55.51	1.53	76.96
$\overline{\Delta T}_{5 \times 3}$ 面鏡	2.53	26.82	1.81	30.23	2.25	68.63	1.80	90.54
$\overline{\Delta T}_{6 \times 3}$ 面鏡	2.80	29.68	2.44	40.75	2.60	79.30	2.08	104.62
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	3.40	36.04	2.77	46.26	3.22	98.21	2.31	116.19

1. 鋁塊：編號 1 和 5



2. 銅塊：編號 3 和 7



依據上述，同種面鏡同種金屬在相同時間，其 $M \times \Delta T$ ，即 K ，應為一定值，即「 $K_1 \cong K_5$ 」，「 $K_3 \cong K_7$ 」，但由上表所得的結果，很明顯不符合預期。

(三) P 和不同反射面鏡的關係：

我們仔細思考後，猜想金屬塊所接收到的為輻射熱，會不會和「受光面積」有什麼相關？

因此，我們將金屬塊受光的表面積定義為 A_m 受遮蔽，將 K 除以 A_m 的值定義為 P ，即：

$$P = \frac{K}{A_m}$$

將計算後的結果表列如下：

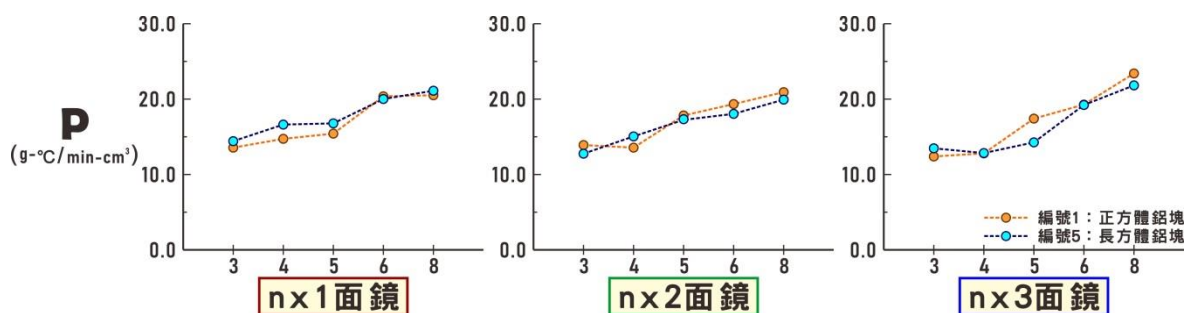
表四：P值（鋁塊）

	編號 1：正方體鋁塊			編號 5：長方體鋁塊		
	$M_1=10.6(\text{g})$ $A_m=1.54(\text{cm}^3)$	K_1	P_1	$M_5=16.7(\text{g})$ $A_m=2.12(\text{cm}^3)$	K_5	P_5
$\overline{\Delta T}_{3 \times 1}$ 面鏡	1.97	20.88	13.56	1.83	30.56	14.42
$\overline{\Delta T}_{4 \times 1}$ 面鏡	2.14	22.68	14.73	2.11	35.24	16.62
$\overline{\Delta T}_{5 \times 1}$ 面鏡	2.24	23.74	15.42	2.13	35.57	16.78
$\overline{\Delta T}_{6 \times 1}$ 面鏡	2.96	31.38	20.37	2.54	42.42	20.01
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	2.98	31.59	20.51	2.68	44.76	21.11
$\overline{\Delta T}_{3 \times 2}$ 面鏡	2.02	21.41	13.90	1.62	27.05	12.76
$\overline{\Delta T}_{4 \times 2}$ 面鏡	1.97	20.88	13.56	1.91	31.90	15.05
$\overline{\Delta T}_{5 \times 2}$ 面鏡	2.59	27.45	17.83	2.20	36.74	17.33
$\overline{\Delta T}_{6 \times 2}$ 面鏡	2.81	29.79	19.34	2.29	38.24	18.04
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	3.04	32.22	20.92	2.53	42.25	19.93
$\overline{\Delta T}_{3 \times 3}$ 面鏡	1.80	19.08	12.39	1.71	28.56	13.47
$\overline{\Delta T}_{4 \times 3}$ 面鏡	1.86	19.72	12.80	1.63	27.22	12.84
$\overline{\Delta T}_{5 \times 3}$ 面鏡	2.53	26.82	17.41	1.81	30.23	14.26
$\overline{\Delta T}_{6 \times 3}$ 面鏡	2.80	29.68	19.27	2.44	40.75	19.22
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	3.40	36.04	23.40	2.77	46.26	21.82

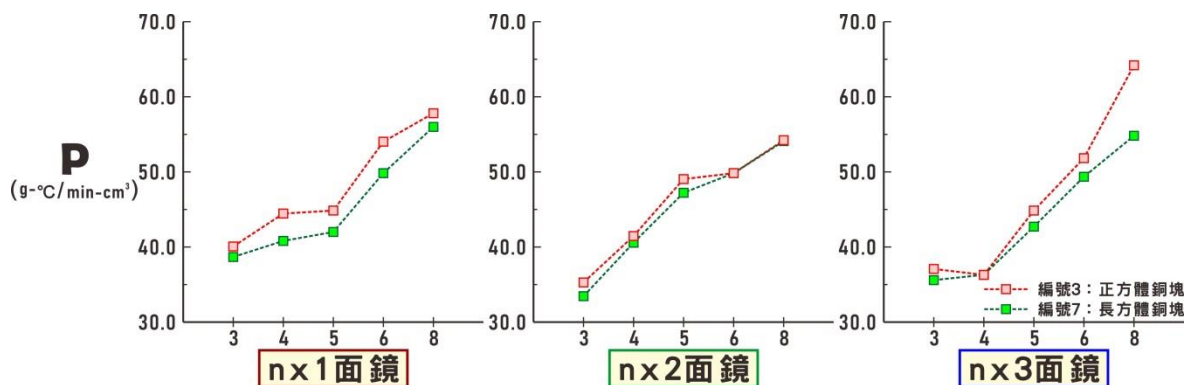
表五：P值（銅塊）

	編號 3：正方體銅塊			編號 7：長方體銅塊		
	$M_3=30.5(\text{g})$ $A_m=1.53(\text{cm}^3)$	K_3	P_3	$M_7=50.3(\text{g})$ $A_m=2.12(\text{cm}^3)$	K_7	P_7
$\overline{\Delta T}_{3 \times 1}$ 面鏡	2.01	61.31	40.07	1.63	81.99	38.67
$\overline{\Delta T}_{4 \times 1}$ 面鏡	2.23	68.02	44.45	1.72	86.52	40.81
$\overline{\Delta T}_{5 \times 1}$ 面鏡	2.25	68.63	44.85	1.77	89.03	42.00
$\overline{\Delta T}_{6 \times 1}$ 面鏡	2.71	82.66	54.02	2.10	105.63	49.83
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	2.90	88.45	57.81	2.36	118.71	55.99
$\overline{\Delta T}_{3 \times 2}$ 面鏡	1.77	53.99	35.28	1.41	70.92	33.45
$\overline{\Delta T}_{4 \times 2}$ 面鏡	2.08	63.44	41.46	1.71	86.01	40.57
$\overline{\Delta T}_{5 \times 2}$ 面鏡	2.46	75.03	49.04	1.99	100.10	47.22
$\overline{\Delta T}_{6 \times 2}$ 面鏡	2.50	76.25	49.84	2.10	105.63	49.83
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	2.72	82.96	54.22	2.28	114.68	54.10
$\overline{\Delta T}_{3 \times 3}$ 面鏡	1.86	56.73	37.08	1.50	75.45	35.59
$\overline{\Delta T}_{4 \times 3}$ 面鏡	1.82	55.51	36.28	1.53	76.96	36.30
$\overline{\Delta T}_{5 \times 3}$ 面鏡	2.25	68.63	44.85	1.80	90.54	42.71
$\overline{\Delta T}_{6 \times 3}$ 面鏡	2.60	79.30	51.83	2.08	104.62	49.35
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	3.22	98.21	64.19	2.31	116.19	54.81

1. 鋁塊：編號 1 和 5



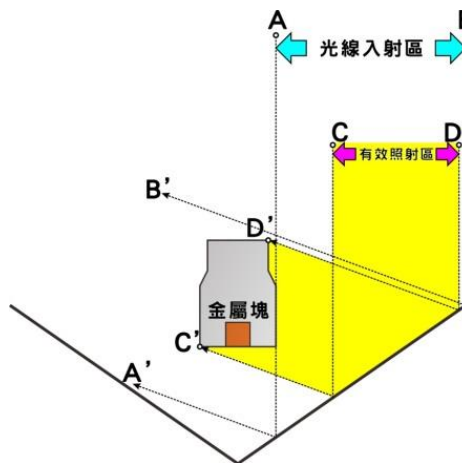
2. 銅塊：編號 3 和 7



3. P 值的圖呈現出較 K 值有更高的相關性，表示「受光面積」也是影響物體溫度變化的要素之一。

四、探討「同種待測物和鏡心之間的距離，對不同反射面鏡」，其溫度變化的相關性：

(一) 我們一開始的想法是「隨著面鏡反射面數的增加，其溫度應該會隨之有一定比例的升高」，但從討論一和二的圖中可看出沒有呈現這樣的趨勢。我們幾經思考之後，試著畫出光線行經的路徑圖（如圖十三），發現當改變待測物距離鏡心的位置時，照射到待測物的光線總量會改變，我們稱之為「有效照射區」。因此，溫度的變化會不會與「有效照射區」有關呢？



圖十三：光線行經的路徑圖

(二) 設計實驗：

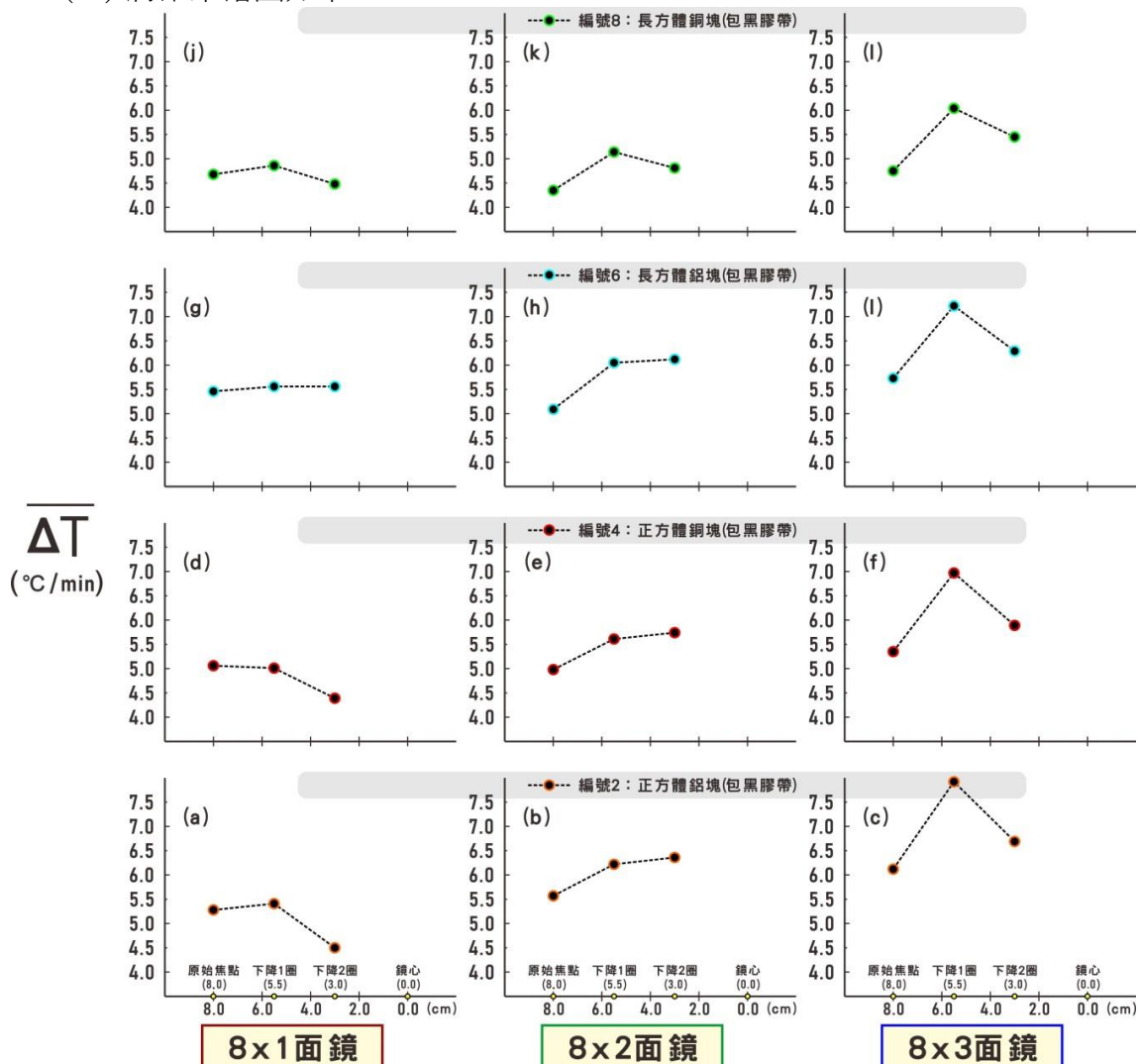
我們使用了 8x1、8x2 及 8x3 面鏡，來測量有包黑膠帶的待測物(編號 2、4、6、8)，從原始焦點(距離鏡心 8 公分處)轉動升降把手，依序下降一圈及兩圈(圓棍的半徑為 4mm)，測量其溫度變化並計算其差值。

(三) 結果：

編號	2			4			6			8		
待測物	正方體鋁塊 (包黑膠帶)			正方體銅塊 (包黑膠帶)			長方體鋁塊 (包黑膠帶)			長方體銅塊 (包黑膠帶)		
測量	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$\overline{\Delta T}_{8 \times 1}$ 面鏡	5.28	5.41	4.50	4.81	4.76	4.14	5.21	5.31	5.31	4.43	4.61	4.23
$\overline{\Delta T}_{8 \times 2}$ 面鏡	5.32	5.97	6.11	4.73	5.36	5.49	4.84	5.80	5.87	4.10	4.89	4.56
$\overline{\Delta T}_{8 \times 3}$ 面鏡	5.87	7.67	6.44	5.10	6.72	5.64	5.48	6.97	6.04	4.50	5.79	5.20

(I : 原始焦點—距鏡心 8cm ; II : 下降 1 圈—距鏡心 5.5cm ; III : 下降 2 圈—距鏡心 3.0cm)

(四) 將結果繪圖如下：

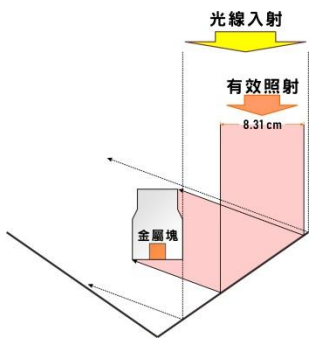
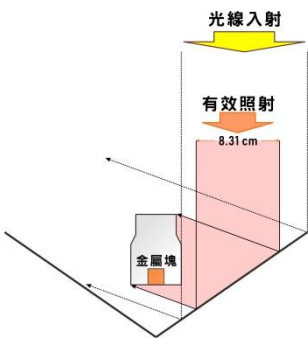
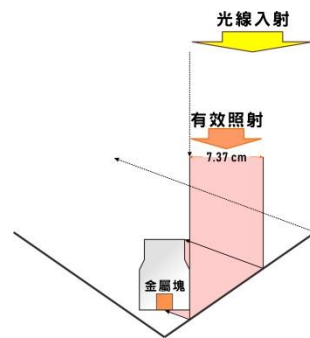
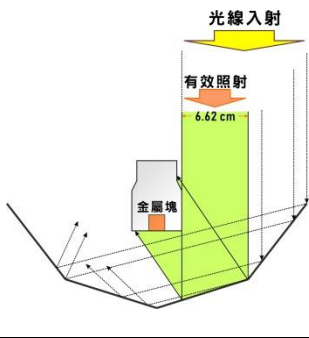
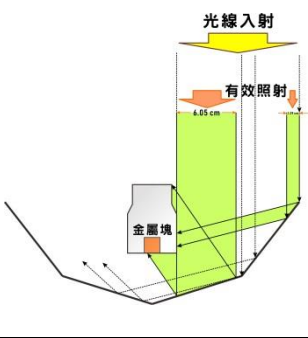
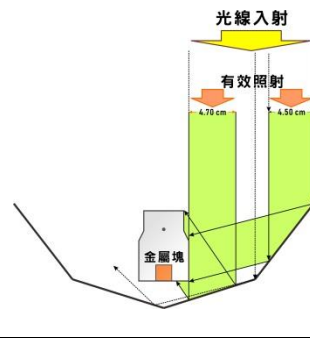
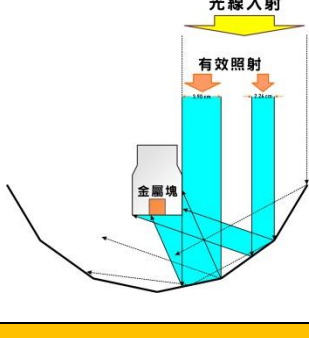
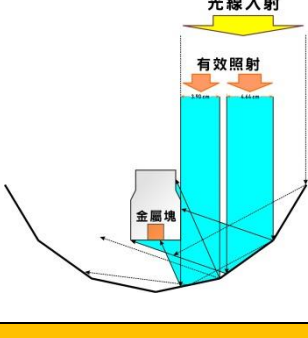
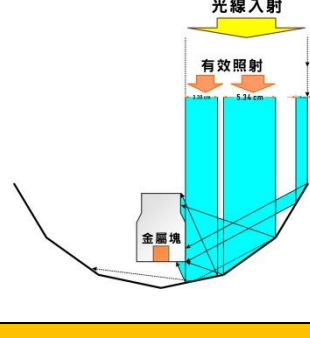


圖十四：改變距離後的 $\overline{\Delta T}$

1. 8x1 面鏡：大致的趨勢為前兩次的數值都較高，第三次（下降 2 圈）數值則最小。
2. 8x2 面鏡：大致的趨勢為第一次的數值最低，接著 2 次則漸漸升高。
3. 8x3 面鏡：第二次（下降 2 圈）的數值最高。

(五) 討論：

1. 由結果顯示經過調整與「鏡心的距離」之後， $\overline{\Delta T}$ 確實有改變，並且有一致的趨勢，圖十四中的(g)和(k)則可能因誤差導致結果不一致。
2. 我們繪製了理論上光線行經的路徑圖並將「有效照射區」標示出來，如下：

	I：原始焦點—距鏡心 8cm	II：下降 1 圈—距鏡心 5.5cm	III：下降 2 圈—距鏡心 3.0cm
8x1			
有效照射區	8.31cm	8.31cm	7.37cm
8x2			
有效照射區	6.62cm	7.79cm	9.20cm
8x3			
有效照射區	6.16cm	8.54cm	10.42cm

3. 理論值與測量值的比較：

- (1) 8x1 面鏡在Ⅲ的有效照射為最小，與測量的結果相符合。
- (2) 8x2 面鏡在Ⅲ的有效照射為最大，與測量的結果相符合。
- (3) 8x3 面鏡在Ⅲ的有效照射為最大，理論上應該有最大的 $\overline{\Delta T}$ ，但測量結果為Ⅱ的 $\overline{\Delta T}$ 最大。推論應該是器材製作或是測量時所造成的誤差，亦或許是有其他的影響因素我們沒有考慮到，如「光線入射到待測物的角度」。

柒、結論

一、nxm 反射面鏡與橫向圓心角 (θ_n)、縱向圓心角 (ϕ_m) 之間的相關性如下：

n=n	m=1,2,...,m	\overline{AB}_1 \overline{AB}_2 \overline{AB}_3 ... \overline{AB}_m	$2R \sin \phi_1 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$ $2R \sin \phi_2 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$ $2R \sin \phi_3 \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$... $2R \sin \phi_m \sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right)$
		\overline{PQ}_1 \overline{PQ}_2 \overline{PQ}_3 ... \overline{PQ}_m	$R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) \sin \phi_m\right)^2}$ $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_{(m-1)} - \sin \phi_m)\right)^2}$ $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_{(m-2)} - \sin \phi_{(m-1)})\right)^2}$... $R \sqrt{\left(2 \sin \left(\frac{\phi_m}{2}\right)\right)^2 - \left(\sin \left(\frac{\theta_n}{2}\right) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)\right)^2}$

二、金屬塊對 nx1、nx2、nx3 面鏡，其 $\overline{\Delta T}$ 隨著 n 有上升的趨勢

三、「有包黑膠帶」比「沒有包黑膠帶」的金屬塊，整體而言， $\overline{\Delta T}$ 差值的範圍介於 1.10~2.71(°C/min)，平均值為 1.72(°C/min)。

四、同種面鏡同種金屬在相同時間下，質量較大者，其 $\overline{\Delta T}$ 則會較小。

五、同種面鏡同種金屬在相同時間，需考慮「受光面積」，以P值取代K值，才能讓結果呈現較高的相關性。

六、調整與「鏡心的距離」所得 $\overline{\Delta T}$ 確實和原本位置的不同，並且其變化有一致的趨勢。比對理想的光線行經的路徑圖中的「有效照射區」後卻與測量值有些不吻合可能來自器材製作或是測量時所造成的誤差。

捌、參考資料及其他

一、維基百科：球面像差

二、大地旅人環境工作室 <http://earthpassengers.ngo.org.tw>