

探究與實作—測量地球周長
二年十班
第三組

組員	座號
吳秉軒	16
楊汶翰	30
劉智仁	32
鄭柏文	34

目錄

壹、研究動機.....	3
貳、研究目的.....	3
一、自製太陽觀測器測量地球周長.....	3
二、比較不同組別測量結果驗證太陽觀測器精確度.....	3
三、利用地磁北極與地理北極測量太陽觀測器的準確度.....	3
四、比較不同日期的測量結果.....	3
參、研究設備及器材.....	3
一、自製工具.....	3
二、其他工具.....	7
肆、研究過程及方法.....	7
一、太陽仰角測量方法.....	7
二、太陽仰角測量示意圖.....	8
三、自製太陽觀測器誤差值測量.....	8
四、各組測量結果比較.....	13
五、三天太陽仰角誤差值比較.....	15
六、利用磁偏角驗證測量數據準確值.....	16
伍、研究結果.....	20
一、計算方法.....	20
二、利用三天太陽仰角計算地球周長.....	21
陸、討論.....	22
一、誤差的來源.....	22
二、如何減少誤差.....	23
三、工具限制.....	23
四、未注意之變因.....	23
柒、結論.....	24
一、測量數據分析.....	24
二、改善方向.....	24
三、指導老師建議.....	24
捌、科學筆記本紀錄（擷取部分）.....	25
玖、個人學習心得與反思.....	30
一、學習心得.....	30
二、個人反思.....	30
拾、參考資料及其他.....	30
一、參考資料.....	30
二、線上輔助工具.....	31

壹、研究動機

為了了解兩千多年前厄拉多色尼如何計算出地球周長，以及了解利用自製太陽觀測器所推算出來的地球周長與真實的地球周長的誤差，尋找造成測量結果有誤差的變因，期許在一次次的測量中找到誤差並試圖修正，故透過實際製作太陽觀測器，效仿厄拉多色尼的方法，計算地球周長，並探求其中的誤差原因。

貳、研究目的

- 一、自製太陽觀測器測量地球周長
- 二、比較不同組別測量結果驗證太陽觀測器精確度
- 三、利用地磁北極與地理北極測量太陽觀測器的準確度
- 四、比較不同日期的測量結果

參、研究設備及器材

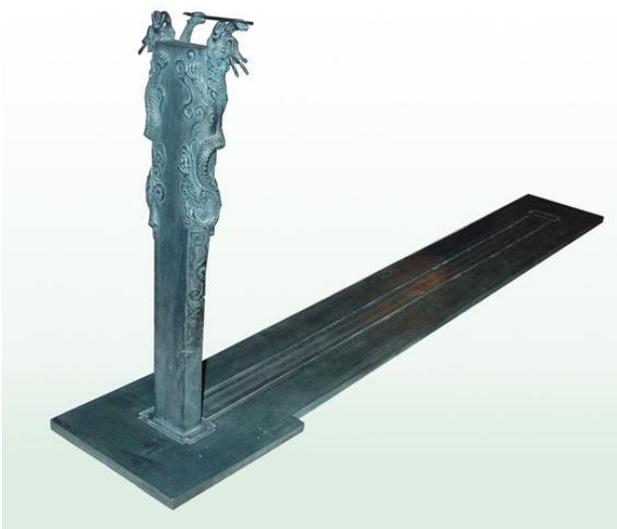
一、自製工具

(一) 自製太陽觀測器

1、設計構想

古代有種觀測日影的工具叫做「圭表」，「表」指的是直立的標竿，「圭」則是正南北向橫躺的尺，藉由表在圭上的日影變化觀察，推算曆法。自製太陽觀測器即以古代「圭表」為設計構想，並以紙板為素材，製作自製太陽觀測器。

2.圭表示意圖（圖片來源：台灣 Word）



2、第一代太陽觀測器

(1) 製作

以十八公分乘八公分的七塊紙板黏合後作為基座（圭），再找一塊紙板並在紙板的一處中間割出一個孔洞，使太陽光通過時形成針孔成像的光點，同時在基座最上面的四層紙板上挖出與直立紙板（表）相合的洞，再將直立紙板插入洞口並以保麗龍膠加強固定，確保直立紙板確實與水平紙板垂直，直立紙板背後再以直角三角形紙板加強固定，避免外力使直立紙板傾斜。

(2) 發現問題

在第一代太陽觀測器使用上，太陽仰角若太小，影子可能超出紙板範圍而無法紀錄，在結構上採用紙板雖尚屬堅固，但是在紙板上做記號時將反覆壓到基座，容易造成基座的變形。除此之外，在測量時因太陽仰角太大，太陽光根本沒有通過小孔，小孔設計形同虛設。

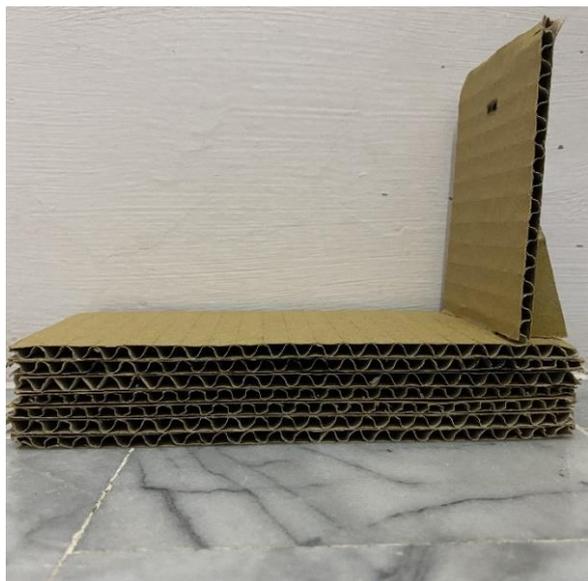
(3) 改良方向

增加自製太陽觀測器的基座長度，以因應太陽仰角較小的情形，同時選用較薄較硬的紙板為素材，此外，我們也注意到紙板的結構有方向性，紙板中間有長條形的紋路，故在製作時刻意將基座每層紙板的擺放從原先的全部同方向改成直橫交錯的結構，以強化基座的耐壓性。在成影的部分將原先的小孔取消，改用橫放的筷子取代，讓陽光更易於穿過孔洞後成影。

(4) 第一代太陽觀測器正視圖



(5) 第一代太陽觀測器側視圖



(6) 第一代太陽觀測器俯視圖



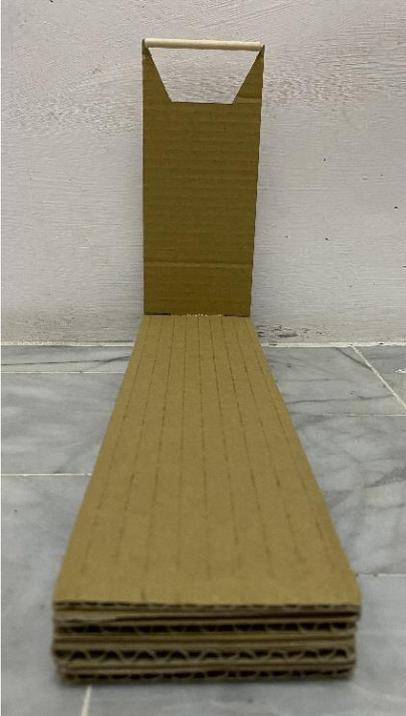
3、第二代太陽觀測器

(1) 製作

以三十五公分乘八公分的七塊紙板以直橫交錯的結構擺放，黏合後作為底座，再找一塊紙板在上方割出一個等腰梯型後黏上一個與基座水平擺放的竹筷，接著在基座最上面四塊紙

板上割出與直立紙板相合的洞，再將直立紙板插入基座，並以保麗龍膠加強，最後在直立紙板後方加上直角三角形紙板，使直立紙板更加固定。

(2) 第二代太陽觀測器正視圖



(3) 第二代太陽觀測器側視圖



(4) 第二代太陽觀測器俯視圖



二、其他工具

(一) 傾斜儀 (本測量使用傾斜儀的指北針)

圖一、傾斜儀示意圖



(圖片來源：永原科學儀器有限公司)

(二) 手電筒

(三) 30度-60度-90度三角柱

(四) 筆

(五) 尺

(六) 計算機 (手機內程式)

肆、研究過程及方法

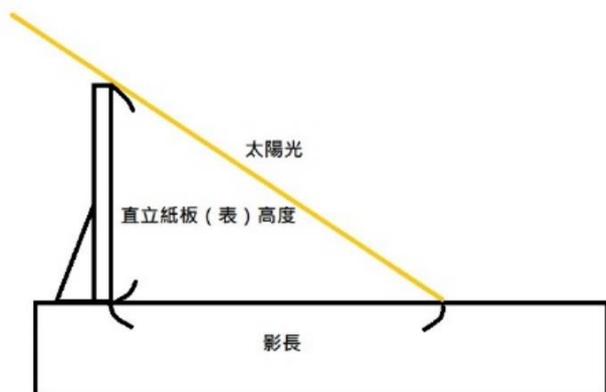
一、太陽仰角測量方法

利用自製太陽觀測器的直立紙板 (表) 在水平紙板 (圭) 上的影子長度以及直立紙板的高度求出 \tan 值，再利用計算機反推 \tan 值的角度 ($=\text{atan}$ (直立紙板 (表) 高度/影長))，

即求得太陽的仰角。

備註：測量時使用的太陽觀測器皆是自製第二代太陽觀測器。

二、太陽仰角測量示意圖



(圖片來源：本組利用電腦內建小畫家製作)

三、自製太陽觀測器誤差值測量

(一) 測量方法

為求得自製太陽觀測器本身的儀器誤差值，利用 30-60-90 度的三角柱搭配光源模擬太陽仰角，再計算出實際測量出的仰角與理論值的差距，此差距即為自製太陽觀測器的儀器誤差。

(二) 第一次測量

1 測量

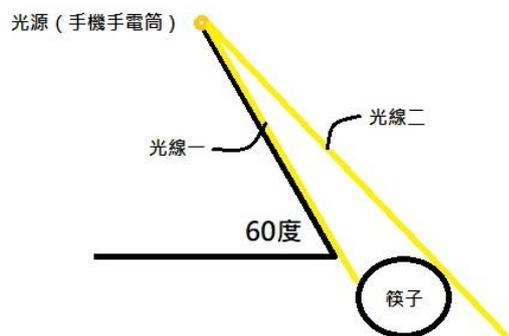
第一次測量儀器誤差時我們利用手機內建手電筒為光源，並模擬仰角 60 度的光源，起初構想是當光線到達竹筷子的前端與後端時的影子長度，即為誤差值範圍，故第一次測量時，我們分別記錄當光線到達筷子最前端以及最後端時形成的影長並回推仰角範圍，測量結果約為 61.07 度到 62.70 度，減去理論值的仰角 60 度，亦即第一次測量儀器誤差值約為 1.07 度到 2.70 度。

2 問題發現

原先第一次測量儀器誤差值後並未發現問題，但是後來赫然發現手機無法與太陽光相比，因為太陽光接近平行光狀態，但手機手電筒光源是明顯的放射光，也就是以手機手電筒為光源時，光線到達筷子最前端時的影子，是由經過筷子最後端的光線所形成，而這兩條光

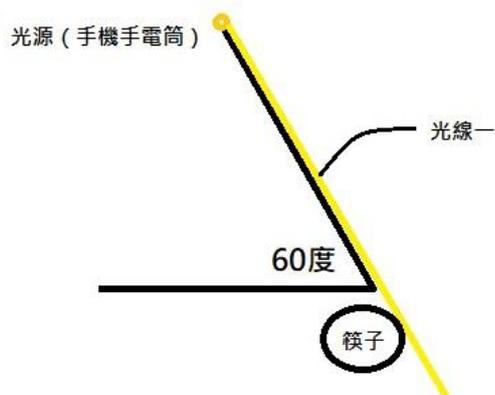
線並非平行光，所以第一次測量時所求出的最短影長是在非平行光的狀態下求出的，這項數據也就不合理，不可採納，而光線到達筷子最後端所形成的影子則是由通過筷子後端的光線直接形成，不受是否為平行光影響，故是符合測量要求的數據。

3 問題說明示意圖



(圖片來源：本組利用電腦內建小畫家製作)

說明：本圖所測量出的影長邊界乃是由光線二（通過筷子後端的光線）所形成，但實際上因為手機手電筒的光並非平行，所以事實上只有光線一才是仰角六十度的光線，光線二本身並非仰角六十度。



(圖片來源：本組利用電腦內建小畫家製作)

說明：本圖所測量出的影長邊界乃是由光線一（通過筷子後方的光線）所形成，而光線一即是利用 30-60-90 度三角柱體所模擬出的仰角六十度光線，固可排除第一次測量產生的問題，亦即第二次測量所要操作的方式。

3 改良方向

藉由問題發現可以知道原先求出的第一次儀器誤差為不合理，此誤差應為一個數值，而問題是出在光線到達筷子最前端的成影會受通過筷子後端的光線與到達筷子前端是否為平行光影響，故第二次測量應去除測量光線到筷子前端的影長數據，直接採用筷子通過筷子後端的影長數據，並求取儀器誤差值。

(三) 以手機為光源測量儀器誤差值圖片

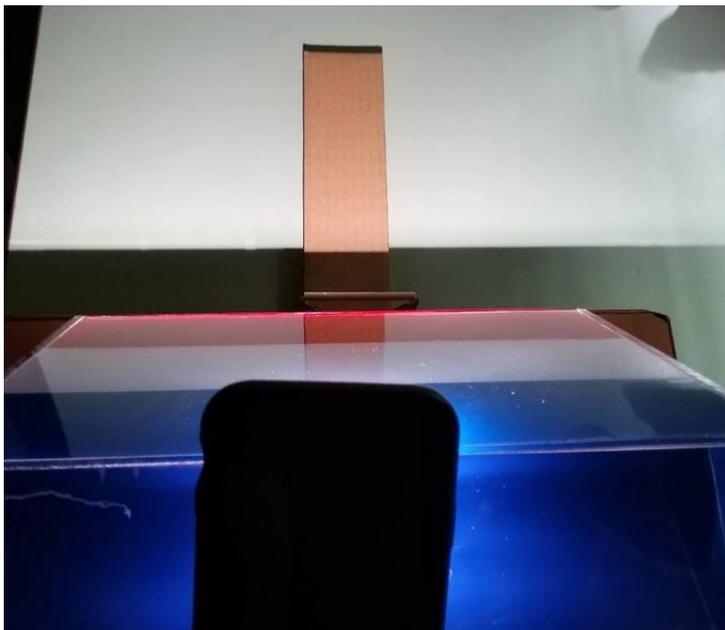
1 以手機為光源測量儀器誤差值正視圖



2 以手機為光源測量儀器誤差值側視圖



3 以手機為光源測量儀器誤差值俯視圖



(四) 第二次測量

1 測量

經過第一次的測量檢討後，第二次的測量依樣是模擬仰角為 60 度手機手電筒光源，但是只需求取光線通過筷子後端時的影長，並計算仰角，透過第二次計算，測量結果約為 61.77 度，再減去理論值六十度，儀器誤差值約為 1.77 度。

2 問題發現

第二次測量完時很快便發現問題，也就是理論上第一次測量到的誤差值上限與第二次測量是採用相同方法，數據應該要差不多，但是兩者卻差到一度多，我們在重新思索測量方法的正確度時，發現問題是出在光源，因為手機手電筒是放射光，也就是只有貼著 30-60-90 度的三角形平面的光線會是仰角六十度，所以在測量時必須讓此光線與筷子最後端相擦而過，但在實際測量上，難以用肉眼判斷此光線是否已到達筷子最後端，難以確認到達筷子最後的確時是仰角 60 度的光線，或是通過的光線只是很接近仰角 60 度，但並不是，需要再調整，基於肉眼難以判斷光線通過筷子時的準確位置，每次測量也只是目測，在這樣的情形下，就極可能產生較大的誤差。

3 改良方向

第二次測量的問題點是在光源，如果能讓光源發出的是平行光，那麼每條光線的仰角就會一致，測量時也就不必刻意尋找某條光線，可減少測量難度，並增加數據準確度，因此改

良就需改變光源。

（五）第三次測量

1 測量

有鑑於第二次測量手機手電筒的放射光造成的測量困難，第三次儀器誤差測量改以直式手電筒為光源，雖然直式手電筒的光線也不是真正的平行光，但比起手機手電筒的光線，直式手電筒更加接近於平行光，有助於減少測量誤差與困難。改用直式手電筒後因為光線接近平行光，故不必將通過三角柱平面的光線對其筷子後端，直接讓光線照到筷子上，所形成的影子即為符合測量前提的合理數據，經第三次測量，測量結果約為 59.93 度，再減去理論值的 60 度，即求得太陽觀測器的儀器誤差值為-0.07 度。

2 儀器誤差值

經過三次儀器誤差值的測量與修正，最後太陽觀測器儀器誤差值測量結果約為-0.07 度。

（六）以直式手電筒測量儀器誤差值圖片

1 以直式手電筒為光源測量儀器誤差值正視圖



2 以直式手電筒為光源測量儀器誤差值側視圖



3 以直式手電筒為光源測量儀器誤差值俯視圖



四、各組測量結果比較

(一) 目的

為了求取太陽觀測器的精確度是否良好，故與班上其他四組同學於民國 110 年 10 月 5 日在新莊高中地科教室頂樓進行五次不同時間的影長測量，並換算成仰角，以觀察測量出的太陽仰角在不同時間變化上是否穩定。

(二) 測量照片



(三) 各組數據比較

利用 Excel 圖表製圖觀察各組測量出的太陽仰角在不同時間的變化程度。

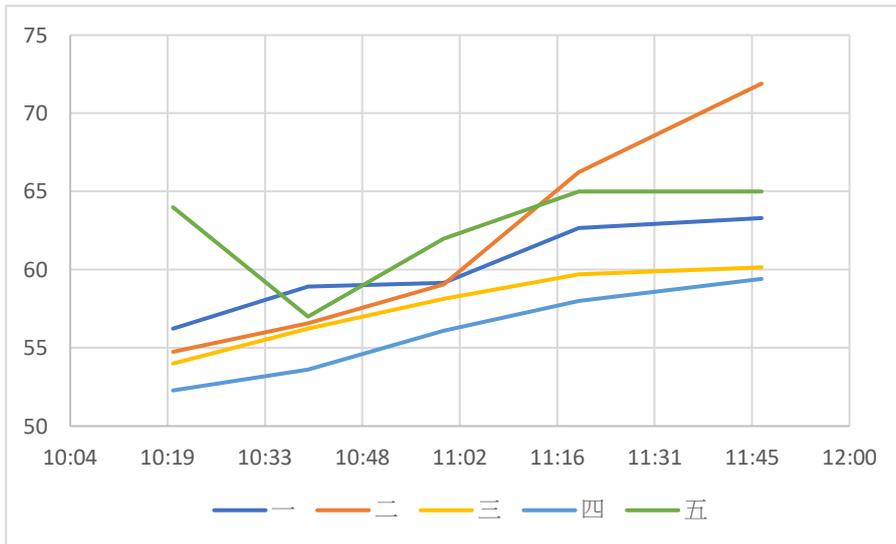
備註 1：本組為第三組

備註 2：根據交通部中央氣象局資料該日太陽最高仰角為 63 度，出現在 11：47。

1 各組測量數據比較表（單位：度）

	10:20	10:40	11:00	11:20	11:47
一	56.23	58.92	59.16	62.65	63.3
二	54.75	56.57	59.04	66.25	71.9
三	54	56.24	58.15	59.7	60.15
四	52.28	53.62	56.11	58	59.41
五	64	57	62	65	65

2 各組測量數據折線圖（縱軸單位：度）



(四) 比較結果

透過圖表觀察可以發現本組（第三組）的太陽仰角觀測結果在不同時間的變化上頗為穩定，但是在 11:47 時觀察太陽最高仰角所求得的數據與理論值相差 2.85 度，顯見準確度還有待調整，在測量、觀測上都要更加精進方可增加準確度，亦即本份圖表顯示本組的太陽觀測器的精確度不差，但是準確度還有待後面的調整與精進。

五、三天太陽仰角誤差值比較

(一) 比較方法與對象

為了確定使用此太陽觀測器的準確度好壞，故分別在民國 110 年 10 月 26 日、29 日、30 日三天測量太陽最高仰角並與理論值比較，觀察測量出的數據準確度好壞。

(二) 三天太陽仰角數據比較表

測量日期	測量結果（太陽仰角）	太陽過中天	太陽最高仰角	誤差值
10 月 26 日	53.62 度	11:43	55 度	-1.38 度
10 月 29 日	52.84 度	11:42	54 度	-1.16 度
10 月 30 日	52.27 度	11:42	54 度	-1.73 度

備註 1:太陽過中天的時間及太陽最高仰角數據皆取自交通部中央氣象局的資料。

備註 2:此表格的測量結果並未加回儀器誤差值 0.07 度。

(三) 比較結果

透過表格觀察可知在這三天利用太陽觀測器所求得的太陽仰角與理論值的差距都在 1.8 度以內，可見此太陽觀測器之準確度算不錯的。

六、利用磁偏角驗證測量數據準確值

(一) 測量方法

為了進一步確定太陽觀測器的準確度，我們決定利用傾斜儀的指北針來找出地磁北極，當太陽觀測器依照地磁北極的方位擺放時影子達到滿版（如圖二），則可測量到太陽在此時的仰角，接著依照交通部中央氣象局提供的資料，當太陽到達中天時（實際情況的最高仰角），將太陽觀測器依照影子方位調整成滿版，即可得到地理北極的最高太陽仰角，而造成這當中差異的便是「磁偏角」，亦即地理北極與地磁北極的夾角，將利用太陽觀測器測量到的兩組數據相互對照，並與高雄市磁偏角角度比較即可知曉太陽觀測器的準確度。

圖二、太陽觀測器依照地磁北極的方位擺放時影子達到滿版



(二) 第一次測量

1 第一次測量狀況

在民國 110 年 10 月 26 日時進行第一次太陽觀測器在地磁北極方向影子滿板時的太陽仰角，測量地點在新莊高中地科教室頂樓，本次測量原先都很順利，但是最後在比較兩組仰角時，發現第一次測量的數據算出的磁偏角將遠超理論值（4.18 度），於是測量指北針在頂樓不同位置的狀況，結果發現指北針換了地方後竟有肉眼可辨識出的偏轉，證明指北針受到干擾，至於究竟是什麼原因還需進一步釐清，但是可以知道的是新莊高中地科教室頂樓因有不明磁場干擾，不可使用指北針測量，因此第一次測量的數據不符合測量前提（指北針方位正確）予以作廢。

備註:磁偏角資料來源一律附於文末。

2 第一次測量照片（地點：新莊高中地科教室頂樓）



（三）第二次測量

1 第二次測量狀況

在民國 110 年 10 月 29 日時進行第二次太陽觀測器在地磁北極方向影子滿板時的太陽仰角，因為第一次的場地挑選有問題，所以第二次測量時選在新莊高中的操場，盡量遠離一些電器或電線，原先設想磁偏角只有個位數，應該在太陽過中天之前沒多久，殊不知該日太陽於 11:42 分過中天，我們三十二分到達時，由於太陽觀測器照地磁北極方向擺放時影子已經偏移成非滿板位置，故可知已經超過測量磁偏角數據的時間。因為太陽仰角越接近中天變化率越小，因此即使磁偏角很小，太陽觀測器影子在地理北極方向時滿版與在地磁北極方向時滿版的時間差距仍有一小段距離，下次應該早做準備，提早測量。

2 第二次測量照片（地點：新莊高中操場）



(四) 第三次測量

1 第三次測量狀況

在民國 110 年 10 月 30 日時進行第三次太陽觀測器在地磁北極方向影子滿板時的太陽仰角，第三次測量不只需要提早準備，為了避免測量場地仍有太靠近的一些人為建設中的電器或電線造成的磁場干擾，本次測量也剛好是假日，便選在家中附近的空地，只有數公尺外有電線杆，連最近的房子也在百尺之外，本次選於美濃獅形頂山腳下測量，杜絕外來磁場干擾，除此之外，本次測量也在 11:20 前便準備好測量，但是測量出的數據依然頗有差距，在太陽升到中天之前，我又在同一平面不同位置測量，竟然發現有明顯的誤差，同一時間同一平面卻有不同影長，我此時便懷疑是放置平面出問題，果然後退數步，便可發現放置太陽觀測器的水泥田埂是一個稍微傾斜的斜面，並非與地面平行，在小範圍內還目測不出，但是放大範圍就可用肉眼發現平面傾斜的狀態，由於前兩次放置太陽觀測器的平面不具有這方面的明顯誤差，所以也未留心，這次測量雖然無法成功取得太陽觀測器在地磁北極方向滿版的影子長度，但也及時在太陽達到中天前更換到水平平面，不致使本次的測量數據通通失敗，也讓我知曉下次要注意放置太陽觀測器的平面是否與地面呈水平狀態。

2 第三次測量照片（地點:美濃獅形頂山腳下）



(五) 第四次測量

1 第四次測量狀況

在民國 110 年 10 月 31 日時進行第四次太陽觀測器在地磁北極方向影子滿板時的太陽仰角，歷經前面三次的失敗，這次是格外謹慎，同樣把測量地點選在美濃獅形頂山腳下，也在十一點二十幾分時便就位，也更換到一處水平平面測量，終於在 11:30 成功測得該日太陽觀測器在地磁北極方向的影子滿版長度，本日是 11:42 時太陽過中天，可惜 42 分時正好有雲層遮蔽太陽，造成 42 分時太陽觀測器上的全影非常不明顯，一直到 46 分陽光才又再度增強，故第二筆數據是採用 11:46 分的太陽仰角，雖然無法取得原先預設的太陽最高仰角，但是透過此兩筆數據地比對，亦可推斷太陽觀測器準確度的高低。

2 第四次測量照片（地點:美濃獅形頂山腳下）



(六) 測量數據比較表 (測量日期:民國 110 年 10 月 31 日/測量地點:美濃獅形頂山腳下)

測量時間	測量結果 (太陽仰角)	太陽過中天	太陽最高仰角	相差
11:30	49.72 度	11:42	53 度	3.28 度
11:46	50.08 度	11:42	53 度	2.92 度

備註 1:太陽過中天的時間及太陽最高仰角數據皆取自交通部中央氣象局的資料。

備註 2:此表格的測量結果並未加回儀器誤差值 0.07 度。

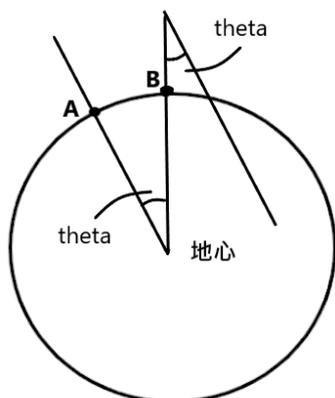
(七) 測量數據分析

由網路查詢得知高雄美濃的磁偏角約為 4.22 度，若將民國 110 年 10 月 31 日 11:30 時測量到太陽觀測器在地磁北極方向影子滿板時的太陽仰角 49.72 度加入儀器誤差值，則當時太陽仰角為 49.79 度，與該日太陽最高仰角 53 度相差 3.21 度，將這項數值與磁偏角相比，可得誤差值為 1.01 度，與先前「三天太陽仰角誤差值比較」測量誤差值在 1.8 度內吻合，可見此太陽觀測器的準確度穩定也頗高，但是觀察第二組數據 (11:46) 可以發現 46 分比過中天的時間只經過 4 分鐘但是仰角卻已經退到 50.08 度，即使加上儀器誤差值 0.07 度，測量結果 50.15 度也與仰角最高時相差 2.85 度，有明顯較大的誤差存在，比之前的誤差都來的大，不排除是偶發的較極端數據或其他因素導致，但也顯示數據量若可再增加，就有助於減少誤差，也可更精確地探求誤差值。

備註:磁偏角資料來源一律附於文末

伍、研究結果

一、計算方法



(圖片來源：本組利用電腦內建小畫家製作)

上圖的兩條斜線為陽光與陽光的延伸線，由於太陽光極接近平行光，故兩者可視為平行線，利用三角和 180 度減去直立紙板與水平紙板的夾角 90 度與太陽觀測器所測量的太陽仰角即可得到 θ 角，由圖中可知平行線內錯角相等，因此兩個 θ 值相等，因此得到地球的一圓周角，即點 A、點 B、圓心構成的夾角，再查詢 AB 弧的弧長 (測量太陽仰角地點

與該日太陽直射的地方的距離)即可推算地球周長。

二、利用三天太陽仰角計算地球周長

(一) 計算過程

1 十月二十六日(測量地點:新莊高中地科教室頂樓)

本日測量到的太陽最高仰角為 53.62 度,再加上儀器誤差值 0.07,故仰角為 53.69 度,而測量地點緯度約為 22.68°N,故該日太陽直射的緯度約為 13.77°S (22.68- (180-90-53.69)),利用網路工具(網址附於文末)換算出太陽直射地點與測量地點距離約為 4053.101 公里,再將此數據乘以 360/36.31 (360/ (180-90-53.69)),即得地球周長為 40184.973 公里。

2 十月二十九日(測量地點:新莊高中操場)

本日測量到的太陽最高仰角為 52.84 度,再加上儀器誤差值 0.07,故仰角為 52.91 度,而測量地點緯度約為 22.68°N,故該日太陽直射的緯度約為 14.55°S (22.68- (180-90-52.91)),利用網路工具(網址附於文末)換算出太陽直射地點與測量地點距離約為 4139.695 公里,再將此數據乘以 360/37.09 (360/ (180-90-52.91)),即得地球周長為 40267.230 公里。

3 十月三十日(測量地點:美濃獅形頂山腳下)

本日測量到的太陽最高仰角為 52.27 度,再加上儀器誤差值 0.07,故仰角為 52.34 度,而測量地點緯度約為 22.86°N,故該日太陽直射的緯度約為 14.94°S (22.86- (180-90-52.34)),利用網路工具(網址附於文末)換算出太陽直射地點與測量地點距離約為 4202.985 公里,再將此數據乘以 360/37.66 (360/ (180-90-52.34)),即得地球周長為 40177.233 公里。

三、數據分析

(一) 三組數據與理論值比較表

根據經緯度距離轉換網站的計算,可得地球周長約為 40028.24 公里,此處將以此值當作理論值與本組測量的數據比較。

日期	計算出的地球周長	與理論值差距	誤差
10月26日	40184.973 公里	156.733 公里	0.3915 %
10月29日	40267.230 公里	238.99 公里	0.5971%

10月30日	40177.233 公里	148.993 公里	0.3722%
以上三日平均	40209.812 公里	181.572 公里	0.453%

由上表可知本組測量的三組數據以 10 月 30 日的數據最為接近理論值，以 10 月 29 日的數據最為遠離理論值，雖然與理論值的差距公里數仍有破百，但是誤差都在 0.6% 以內，可見太陽觀測器的準確度良好。

陸、討論

一、誤差的來源

(一) 儀器上的誤差

儀器誤差即為太陽觀測器本身存在的誤差，因為此儀器乃是人工手作，難以達到完全精準的地步，再者儀器本身就存在誤差難以避免，而此誤差值即為前文中的「自製太陽觀測器誤差值測量」所求，儀器上的誤差約為-0.07。

(二) 觀察及畫記上的誤差

本測量所需觀察的便是影子長度，影子形成後並非有完全明確的邊界，而是有全影與半影的存在，造成影子邊界多少有一點模糊地帶，全影及半影的模糊程度乃是受到太陽光強度影響，雖然本測量都選在陽光較為強烈、易於觀察影子的時刻，但仍然免不了有一些全影及半影的模糊地帶，在觀察及畫記時就會誤差，而這個誤差會受太陽光強度此種不可控因素影響，故無法求出誤差定值。

(三) 儀器解析度造成的誤差

在畫記完影子的長度後便是要量取影長再利用三角函數換算仰角，這時候所測量到影子長度本身也會有誤差，因為測量的工具（尺）的最小讀數只到 1 毫米，影子的真實長度實際上難以剛好是只到毫米，可能毫米後面還有數值，但是限於工具最小讀數，故只可將影子長度 1 毫米後的數值通通省略，此及測量上會存在的誤差。

(四) 計算上的誤差（受到儀器解析度影響）

在測量完影子長度後，便要利用影子長度與直立紙板（表）的高度計算仰角，此時計算出的太陽仰角多為小數點後好幾位，甚至是沒有盡頭的無限小數，為了方便計算會四捨五入到小數點後第二位，另外磁偏角數據與最後計算地球周長時為了方便計算也有四捨五入，雖然更利於計算但也會造成測量出的數據在計算上因為有四捨五入到小數點後第二位而產生計算上的誤差。

（五）其他誤差

除了以上幾種較為明顯的誤差外，測量時的各種因素皆可能造成誤差，包含太陽觀測器擺放角度的準確程度、畫記時的外力是否造成太陽觀測器的變形、太陽觀測器所放置的平面是否平整或是其他外力造成的誤差，像是風力造成太陽觀測器晃動等外在環境的影響造成的誤差，難以一一列舉，有些誤差看似非常微小，但是眾多誤差結合後仍可能會對測量值產生不小的影響。

二、如何減少誤差

「凡測量必有誤差」，雖然誤差不可避免，但卻是可以透過調整測量去減少誤差，針對測量的減少誤差，我認為可以在儀器上作更多調整或增加，例如可以利用比紙板更堅固的材質製作，並利用專業儀器確保太陽觀測器上直立紙板與水平紙板確實垂直，也可在太陽光成影前利用針孔成像讓太陽觀測器頂部竹筷的本影位置更加清晰，以利於觀察與畫記，測量時則可利用最小讀數比 1 毫米還小的工具測量，減少測量上的誤差，計算上若取小數點後越多位，計算上的誤差就可減少，關於其他誤差則需要減少外力干擾，盡量讓儀器處於一個穩定的角度及位置，即可降低外在影響造成的誤差。

三、工具限制

上述所說的誤差都是針對太陽觀測器的影響，但實際上還需要注意其他測量工具使用上的限制，例如在利用磁偏角確認太陽觀測器的準確值是否良好時，需要利用傾斜儀的指北針尋找地磁北極，但是我們卻未注意指北針在使用上的限制，依舊在新莊高中地科教室頂樓測量，直到我們發現地磁北極與地理北極的夾角與理論值相差太遠，才想到指北針是否受到地磁以外的磁場干擾，經過測試才發現在新莊高中地科教室頂樓時指北針是會被干擾的，也就是在該地測量的地磁北極是不準的，初步推測可能是頂樓複雜的電線或是太陽能光電板造成的磁場干擾，但若要準確求出干擾磁場的主要原因還需進一步釐清，也因此後來在測量地磁北極時改到操場或是空闊地方測量，這經驗最主要的教訓是不該只注意到太陽觀測器的使用上造成誤差的原因，也該注意所有工具在使用上的限制。

四、未注意之變因

在民國 110 年 10 月 31 日的測量時原先杜絕除了地磁以外對指北針的磁場干擾，也成功測量到地磁北極太陽觀測器影子滿板時的影長，但是後來發現數據與理論值偏差太大，且在同一平面同一時間影長在不同位置會有明顯的變化，後來才發現太陽觀測器所放置的地方是一個平面沒錯，但是卻不是與地面平行的平面，而是有所傾斜，才造成數據的失真，雖然在太陽達到最高仰角時更換到合宜的地點，成功取得太陽該日最高仰角，但是地磁北極方向太陽觀測器影子滿板時的影長數據因未及時察覺平面傾斜，造成此數據不可使用。因為原先在新莊高中地科教室頂樓的地板、平台或是學校操場都是很接近完整平面，故未注意這項變

因，31 日時是在美濃獅形頂山腳下測量，因為產業道路不平，故放於水泥田埂上測量，卻未注意田埂平面是否與地面平行，才造成數據的測量失敗，也告訴我要注意所有的變因，因為有時變因不是不存在，而是測量地點剛好該變因不明顯，但若未注意該變因的存在，就可能在更換測量地點後產生錯誤。

柒、結論

一、測量數據分析

根據 10 月 5 日的連續測量可知太陽觀測器的精確度頗高，根據 10 月 26 日、10 月 29 日、10 月 30 日的太陽仰角計算出的地球周長與理論值比較，可知太陽觀測器的準確度相當不錯，因此此太陽觀測器應有一定可信度，但是在 10 月 5 日的最高仰角測量出的誤差卻超過其他數據的誤差（1.8 度內），以及 10 月 31 日 11:46 在太陽過中天後，數據與該日最大仰角的誤差也有超過其他數據誤差（1.8 度內）的現象，可見太陽觀測器雖然在正式採用的數據上表現穩定，但是不能保證太陽觀測器每次都是很穩定，仍有較大誤差出現的可能。

二、改善方向

（一）增加測量次數

由於此太陽觀測器在多次數據的表現上，偶爾有誤差較大的情形，若要更加精確探求太陽觀測器的穩定程度，可以增加測量次數，比較更大量的測量數據，即可觀察太陽觀測器的穩定程度，也可更精確求出誤差值。

（二）妥善保存儀器與定期校正

由於太陽觀測器的主要原料是紙板，所以極需小心地保存，在保存上或移動時若有不慎，碰撞到太陽觀測器時，便有可能使直立紙板與水平紙板中間的直角發生偏移，會擴大儀器誤差，除了妥善保存儀器外，也可定期使用直式手電筒當光源模擬特定仰角測試儀器的誤差值是否擴大，以此驗證與確保儀器是否仍擁有高精確度，如果儀器誤差擴大，就需要調整太陽觀測器的結構，或是更換紙板，以保證其精準度。

（三）嚴謹的科學態度

除了測量上的技巧以及推算的方法外，具備嚴謹的科學態度也是非常重要，測量時務必一絲不苟，盡可能求出越接近真實的值，這就有賴於科學態度的培養，唯有小心求證，才能降低人為造成的誤差。

三、指導老師建議

（一）易忽略的誤差原因

除了先前諸多造成誤差原因的探討外，老師提出了一項我們忽略的可能造成誤差的因素，那就是濕度對太陽觀測器的影響，由於本組的太陽觀測器主要材料為厚紙板，因此在保存上需要注意環境濕度，否則過高的溼度便可能造成太陽觀測器的誤差產生或擴大。

（二）測量太陽觀測器儀器誤差的方法

由於本組在進行對太陽觀測器本身誤差的實驗測量時，曾因光源問題而造成多次調整實驗，老師對此建議可以嘗試使用投影機遙控器的紅外線當作光源，一來較接近平行光，二來紅外線光束範圍較小，較易於觀察。

（三）增加測量次數及增加連續觀測紀錄

尤其本組雖然有些數據與真實頗為相近，但也有誤差較大的時候，老師建議增加測量的次數，如此便有助於找出更精確的誤差大小，另外，為了更精確的探求太陽觀測器的精確度，老師建議可以將連續測量的時間間距縮小，並增加測量次數，觀察數據間變化量是否合理，透過此種方法有助於進一步的探求太陽觀測器的精確度。

捌、科學筆記本紀錄（擷取部分）

日期：110年9月7日

年級：210 座號：32

姓名：劉智仁

保麗龍球圓周測量

<p>老師的實驗設計</p>	<p>1. 老師的實驗設計能不能正確測量出保麗龍球的圓周長，可能的原因有哪些？</p>
<p>一、實驗目的</p>	<p>Ans: 此方法可得到圓周的估計值，N點與S點接近實際情況(理論位置)，則可得該圓周大約值。</p>
<p>→ 測量保麗龍球體的圓周</p>	<p>但受東西或南北向不同，該值無法確定和所有圓周相同。</p>
<p>二、實驗步驟</p>	<p>2. 哪些因素會影響實驗的精確度？</p>
<p>1) 將一條繩子的一端固定於球體上任意一處(N點)。</p>	<p>Ans: 採用的數據多寡、繩子是否拉緊且不可有彈性、尋找S點的紅色區塊大小(影響估計S點的難度)</p>
<p>2) 利用固定於球體上的繩子將球體拉至懸空，再緩緩下放，碰觸桌面紅色為未發為止。</p>	<p>3. 是否需要重新設計實驗？器材？步驟？</p>
<p>3) 在球體上紅色區塊中心處找出一點(S點)。</p>	<p>Ans: 本實驗為測量半圓(半圓周)，可直接測量整個圓周以減少誤差。器材上可選擇較不具彈性的繩子。此外，實驗中僅利用南北向圓周長大約一致，即反推此為圓球體，而忽略東西向圓周可能不一樣長，此球體可能為橢圓球體。</p>
<p>4) 將同一條繩子拉緊，從N點開始沿保麗龍球表面到S點，將繩子固定於S點。</p>	<p>心得與反思：這是第一次進行探究與實作的課程，比起一般的授課，老師利用更多的提問取代講解，同時也透過討論及思考上的引導，激發我們更多的想法。雖然有時會沒有想法或頭緒，但又要仔細思考加上</p>
<p>5) 從N點經S點繞一圈回到N點的距離或N點到S點距離的兩倍，即為球體圓周。</p>	<p>小組討論，往往能產出更多解答，有時也會有意想不到的新想法，這種主動思考以及注重團隊相互合作的模式，也讓我樂在其中！</p>

1100907常

日期：110年9月14日

年級：210 座號：22

姓名：劉智仁

地球圓周測量 - (一) 探究反思

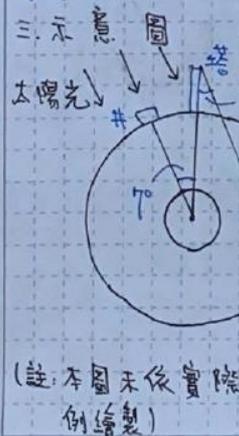
△ 說明

一 探討對象

→ 厄拉多色尼測量地球圓周方法

二 方法說明

→ 厄拉多色尼先找到一處受陽光直射的水井，再找一個半受太陽直射的塔，再量取高塔頂端與陽光夾角，最終利用駱駝商隊在一次旅行距離，再算出水井和高塔距離，則此距離即為地球圓周的三百六十分之一高塔頂端與陽光夾角。



1. 此處的量測方法需做出哪些推理假設?

Ans: ① 理論基礎：地球是圓的。
↳ (亞里斯多德觀察月蝕發現)

② 推理假設：太陽光可視為平行光。

2. 哪些變因影響了量測的準確度?

Ans: 變因一：駱駝商隊估測兩地距離

- ① 駱駝商隊的速度及穩定度不足
- ② 受地形、氣候影響商隊難以走直線距離

變因二：兩地經度差

- ① 兩地不在同一經度線，故測量結果和實際南北向地球圓周有誤差 *good!*
- ② 因兩地有經度差，故若以太陽為量測工具，量測出的角度(圓心角)其實有誤差

心得與反思：在資訊不夠充足、知識不夠完善的時代，厄拉多色尼還可測量地球圓周，相當不簡單！但是分析與思考厄拉多色尼的方法，仍有不少不足之處。這也這是科學研究的趣味所在，隨著知識的擴充與技術的成長，不斷地檢視過往科學研究的誤差原因並予以修正或克服，才能使科學的發展蒸蒸日上、欣欣向榮。

日期：110年10月5日

年級：210 座號：32

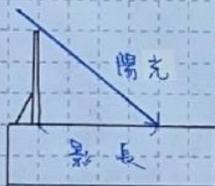
姓名：劉智仁

太陽仰角實測

△太陽仰角測量方法

→ 量取太陽光在太陽觀測器上形成的影子長度，和太陽觀測器直立的紙板高度，再利用計算器 tan 的功能，即可算出太陽仰角。

△太陽觀測器使用示意圖



△測量分析與目的

⇒ 測量目的

→ 藉由連續性記錄太陽觀測器測量結果，以確認太陽觀測器測量的穩定度是否良好。

⇒ 測量分析

→ 將各組數據以 Excel 製圖彙整，可輕易觀察各數據的趨勢和比較。

測量數據 日期：110/10/05；地點：地科教室頂樓

時間 組別	10:20	10:40	11:00	11:20	11:47
一	56.23°	58.92°	59.16°	62.25°	63.3°
二	54.75°	56.57°	59.04°	66.25°	71.9°
三. 1st	55.39°	58.20°	60.75°	62.07°	62.52°
三. 2nd	54.00°	56.24°	58.15°	59.70°	60.15°
四	52.28°	53.62°	56.11°	58.00°	59.41°
五	64.00°	57.00°	62.00°	65.00°	65.00°

(本組為第三組)

註：三. 1st ⇒ 第一代太陽觀測器

三. 2nd ⇒ 第二代太陽觀測器

110年10月5日 11:47 a.m. 太陽有最高仰角 63°

(根據交通部中央氣象局資料)

控制變因

→ 太陽觀測器高度、測量地點

操縱變因

→ 測量時間

應變變因

→ 影子長度 (太陽仰角)

101005 智仁

心得與反思：本次課程是第一次戶外實體測量，既有些興奮又有些戰戰兢兢！數據分析後可以發現不管是第一代還是第二代整體的穩定度不差，但仍有部分誤差，以調整與改善，因此有發於設計出其他(節)實驗，以強化數據的可靠程度。

日期：110年10月12日

年級：210 座號：32

姓名：劉君仁

太陽觀測器準確度測試

人工測試太陽觀測器準確度

工具

30°-60°-90°三角柱體、光源(手機電筒)、太陽觀測器

方法

以30°-60°-90°三角柱體與光源配合模擬出仰角60°的光線並與太陽觀測器測量出的仰角比較。

測試

因測試時需將三角柱體靠太陽觀測器頂部筷子處，但筷子本身具有厚度，故測試時取光線到達筷子前端和後端時的測量數據取其仰角範圍。

示意圖

厄拉多色尼利用夏至正午測量數據，求出地球周長，請問你們規劃哪一天的正午測量？請寫下規劃

Ans: 預計於下週(11/19)測量，因定南北方向(地磁北極)，透過測量找出最大仰角，並與該日最大仰角比對，同時找出磁偏角。需於正午測量。

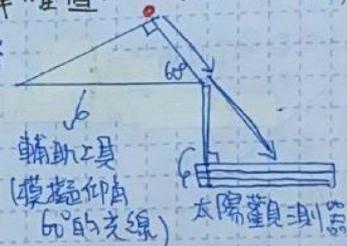
太陽過中天時仰角最高，影子最短，如何得知你測量當日太陽過中天的仰角或影長測量值是準確值。光源(手機電筒)

Ans: 本日無陽光，以人工模擬代替

測量結果：61.07°~62.7°左右

誤差值：1.07°~2.7°左右

(理論值：60°)



找出今日太陽直射地點的緯度，新莊高中與太陽直射地點的距離。你規劃測量當日太陽直射緯度為何。

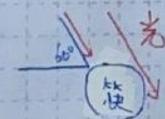
Ans: 10月19日 → 太陽11:44過中天，仰角57°S

(本日因氣候不佳，故未測量)

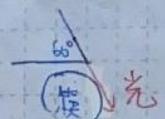
10月12日(本日)太陽直射地點緯度約位於37°S，新莊高中與太陽直射地點約距離3335km

1101012 單

圖(一) 光線到達筷子前端時



圖(二) 光線到達筷子後端時



問題發現

手機光源並非平行光，因此圖(一)所模擬出的光線實際上並非仰角60°，故該數據應予廢棄，又有圖(二)情形，數據可用。

延伸

後續有進一步設計測試，以確保實驗前提未被打破

玖、個人學習心得與反思

一、學習心得

這堂課雖然不在段考中測驗，也只有短短二十堂課，但從一開始對這門課一知半解，到後來漸入佳境，雖然不用考試，但事實上每一次的課程都是種種挑戰，這堂課的成果完全是從零開始，再加上只有短短二十堂課，每堂課都有必須完成的進度壓力以及需要解決的問題，我們一路從了解厄拉多色尼如何求得地球圓周到自製太陽觀測器，再透過各種測量與實驗找出太陽觀測器的誤差以及利用太陽觀測器蒐集相關數據，除了上課中同學們一起進行操作以及共同解決問題外，課外做出的努力我認為也是非常可貴的，例如在發現地科教室頂樓有磁場干擾後，我們便在該日中午與地科老師、物理老師在自然科辦公室外坐在一起，淺談太陽能板、電器及交流電、直流電對磁場干擾，一零八課綱跨領域整合的素養能力便在這一來一往的討論中漸漸落實，因此我認為這門課所要傳給學生的與其他課程有很大不同，這門課的學生是主動者，主動去發現與解決問題，並且極為看中在學習過程中反覆的思辨，對於培養科學精神與學習以科學的方法解決問題有很大的助益。最後，在經歷了無數次的嘗試、測量與討論後，終於生成了一份探究與實作的報告，我認為這是最美好的果實，也是這門課的重要結晶，更是這門課滿滿的感動。

二、個人反思

本次地球科學探究與實作課程中，其實有發生一件插曲，根據課程規定需在每節課的最後繳交科學筆記本紀錄給老師簽名，探究與實作課程每周有兩節，此兩節正好為連續的第三、四節課，因此每週課程最遲應於課程當日第四節下課前繳交，但我有次什麼都帶了，獨獨漏了科學筆記本，雖然說只有一次，但在第三節下課還忘了回教室拿取，第四節下課要批改時才大言不慚地請老師下次再批閱，或許是扣分的刺激，或許是良心的發現，吃飽飯後我振筆疾書完成筆記，此時，問題已不在缺交或遲交會不會扣分，而是對於沒帶科學筆記本這件事並未及時的在第三節下課作出積極作為與處置，這看似並非一件大事，但事實上小事的疏忽往往會造就更大的敗筆，而這裡更大的敗筆便是為學態度的不可取，聽不懂可以問，考不好可以學，但若是為學的態度丟失了，那麼再亮眼的成績，再超群的智商，也不過是兩腳書櫥，學如逆水行舟，不進則退，應該認真對待每一堂課，對自己的學習負起責任。

拾、參考資料及其他

一、參考資料

(一) AEEA 天文教育資訊網。2021 年 10 月 29 日，取自
<http://aeea.nmns.edu.tw/2001/0103/ap010323.html>

(二) 交通部中央氣象局。2021 年 10 月 29 日，取自
https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/astronomy_day.html

二、線上輔助工具

(一)google 地圖,網址 <https://www.google.com.tw/maps>

(二)經緯度距離計算工具,網址 <https://www4.hhlink.com/%E7%B6%93%E7%B7%AF%E5%BA%A6>

(三)磁偏角地圖查詢,網址 <https://www.magnetic-declination.com/>