

三球儀的研究及改進

蔣德勉

一、前言

我國中小學數學及自然科學新課程實施的長程計劃，早已開始。國小部份且已正式施教。國中部份之第一階段的三年實驗計劃，即將於本年（民國 69 年）7 月 31 日完成；第二階段的三年實驗計劃，亦將於本年 8 月 1 日開始執行。新課程不同於舊課程的最大特色，莫過於增列了地球科學教材。地球科學係包括天文學、氣象學、地質學及海洋學等四門而成的綜合科學。其中天文學尤其是所有地球科學的基礎。太陽、地球和月球的關係，更是天文學入門的必經之途。一般中小學的教學，均採用太陽、地球、月球運轉儀（簡稱三球儀）作為教具，以進行直觀的教學。

唯目前市販的三球儀均具有下列三大缺點：

1 太陽、地球及月球的大小與距離，其比例跟實際的數據相差懸殊。

2 地球和月球的公轉軌道均採用正圓設計，而非橢圓。

3 運轉時，每月均能發生日蝕和月蝕各一次，與實際的情況不符。

本文即針對上述三大缺點，深加研究予以改進，並另行設計新型三球儀一種。

二、搜集數據

根據拙作天文學編序教本（台灣開明書店印行），整理並換算有關太陽、地球及月球的數據，如下列表一所示。

表 一

	實 際 長 度	以地球直徑為 1 公分 所換算的相對長度	以地球到太陽的距離為 55 公分所換算的相對長度*
太 陽 直 徑	1.4×10^6 公里	109.75 公分	0.52 公分
地 球 直 徑	12,756 公里	1.00 公分	0.0047 公分
月 球 直 徑	3,475 公里	0.27 公分	0.0013 公分
地球到太陽 的 距 離	最大 1.521×10^8 公里	11,923.80 公分	55.92 公分
	平均 1.496×10^8 公里	11,727.81 公分	55.00 公分
	最小 1.471×10^8 公里	11,531.83 公分	54.08 公分

地球到月球的距離	最大 406,610 公里	31.88 公分	0.1495 公分
	平均 384,404 公里	30.12 公分	0.1413 公分
	最小 356,334 公里	27.94 公分	0.1310 公分
黃赤交角 = $23^{\circ} 27'$ 黃白交角 = $5^{\circ} 9'$ 恒星月 = 27.321661 日 朔望月 = 29.530588 日 回歸年 = 365.24219 日 章動周期 = 18.6 年 * 本設計的用意，乃使該地球環繞太陽運行軌道的直徑為 110 公分（即 2×55 或 $55.92 + 54.08$ ），接近於第二欄的太陽直徑（109.75 公分），俾供應用說明 3,6,7 之用。			

三、研究缺點的發生原因

根據表一第二欄（以地球直徑為 1 公分所換算的相對長度）的數據，諸值均可度量；但地球到太陽的距離，長達 117 公尺以上，無法製作模型以供運轉及說明之用。若根據第三欄（以地球到太陽的距離為 55 公分所換算的相對長度）的數據，則可發現，除了太陽直徑和地球到太陽的

距離尚可度量外，其餘，如地球直徑、月球直徑及地球到月球的距離等，均太渺小，亦無法付諸製作，以供運轉及說明之用。故一般三球儀的製造廠商，均將其放大；其誇張的程度，到達了掩蓋原有黃白交角、近日點、遠日點、近地點、遠地點等特性的出現。茲將市販三球儀實測的數據與表一第二欄的數據，統計比較如下列表二所示。

表 二

	以地球直徑為 1 公分所換算的相對長度	日本東京神田三球儀實測的長度	相對百分率（第二欄／第一欄）
太陽直徑	109.75 公分	20 公分	18.22 %
地球直徑	1.00 公分	9 公分	900 %
月球直徑	0.27 公分	2.5 公分	926 %
地球到太陽的距離	最大 11,923.80 公分	—	—
	平均 11,727.81 公分	36 公分	0.00307 %
	最小 11,531.83 公分	—	—
地球到月球的距離	最大 31.88 公分	—	—
	平均 30.12 公分	25 公分	83 %
	最小 27.94 公分	—	—

根據上面表二第三欄相對百分率的數據，從最小之地球到太陽的距離（0.00307 %），到最大之月球直徑（926 %），其間的相差倍率為：

$926 \% \div 0.00307 \% = 301,628.6645$
 約為 30 萬倍。試問，在這樣巨大的差距下，尚有甚麼準確性、科學性可言。其隨意更改，毫無規律的不科學情形，於此可見一斑。

其次是一般市販三球儀均採用圓心及定長半徑的旋轉型設計，於是地球及月球的公轉軌道必然呈現正圓軌跡。因此與實際運行的橢圓軌道大相逕庭，以致對於日全蝕、日環蝕、日偏蝕、日影蝕、月全蝕、月偏蝕、月影蝕等不同情況的發生原因，亦無從說明。

至於日蝕與月蝕並不每月發生的原因，乃在

於月球運行的白道面與地球運行的黃道面之間，成一 $5^{\circ}9'$ 的黃白交角；同時月球運行的章動（白道軌跡錐體的迴轉），具有 18.6 年的章動周期現象。這兩個天文幾何學中極關重要的因素，一般三球儀均未設計進去；因此在該三球儀中，每月呈現日全蝕及月全蝕各一次，就成為當然的必然現象了。

四、改進設計

針對着市販三球儀的缺點，但面對太陽、地球及月球等三者之間所具有相差懸殊的數據，若欲直接逕行模擬設計，則是絕無可能的事實。同時中小學的學生，尤其是國中的學生，適在皮亞傑所謂具體操作期（Concrete operation stage）而進入正式操作期（Formal operation stage）的過渡時期中，不僅對於黃道、黃道面、赤道、赤道面、白道、白道面、黃赤交角、黃白交角、章動周期等天文學名詞，甚難領悟。即使對於太陽、地球及月球等三者之間的大小比例，亦是必需從模型的具體操作中建立。因此，本文根據教育心理學的學習遷移（Transfer of learning）原理，將教學過程改為分段漸進方式；並

將三球儀分解為黃道儀、大白道儀及小白道儀等三大組件及其附件，予以設計。茲分述如下：

1 黃道儀：

根據表一第三欄的數據，以近日點為 54.08 公分，遠日點為 55.92 公分，作成如圖 1（第 57 頁）所示的橢圓黃道儀。

2 大白道儀：

根據表一第二欄中，地球直徑為 1 公分，月球直徑為 0.27 公分，地球到月球的遠地點為 31.88 公分，近地點為 27.94 公分，以及黃白交角為 $5^{\circ}9'$ 等數據，作成如圖 2（第 57 頁）所示的大白道儀。

3 小白道儀：

根據表一第三欄中，地球直徑，月球直徑及地球到月球的距離等數據，各放大 100 倍而得下列表三的各數值（僅取與小白道儀製作有關的 5 項）。

表 三

	以地球到太陽的平均距離為 55 公分所換算的相對長度	放大 100 倍後的數值
地 球 直 徑	0.0047 公分	0.47 公分
月 球 直 徑	0.0013 公分	0.13 公分
地球到月球的距離	最大 0.1495 公分	14.95 公分
	平均 0.1413 公分	14.13 公分
	最小 0.1310 公分	13.10 公分

根據表三第二欄的數值及黃白交角為 $5^{\circ}9'$ 的數據，作成如圖 4（第 57 頁）所示的小白道儀。

五、材料及製作

茲將本研究新設計三球儀所需的各項材料，詳列如表四所載，然後再逐件詳述製作方法。

表 四

	規 格	數量	單 價	總 價
1# 保利龍板	2.5 cm × 1m × 1m	2	80.00	160.00
2# 保利龍板	2.5 cm × 1m × 1m	1	40.00	40.00
3# 白圖畫紙	全張 (厚)	4	5.00	20.00
4# 南寶樹脂	罐	1	30.00	30.00
5# 黃色廣告顏料	瓶	1	15.00	15.00
6# 扁鐵	2mm × 5mm × 100cm	1	10.00	10.00
7# 螺絲連帽	3cm長 21 個, 0.5cm長 15 個	36	1.00	36.00
8# 三夾板	2.5mm × 1m × 1m	1	60.00	60.00
9# 塑膠軟片	1mm × 50cm × 50cm	1	10.00	10.00
10# 鋁線	φ 3mm × 200cm	1	10.00	10.00
11# 薄鐵片	可以罐頭鐵皮代用	—	—	—
12# 紅色硬紙	30cm × 30cm	1	1.00	1.00
13# 小地球儀	直徑約 5 ~ 10cm	1	100.00	100.00
14# 小保利龍球	φ 1cm (1 個), φ 0.5cm (2 個)	3	—	2.00
15# 小玻璃珠	φ 0.27cm (1 個), φ 0.13cm (1 個)	2	—	1.00
16# 黑圖畫紙	四開	1	5.00	5.00
合計新台幣 500 元				

1 黃道儀的製作：

將 2.5 公分厚的保利龍板，利用電熱絲鋸切成直徑為 130 公分的圓板（或兩塊半圓拼湊而成），然後用南寶樹脂（切勿使用一般強力膠，以免溶化）將白圖畫紙在兩面及周邊黏貼以增強強度。在圖畫紙中央，繪一近日點為 54.08 公分及遠日點為 55.92 公分的黃色橢圓，在圓周上註出近日點、遠日點及 24 氣節。另鋸切一直徑為 80 公分，厚為 2.5 公分的保利龍板，亦照上法黏貼圖畫紙加強，塗上黃色顏料，在其圓周註出十二月份及各日子（注意各月大小的天數，二月為 28 天，並另加四分之一天）。在中心貼一保利龍半球（直徑 0.52 公分）並塗紅色以代表太陽。最後，利用剩餘的保利龍板，鋸切三層（直徑等於 60 公分），將小圓板的表面墊高為 10 公分，

並固定在大橢圓板上，請對準各氣節的日期（參閱拙作「天文學編序教本」）。再用一塊 14 × 16 公分的三夾板，在中央鑽一圓孔，對準各氣節的位置；並使其長邊與冬至夏至的聯線平行，用鉛筆描繪三邊，以為將來小白道儀運行操作的定位依據。

2 大白道儀的製作：

將 2.5 公分厚的保利龍板，利用電熱絲鋸切成 70 × 80 公分的長方形板，黏貼白圖畫紙以增強強度。另鋸一厚為 0.25 公分，內徑 40 公分，外徑 60 公分的三夾板圓框，框上固定如圖 3（第 57 頁）的支架 6 個（請按圖 2（第 57 頁）的方位，用螺絲裝上，必要時宜稍加修整）。將此圓框放置在前長方形保利龍板的中央，在圓框的內側，照圖 2（第 57 頁）固定 6 個導軌擋板

(必要時宜加墊一層厚紙以利旋轉運行)，再加護蓋，用螺絲固定。然後在支架上端用薄鐵皮及螺絲，將鋁線固定，在鋁線上插騎如圖 5 左上(第 35 頁)所示的月球(0.27 公分直徑)即成白道；此外在圓心附近，固定一個如圖 4(第 57 頁)所示的地球插座(北半球指向冬至)。再在長方形板的長中心線兩端，註寫冬至及夏至如圖 2(第 57 頁)所示，另於圓框外側平分爲 18.6 等分以爲章動周期。另用黑圖畫紙(或以白報紙塗黑代用)捲成兩個高爲 28 公分的圓錐，其底圓的直徑各等於 1 公分及小地球儀的直徑，用漿糊黏牢備用，以供操作日蝕、月蝕現象的說明之用。

3. 小白道儀的製作：

將 0.25 公分的三夾板，鋸取 14×16 公分的長方形一塊；在中央黏貼一塊直徑爲 12 公分，厚爲 0.25 公分的三夾板圓盤，在圓盤的外側平分爲 18.6 等分以爲章動周期，圓盤中央的一側黏貼一個如圖 4(第 57 頁)所示的地球插座，插上鋼線並裝上直徑爲 0.47 公分的保利龍球以爲地球(注意保持球心在黃道的水平面上)。另取一張塑膠軟片，按照圖 5(第 35 頁)所示的尺寸大小，剪取實線的部分，用強力膠黏合成一個中空的錐體，將下端(小的一端)的箭頭向外折 90° ，下端套入圓盤外側，上端插騎一個如圖 5 右上(第 35 頁)所示直徑爲 0.13 公分的月球。

六、應用說明

1 將大白道儀中的附件，地球儀取出，說明南北兩極；在其赤道加上代表赤道面的紅厚紙，以說明赤道及赤道面的名稱與意義。

2 就大白道儀，說明白道上的近地點、遠地點、黃白交角等名稱及其意義。進而示範地球自

轉、月球環繞地球公轉的運動，並說明晝夜及月相的成因。最後可以說明月球自轉與月球環繞地球公轉爲同步的現象。

3 就黃道儀，說明黃道上的近日點與遠日點的名稱及其意義。然後，將小白道儀放在黃道儀的底座上，予以示範操作。進而示範地球環繞太陽公轉、月球環繞地球公轉、月球自轉及地球自轉等各種相對運動，同時說明各氣節的名稱及其成因與意義，進而解釋我國舊曆(陰陽干支三合曆)的科學意義。

4 利用大白道儀及日蝕與月蝕的影錐，說明日蝕與月蝕的成因。並就大白道儀，測量近地點與遠地點的距離；另就黃道儀，測量近日點與遠日點的距離。進一步說明日全蝕、日環蝕、日偏蝕、日影蝕、月全蝕、月偏蝕及月影蝕等成因，以及何以沒有月環蝕，且月蝕多於日蝕的原因。

5 利用小白道儀與黃道儀，並輔以大白道儀，以說明月相與潮汐的成因，以及月相與日蝕及月蝕的關係。

6 將小白道儀置於黃道儀的基座上運轉，並輔以大白道儀，以說明白道面與黃道面交接而形成的交點線(Line of nodes)，以及交點線與白道相交而形成的交點(Nodes)等名稱及其意義。再進一步說明月球位於交點時，才具有發生日蝕或月蝕的可能。然後順時針方向旋轉小白道儀或大白道儀之章動的底座，以說明章動周期的名稱與意義，並說明何以不能每月均發生日蝕或月蝕的原因，以及日蝕與月蝕在全球各地輪流出現的道理。

7 最後將大白道儀裝上 1 公分的地球和 0.27 公分的月球，然後將黃道儀當作太陽，放到 117 公尺以外的地點(宜先估算一個地點)，以說明太陽、地球及月球等三者之間的相對大小，給予一個正確的比例觀念。

七、結論

茲將本研究的新設計三球儀與一般舊式三球儀，作一比較，並將兩者有關性能之優劣各點，列表對照如次：

表 五

	新設計三球儀	舊式三球儀
黃道面	具體、清晰	抽象、模糊
白道面	具體、清晰	未能表達
赤道面	具體、清晰	抽象、模糊（只有赤道）
黃赤交角	具體、清晰	抽象、模糊
黃白交角	具體、清晰	未能表達
近日點與遠日點	具體、清晰	未能表達
近地點與遠地點	具體、清晰	未能表達
四季成因	具體、清晰	具體、模糊
氣節說明	具體、清晰	未能表達
日蝕、月蝕	具體、清晰	具體、模糊
月相	具體、清晰	具體、清晰
潮汐	具體、清晰	具體、清晰
交點及交點線	具體、清晰	未能表達達
章動周期	具體、清晰	未能表達
相對大小	具體、確實	根本不對

根據上表，在性能方面，本研究的新設計三球儀，遠勝於一般舊式三球儀。至於經濟方面，根據表四所需材料的估計結果，總價大約在新台幣 500 元左右，只有一般舊式三球儀（大約新台幣 3,000 元）的六分之一而已。至於製作而獲得的教育成效，猶其餘事也。

八、建議

本新設計三球儀的製作，均以自製為原則，難免因陋就簡而製作繁雜費時。譬如：保利龍部分，若能採用鋼模直接壓製；圖形交由印刷廠印製；配件零件由工業職業學校之學生實習時製作

；經由如此的大量生產，裝成整套的組合製作盒發售，或由教育行政當局分配各校，當可達到價廉物美的經濟效益。際此政府提高科學教育投資，中小學自然科學新課程全面改革而大力推行的前夕，個人不辭蕪陋，撰寫本文，敬請各界先進，惠賜高見，以求改進，俾有助於科學教育的推展。

九、參考用書

- 1 The American Ephemeris and Nautical Almanac (1978) U.S. Government Printing Office,
- 2 Exploration of the Universe (Third Edition) George O. Abell Holt, Rinehart and Winston
- 3 Astronomy (Ninth Edition) Baker and Fredrick 興業圖書股份有限公司
- 4 Astronomy and Cosmology Fred Hoyle W.H. Freeman and Company
- 5 Meyers Handbuch über das Weltall (1973) Bibliographisches Institut Mannheim /Wien/ Zürich
- 6 天文學編序教本 蔣德勉 台灣開明書店
- 7 中國之科學與文明（五） 李約瑟著曹謨譯 台灣商務印書館
- 8 天文日曆（1979） 中央氣象局

十、誌謝

本三球儀的設計過程中，承蒙台北市立天文台技士阮國全先生，數度撥冗商討，并借用參考文獻；本文完成後，復承中國天文學會理事長沈君山教授，總幹事蔡章獻台長及理事阮國全技士校讀全文，提供高見。於此一併，謹致謝忱。

