

天文教學的觀念背景和目標

何耀坤

臺南市私立光華女中

隨青少年的成長，引導他們理解環境能走健全過程，提供生活的充實而準備將來，就是教育。科學教育對社會人而言，無論職業或地位，以形成有價值的世界觀和人生觀為目的。所以要以現代的科學宇宙觀為基本，使能理解並能順應自然界，提供正確的自然認識的機會，培養其創造能力。

回顧天文學史和宇宙觀的變遷，人類最古的知識和學問是天文，現在最新的知識和學問也是天文。天文學無論在那時代都發揮了最大思考力，並以最精密方法探索大自然。有關天體的發現故事無論男女老幼都有吸引力，但是應避免片斷知識，要給有系統的天文知識，因此天文教學必須有計畫及方法和技術。本文提出在中學課程中的天文教學歷史背景和教學目標，並介紹作者多年在臺南市，以一般社會人士及學生為對象，舉辦社教天文活動的經驗。

一、天文教學的機會

下列分項列出天文興趣，以及喚起天文教學的動機和教材。

1. 數理方面：數學、天體力學、自然哲學、天文學的數字。
2. 週期現象：①時間——時鐘，秒針的移動。②一天——日出，日落，太陽中天，太陽表面（如黑子）。③一個月——月球的盈缺，潮水的漲落。④一年——太陽中天高度變化，流星群，四季的星座。
3. 年中行事：元旦、七夕、夏至、冬至，學校天文社。
4. 一時現象：日蝕，月蝕，星蝕，天體通過太陽面，彗星出現，流星群出現，火星接近，小行星接近，木星和土星，隕石和隕鐵落下。
5. 地球外的特異現象：太陽的光熱，核子能，恒星的年齡，恒星之高溫，宇宙的低溫，銀河系，太陽系之演化，白矮星和高密度，星雲的宇宙，宇宙的生命。

6. 人爲的事象：宇宙航行，月球旅行，火星火箭，天體觀測（月球和行星），觀測會，天文演講，天體照片，天文電影，展覽會，天文台，天象儀，參觀科學館，天文教具（如星座盤，天球儀），天文望遠鏡，天文圖書、星圖，日月曆，天文學史，天文學家傳記，和天文學家見面。

7. 藝術和宗教：文學、詩歌，音樂、星座故事，繪畫；神、佛、易、星占術，古典。

二、認識宇宙

宇宙是什麼？生命是什麼？是古今人類的兩大疑問。人類以地球爲住居，吸收宇宙的能量生活，是過去，現在，將來絕不改變的。地球的能源是太陽，我們從太陽，月球和星星的動向學習自然體系，建立科學、藝術、文學和宗教。古代人由於日蝕、月蝕和彗星的出現引起驚異，從懷疑進入天體宇宙的神話時代，對天體有易占，對太陽和月球有信仰和迷信。今日我們以天體運動和引力，時間，電波，光和能探索宇宙。

從中世紀以後到現在一般人所認識的太陽系構成各天體，以及銀河系的知識，容易給中小學學生了解，現在中小學科學教材中也有編列。在高中地球科學、物理和數學教材中有關天文部分，應以數理，天體力學和天體物理爲重點。

三、宇宙觀的變遷

人類宇宙觀變遷，是由古代的狹窄而主觀的宇宙觀，發展爲今日的壯大而客觀的宇宙觀。古代的宇宙觀測從月球開始，因爲月球顯示曆的週期，和文明有密切關係。公元前130年希臘人Ptolemaeus出版了天文全書（Almagest）建立以地球爲中心的所謂「天動說宇宙體系」。十六世紀時波蘭人哥白尼Copernicus（1473～1543年）從觀測行星運動結果，發現地動說的矛盾，著天體迴轉論提倡行星運動體系的所謂「地動說」。當時地動說支持者義大利主教Bruno，受羅馬教庭審判被判火刑，是文藝復興之前的犧牲者。

Copernicus以後丹麥天文學家Brahe（1546～1601）作了許多天體觀測紀錄，後來由克卜勒（Kepler 1571～1630）整理他的觀測資料。尤其分析火星軌道，發現行星運動的三法則，所謂Kepler三法則。1610年伽利略（Galilei）首先使用望遠鏡發現木星的四大衛星，和月面坑洞，又觀測太陽黑子，土星和金星。他認爲木星和其四衛星的運行是太陽系的小模型，以觀測事實和數學理論配合完成了宇宙構造基礎理論。

牛頓 (Newton 1642 ~ 1727) 在數理上發明了微積分和運動力學之三法則，發現可解決 Kepler 三法則的萬有引力，出版了 Principia 完全解明太陽系天體運動。1781 年 Herschel (1738 ~ 1822) 開發大反射望遠鏡 (口徑 45 公分) 而發現天王星。1846 年 Adams 和 Leverrier 分別對天王星軌道運動研究結果，預測有未知行星之存在，果然由當時柏林天文台長用望遠鏡發現了海王星。以後各國建設了大天文台，於 1930 年美國 Lowell 天文台發現冥王星和許多星雲，是天體攝影的一大勝利。

本世紀有核子反應的研究可說明太陽能之謎，也應用於恒星本體的說明。現在各國爭相用太陽電波和天體電波之觀測，建立電波望遠鏡等龐大設備。在天體力學方面，繼牛頓以後由愛因斯坦的相對性理論完成了新重力理論，發展新宇宙論。國際地球物理年 (1957 ~ 1958 年) 時，蘇俄和美國前後發射人造衛星。於 1961 年蘇俄發射載人太空船，1968 年 12 月太陽神八號成功於月周飛行。1969 年 7 月 21 日太陽神十一號送阿姆斯壯和艾德林兩人到月面上。

四、對空間的理解

天體距離的測量是困難的，1810 年德國 W. Bessel (1784 ~ 1846) 發現恒星的視差，揭開了宇宙測量，是三角測量法的天體之應用，超遠方的星可用分光視差。極微測角和測光數理和方法，於 1908 年由於 Cepheus 型變光星的周期光度關係的發現，美國哈佛天文台 Shapley 台長成功於應用測量銀河系，星雲和星團的距離，建立了無限大宇宙的概念。現在用巴洛馬山上的 Hale 天文台五公尺望遠鏡，可拍攝五十億光年的天體。用現在最新的電子顯微鏡 (電壓 100 萬伏特，極微 $250 \text{ \AA}$ (Angstrom) 之小也可納入視野) 放大倍率達二十萬倍。由於物理學的進步，分子、原子，粒子和電子等，無限小的極微世界也可納下我們的視界。現在我們能將極大宇宙空間至極微世界空間，以科學知識來理解。在此重新可發現人類的價值和在自然界的地位，這是天文教育目標最佳條件。天文教學目標是向無限大的宇宙，另一方面也要理解極微世界，才能探索現代自然科學。例如原子物理學開拓了太陽和恒星的物理學，歸納支配整個物質界的統一性法則。

太陽系內的天體距離，以太陽和地球間平均距離 (14960 萬公里) 為一天文單位 (AU)，表示行星和彗星的距離。恒星的距離以視差為基本測定量，以直線距離能換算。視差角度之數值用秒差距 (Par Sec) 表示，1 秒差距是等於視差 1 秒之距離，其長度為 3.26 光年。2 秒差距是視差 $0.5''$ 之距離，等於 6.52 光年。秒差距也用於表示恒星、星雲和星團，宇宙之大小。

五、對時間的理解

時 (time) 是根據天文觀測制定的單位，表示時刻的器具是鐘錶，所以鐘錶是和我們生活最有密切關係的天文器具。時刻 (時點) 的決定是利用有規則的周期運動，如周日運動，月球的盈缺，地球自轉；公轉周期和行星的會合周期。現在使用地球自轉周期，以公轉周期為基準，稱曆表時。過去機械鐘錶最普及，現在也用音叉振動，水晶電振，電發振器的高頻率振動等，將來可能會用原子和分子的振動，原子頻率數成為測定時間的標準裝置。

利用天體周期現象測時的基準點，而決定日常的標準時和天文時，將時法以周期性自然基準的決定法可分如下表 1。鐘錶機械若調節指針速度，能表示平均太陽時 (標準時) 或恒星時。地球自轉周期過去一直被相信絕對正確的天然鐘錶，所以一秒鐘以地球自轉周期為基準，是根據恒星日周運動觀測而決定，其精度為一秒鐘的一千分之一。

表 1 時法的種別

周期現象	基準點的決定法	時的名稱	測時器具
太陽的周日	日影的位置方向	視太陽時	日時鐘
同上	視太陽的時角 + $12h$	視太陽時	經緯儀
地球的自轉	(平均) 太陽的南中	(平均) 太陽時	標準時鐘
同上	春分點的時角	恒星時	天文時鐘
地球的公轉	春分點的時角	曆表時	(水晶時鐘)

在天文學所謂「時」是以觀測地的子午線，和過春分點的時圈的夾角，以赤經的時分秒表示，在天文台以子午儀 (只觀測天體過子午線的望遠鏡) 精確測定。現在用照片能自動作天體過子午線觀測，根據這觀測能求地球自轉的角速度，可檢討自轉運動，所以必需要精密的天文時鐘。第二次大戰以前約四十年間使用天文時鐘 (用自由鐘擺，日差僅 0.001 秒)。因地球自轉速度也有不規則變化，另有潮汐影響等引起地球運動的變化，所以「世界時」也會變動。

有無絕對沒有誤差的標準天文及物理現象呢？第二次大戰後利用原子物理學及電子工學成果，放棄了以地球自轉計算法，而採用公轉的「曆表時」新時刻概念以及「原子時」的絕對時間概念。1956 年國際度量衡委員會受世界天文學機構的建議，規定不變

的時間單位為「一秒鐘是，於 1900 年 1 月 0 日 12 時（曆表時）的一回歸年（一太陽年）的 $1 / 31556925.9747$ 」。設正確反覆頻率數（ H_z ） f 的周期現象， t 秒間反覆

n 次時，
$$f = \frac{n}{t} \quad \text{或} \quad t = \frac{n}{f}$$

所以使用頻率數安定的發振現象，可得正確的 t 秒。第二次大戰後電子工學進步的美國陸續開發了用氦分子的頻率數振動的原子鐘，及用氫、氘等原子 Spectrum 的原子頻率數振動器（原子時鐘），其中強力的頻率發振器稱 Maser（= microwave amplification by stimulated emission of radiation）。這些頻率數的單位（一秒），在 1964 年的國際度量衡總會，以氫的特定物理條件下，一秒鐘的標準頻率數為 $9192631770 H_z$ 。

以上所述的自然時和人工時兩種時刻，在國際會議採用所謂「協定世界時 UTC」。國際報時局以精度 ± 0.1 秒作頻率數調整，於 1970 年決議將標準電波的調整為一年間一秒鐘。我們從 1972 年開始於一月一日特別調整後，每年七月一日增加一秒鐘。地球自轉速度慢時增加一秒，快時減少，這稱「閏秒」。

六、理解天文數理

自然現象有周期，如日蝕和月蝕從數年以前就可預報發生的月日甚至時分，蝕象會按照預報日期和時間發生。這是根據太陽，月球和地球的周期性運行理論推算出來的，如哈雷彗星的回歸。天體現象在許多自然現象中，周期性最單純，所以在中世紀時已有天體力學，能精密計算日月蝕。天體宇宙的數理操作從伽利略開始，後來克卜勒發表行星運動的三法則，後來牛頓開發微積分學，發現萬有引力的法則。1781 年 Herschel 發現天王星，1846 年有海王星的數理上的發現，當時的天文學家中有不少是數學家（表 2）。

二十世紀的宇宙物理學以數學方法展開，對自然現象有邏輯思考能力的人，對數學必有興趣而在相關學科範圍能發揮其才能。天體運動的研究以力學解析，歸納法則為目標，因此近世數學家中有許多精通天體力學。太陽系內的各天體的運動對這些數學家來說，是宇宙的一大計算機。

七、社會教育和天文

人類從太陽，月球和星的運行，了解宇宙的構造，學習自然的體系，同時獲得思想

表 2 近世的天體力學數學家

牛頓 Newton (英國)	1642 ~ 1727	創始微積分法，作解析數學之基礎。發現運動三法則、萬有引力法則、創始天體力學。
Maclaurin (蘇格蘭)	1698 ~ 1746	天體的迴轉、形狀力學研究，潮汐學等，建立後世的天體力學基本。
Euler (瑞士)	1707 ~ 1783	作剛體運動方程式，建立歲差、章動現象理論。
Lagrange (法國)	1736 ~ 1813	著解析力學，作天體運動方程式，解三體問題。
Bode (德國)	1747 ~ 1826	發現行星排列的 Bode 的法則，天王星的發現和此法則相符，促進小行星的發現。
Laplace (法國)	1749 ~ 1829	完成天體運動理論體系，出版天體力學。提倡太陽系起源、星雲說。
Olbers (德國)	1758 ~ 1840	發現彗星的拋物線、軌道確定法。
Gauss (德國)	1777 ~ 1858	開拓攝動論，創立橢圓函數，最小二乘法。
Encke (德國)	1791 ~ 1865	用 Gauss 的最小二乘法，作精密的軌道計算。Encke 彗星發現者。
Abel (諾威)	1802 ~ 1829	建立月球引力、潮汐理論，開拓橢圓函數理論。
Jacobi (猶太)	1804 ~ 1851	完成偏微分方程式，成為天體的攝動理論的基本方程式。
Hamilton (蘇格蘭)	1805 ~ 1865	開發 Hamilton 原理，偏微分方程式，運動方程式，革新天體力學。
Leverrier (法國)	1811 ~ 1877	從計算天王星運動的攝動作用，預言新行星，後來由 Galle 發現海王星。
Adams (英國)	1819 ~ 1892	和 Leverrier 分別展開天王星軌道力學理論，預言新行星，導致發現海王星。
G. Darwin (英國)	1845 ~ 1912	進化論的達爾文之第五兒子，天體力學家，完成潮汐理論。
Poincare (法國)	1854 ~ 1912	天文數理學家，著作「天體力學新法」是 19 世紀天體力學的大成。

，產生宗教，藝術和文學。科學、宗教和藝術由於民族、國家和時代有不同，但是基礎都建立在人類和天體和宇宙的關係。自然是偉大的，人類是渺小的，所以人類將所有的活動能量和生活上的幸福，都期望於天體宇宙之間，這是天文在社會教育的目標之一。天文在社會教育可分下列三方面。

(一) 爲科學的天文

包括天文學和宇宙物理學的應用和知識體系的關心和介紹。

(二) 精神活動和天文

研習和實踐的活動，包括哲學、思想、宗教方面的理論的實踐，以及政治、歷史、世界觀和人生觀的應用。

(三) 爲文化的天文

包括藝術、文學、曆、報時、電波、衛星通信，航空、航海、農業、漁業、建築等方面的活動。

天文方面的社會教育活動實施場所，包括博物館、科學館、文化中心、學校（包括社團天文活動），圖書館和社教館等。內容可從上列 1、2、3 選擇，有研習、講習、演講、放映、用天文望遠鏡觀測，展覽會等。這些機關實施天文活動的日期，可利用特殊天體現象時期，如日蝕，月蝕，彗星的出現，火星的接近時。有時利用紀念日，年中行事，如曆日上的黃道吉日，七夕、中秋觀月，流星雨時期舉行，必有特別的效果。臺南地區現在沒有天文專門機關，本人在上列場所舉辦過社教性天文活動，每次出席人數超過所預定。最近一般社會人士對天文的興趣和品質漸漸提高，自己購置有天體望遠鏡的人數增加很多。這不僅是哈雷彗星回歸的熱潮刺激，證明一般人對宇宙科學更加關心的時代趨勢。

主要參考書

1. 天文學史の試み：廣瀨秀雄（誠文堂新光社）。
2. 近代天文學の夜明け：齊田博（誠文堂新光社）。
3. 天文教具：高城武夫（恒星社）。
4. 星の年表：齊田博（誠文堂新光社）。
5. 天文用語事典：天文ガイド編。
6. Cosmos：Carl Sagan。