

# 穿越星空 百億年

宇宙創始者的面孔

無巧不成宇宙  
宇宙結構的形成

恆星

探索星球的誕生  
超新星、星球演化和元素合成

太陽系

變化萬千的太陽  
行星系統的起源

曾耀寰◎主編

# 穿越星空 百億年

臺灣商務印書館

穿越星空百億年／曾耀寰主編 --初版--臺北市：臺灣商務，2012.02  
面；公分--(商務科普館)

ISBN 978-957-05-2672-1(平裝)

1. 天文學 2. 文集

320.7

100024283

商務科普館

## 穿越星空百億年

作者◆曾耀寰主編

發行人◆施嘉明

總編輯◆方鵬程

主編◆葉欄英

責任編輯◆徐平

美術設計◆吳郁婷

出版發行：臺灣商務印書館股份有限公司

臺北市重慶南路一段三十七號

電話：(02)2371-3712

讀者服務專線：0800056196

郵撥：0000165-1

網路書店：[www.cptw.com.tw](http://www.cptw.com.tw)

E-mail：[ecptw@cptw.com.tw](mailto:ecptw@cptw.com.tw)

網址：[www.cptw.com.tw](http://www.cptw.com.tw)

局版北市業字第 993 號

初版一刷：2012 年 2 月

定價：新台幣 300 元

ISBN 978-957-05-2672-1

版權所有·翻印必究

# 科學月刊叢書總序

◎—林基興

《科學月刊》社理事長

公益刊物《科學月刊》創辦於 1970 年 1 月，由海內外熱心促進我國科學發展的人士發起與支持，至今已經四十一年，總共即將出版五百期，總文章篇數則「不可勝數」；這些全是大家「智慧的結晶」。

《科學月刊》的讀者程度雖然設定在高一到大一，但大致上，愛好科技者均可從中領略不少知識；我們一直努力「白話說科學」，圖文並茂，希望達到普及科學的目標；相信讀者可從字裡行間領略到我們的努力。

早年，國內科技刊物稀少，《科學月刊》提供許多人「（科學）心靈的營養與慰藉」，鼓勵了不少人認識科學、以科學為志業。筆者這幾年邀稿時，三不五時遇到回音「我以前是貴刊讀者，受益良多，現在是我回饋的時候，當然樂意撰稿給貴刊」。唉呀，此際，筆者心中實在「暢快、叫好」！

《科學月刊》的文章通常經過細心審核與求證，圖表也力求搭配文章，另外又製作「小框框」解釋名詞。以前有雜誌標榜其文「歷久彌新」，我們不敢這麼說，但應該可說「提供正確科學知識、增進智性刺激思維」。其實，科學也只是人類文明之一，並非啥「特異功能」；科學求真、科學可否證（falsifiable）；科學家樂意認錯而努力改進——這是科學快速進步的主因。當然，科學要有自知之明，知所節制，畢竟科學不是萬能，而科學家不

可自以為高人一等，更不可誤用（abuse）知識。至於一些人將科學家描繪為「科學怪人」（Frankenstein）或將科學物品說成科學怪物，則顯示社會需要更多的知識溝通，不「醜化或美化」科學。科學是「中性」的知識，怎麼應用科學則足以導致善惡的結果。

科學是「垂直累積」的知識，亦即基礎很重要，一層一層地加增知識，逐漸地，很可能無法用「直覺、常識」理解。（二十世紀初，心理分析家弗洛伊德跟愛因斯坦抱怨，他的相對論在全世界只有十二人懂，但其心理分析則人人可插嘴。）因此，學習科學需要日積月累的功效，例如，需要先懂普通化學，才能懂有機化學，接著才懂生物化學等；這可能是漫長而「如倒吃甘蔗」的歷程，大家願意耐心地踏上科學之旅？

科學知識可能不像「八卦」那樣引人注目，但讀者當可體驗到「知識就是力量」，基礎的科學知識讓人瞭解周遭環境運作的原因，接著是怎麼應用器物，甚至改善環境。知識可讓人脫貧、脫困。學得正確科學知識，可避免迷信之害，也可看穿江湖術士的花招，更可增進民生福祉。

這也是我們推出本叢書（「商務科普館」）的主因：許多科學家貢獻其智慧的結晶，寫成「白話」科學，方便大家理解與欣賞，編輯則盡力讓文章賞心悅目。因此，這麼好的知識若沒多推廣多可惜！感謝臺灣商務印書館跟我們合作，推出這套叢書，讓社會大眾品賞這些智慧的寶庫。

《科學月刊》有時被人批評缺乏彩色，不夠「吸睛」（可憐的家長，為了孩子，使盡各種招數引誘孩子「向學」）。彩色印刷除了美觀，確實在一些說明上方便與清楚多多。我們實在抱歉，因為財力不足，無法增加彩色；還好不少讀者體諒我們，「將就」些。我們已經努力做到「正確」與「易懂」，在成本與環保方面算是「已盡心力」，就當我們「樸素與踏實」吧。

從五百期中選出傑作，編輯成冊，我們的編輯委員們費了不少心力，包

括微調與更新內容。他們均為「義工」，多年來默默奉獻於出點子、寫文章、審文章；感謝他們的熱心！

每一期刊物出版時，感覺「無中生有」，就像「生小孩」。現在本叢書要出版了，回顧所來徑，歷經多方「陣痛」與「催生」，終於生了這個「智慧的結晶」。

# 「商務科普館」 刊印科學月刊精選集序

◎—方鵬程

臺灣商務印書館總編輯

「科學月刊」是臺灣歷史最悠久的科普雜誌，四十年來對海內外的青少年提供了許多科學新知，導引許多青少年走向科學之路，為社會造就了許多有用的人才。「科學月刊」的貢獻，值得鼓掌。

在「科學月刊」慶祝成立四十周年之際，我們重新閱讀四十年來，「科學月刊」所發表的許多文章，仍然是值得青少年繼續閱讀的科學知識。雖然說，科學的發展日新月異，如果沒有過去學者們累積下來的知識與經驗，科學的發展不會那麼快速。何況經過「科學月刊」的主編們重新檢驗與排序，「科學月刊」編出的各類科學精選集，正好提供讀者們一個完整的知識體系。

臺灣商務印書館是臺灣歷史最悠久的出版社，自一九四七年成立以來，已經一甲子，對知識文化的傳承與提倡，一向是我們不能忘記的責任。近年來雖然也出版有教育意義的小說等大眾讀物，但是我們也沒有忘記大眾傳播的社會責任。

因此，當「科學月刊」決定挑選適當的文章編印精選集時，臺灣商務決定合作發行，參與這項有意義的活動，讓讀者們可以有系統的看到各類科學

發展的軌跡與成就，讓青少年有興趣走上科學之路。這就是臺灣商務刊印「商務科普館」的由來。

「商務科普館」代表臺灣商務印書館對校園讀者的重視，和對知識傳播與文化傳承的承諾。期望這套由「科學月刊」編選的叢書，能夠帶給您一個有意義的未來。

2011 年 7 月



# 主編序

◎—曾耀寰

古 未有天地之時，惟象無形，一切時空處於混沌，現今以管窺天，環顧所處的地球、太陽系、甚至是銀河系，或更遙遠的星系，各自不同尺度結構的形成，不同性質的星體存在，以及之間的關聯，這些現象分別代表了宇宙歷史洪流的不同演化階段。從時間的角度來看，望遠鏡看到愈遠的天體結構，代表了不同階段的宇宙，這是因為光傳送的速度是有限的，我們現在看到的太陽光是來自八分鐘前的太陽，比鄰星則是四年前的比鄰星，而位在獵戶座的參宿四則是六百四十年前，差不多是朱元璋的年代。從空間的角度來看，地球或太陽系的形成，卻屬於宇宙演化過程的後段班，差不多是四十五億多年前，在銀河系的一團巨大分子雲內的角落開始，經由自身的萬有引力塌縮逐漸形成現在的太陽系統。現在知道，銀河系的大小約三萬多光年，這團分子雲的大小約六十多光年，太陽則是在當中某個三光年大小的區域塌縮而成。

若從整個宇宙演化的宏觀角度，宇宙演化可分成以下幾個階段：大霹靂初啟的原生原子時代、星系時代、恆星時代、行星時代及生命時代。宇宙是如何由虛無之中誕生，又如何融合出現在看到的花花世界的基石——基本粒子，在接下來的演化中，星系結構是如何建構，各種不同類型的星系又是如

何產生，乃至於閃爍耀眼的恆星如何從一團低溫低密度的分子雲，逐漸凝結成型，最後又如何恆星的四周分化出行星，進而孕育出生命物質。這些都是現今天文學家對宇宙所提出來的天問。

誰傳道之？何由考之？何以識之？要回答這些天問，天文學家能夠掌握的只有來自宇宙的微光，透過各種波段的望遠鏡接收這些微光，並嘗試說明這些微光所代表的宇宙片斷，到底這個微光是來自哪種物質？它的溫度又是多少？是朝向我們？還是遠離我們？而天文物理學家則要進一步編織宇宙的故事，本著歷代科學家所建立的各種科學理論，不論是物理還是化學，都可以用來了解宇宙在各個階段是如何運作以及如何變化，最後串接成一本宇宙大戲。本書則是遵循這樣的脈絡，將科學月刊以往的文章，依照宇宙學、星系、恆星以及太陽系的分類方式，挑選精彩的天文故事，希望讀者能從這些天文故事，一覽各個階段的宇宙演化，能對天文學以及我們的宇宙有更進一步的瞭解和認識。

值得一提，本書是以袁旂教授的〈宇宙創始者的面孔〉作為起頭。袁教授是資深理論天文物理學家，主要研究星系密度波相關理論，曾任中研院天文所籌備處主任，是臺灣發展天文研究的重要推手，謹以此書紀念袁旂教授。

# CONTENTS

## 目 錄

編者序

### 宇宙論

---

1 宇宙創始者的面孔

袁旂

14 無巧不成宇宙

郭兆林

32 暴脹與殘陷

吳俊輝

46 宇宙結構的形成

曾耀寰

### 星系

---

61 問津銀河

袁旂

84 當牛郎碰上織女

——談星系的碰撞

曾耀寰

95 大麥哲倫王的新衣服

曾耀寰

113 盤子、棒子、盒子與花生米

曾耀寰

### 恆星

---

129 探索星球的誕生

尚賢

145 超新星、星球演化和元素合成

李太楓

159 波霎

沈君山

## 太陽系

---

### 177 變化萬千的太陽

傅學海

### 191 創世紀任務

——追尋太陽系的起源

吳貽謙

### 204 行星系統的起源

葉永烜

### 222 什麼是隕石？

李太楓

### 231 美麗新世界

——太陽系外的行星系統

黃相輔

# 宇宙創始者的面孔

◎—袁旂

任職於中央研究院天文及天文物理研究所

1992年4月23日，柏克萊加州大學 COBE (Cosmic Background Explorer, 宇宙背景探測器) 研究隊伍的主持人史穆特 (George Smoot)，宣布了一項新發現，他們終於在微波背景輻射中找到了皺紋，這個宣告次日就以頭條新聞的姿態出現在全球的大報上。

這是一個什麼發現呢？報紙上面都引述了史穆特的話，他說：「這個發現就好像我們看到了上帝的面孔。」史穆特所指的上帝就是我們宇宙的創始者，這些皺紋並不是祂面孔上的皺紋，而是祂在創造宇宙的那一剎那間留下的手印。這個手印的存在，天文物理學家及高能物理學家，都大大地鬆了一口氣。因為他們三十年辛辛苦苦的工作沒有白費。

我們要了解這個發現的重要性，就得從「大霹靂宇宙論」說起。<sup>1</sup>

---

1. big bang，指的是宇宙自起始時由一密度極高的熾熱物質擴散開來的形成過程，此間譯為「大霹靂」，大陸一般譯為「大爆炸」。「大爆炸」一辭易引起不正確的聯想，故此處棄而不用。所謂「爆炸」指的是一緊密的物質置於一廣大的空間中，而此緊密物質在極短時間內迅速散布到整個空間的過程。但宇宙創生的過程卻不然，因為我們所考慮的對象是宇宙，即是全部的空間，此外別無空間，宇宙創生是空間中任兩點的距離尺度都擴張的，沒有中心點，不同於一般爆炸。所以特立一辭，稱為「大霹靂」。

## 大霹靂宇宙論

人類對其生存的宇宙空間，存著無窮盡的猜想與好奇，在科學尚未昌明的時代，人們只能用哲學的觀點來揣測宇宙。哲學家認為我們的存在是沒有特殊性的，所以在空間上我們所在的地方與宇宙間其他地方是相同的，在時間上我們與遠古或未來也應是一樣的；兩個假設就成立了「完美宇宙論的原理」，一直到二十世紀初期，宇宙論都是在這個原理的支配下衍生的。愛因斯坦的「靜態宇宙」就是一個範例。

1930年左右哈柏（E. P. Hubble）發現了宇宙膨脹，使宇宙論起了革命性的改觀，但是「完美宇宙論的原理」的實力仍在，為了不與宇宙膨脹的觀測牴觸，就產生了物質在不斷創造的說法，創造出新的物質，正好彌補了因宇宙膨脹而減少的密度，因此宇宙的平均密度仍舊不隨時向或地點而改變，這就是有名的「穩態宇宙論」（Steady State Cosmology）。

另一個宇宙論的大學派就是「大霹靂宇宙論」（Big-Bang Cosmology）。主張這派學說的科學家，認為整個宇宙是由一個密度極高、溫度極高的極小空間區域急速膨脹開來，隨之溫度逐漸降低。霹靂後，宇宙仍不斷地在膨脹，這個膨脹就是哈柏所發現的膨脹。

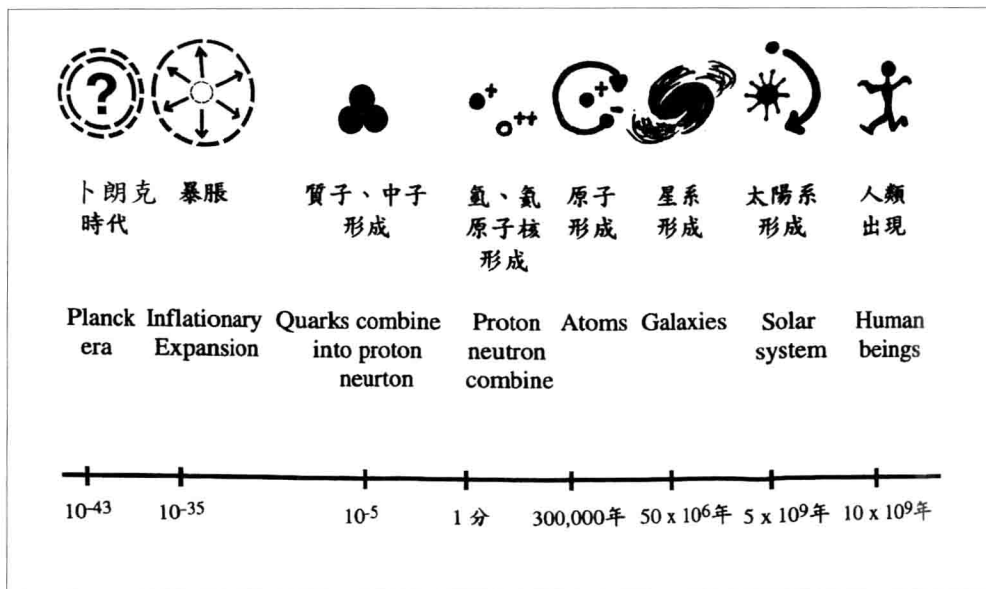
這兩個學說是難分軒輊的，「穩態宇宙論」解釋宇宙膨脹固然有些勉強，但「完美宇宙論的原理」是非常令人折服的哲學觀點；「大霹靂宇宙論」固然符合哈柏的觀測，但是大霹靂是什麼並沒有交代，有點像《厚黑學》裡講的鋸箭法，什麼是大霹靂，那是「內科」的事了。

但是「大霹靂宇宙論」還有兩個優點是「穩態宇宙論」所沒有的。大霹靂成功地解釋了宇宙間氫與氦為什麼含有三比一的比例，它同時提出了微波黑體輻射的預測。這一個預測奠定了「大霹靂宇宙論」今日唯我獨尊的地位。

「大霹靂宇宙論」的開山祖師加莫夫（George Gamow），在創立這個學說後，就預測這個大霹靂的餘燼我們今日應仍可以看到。他當年的計算是說我們可以看到 1 K 的背景輻射，這個數字後來雖被修正成 3K，但其基本概念完全沒有改變，沒有人料到二十年後 3K 黑體微波背景輻射，無意地被發現。這個預測得到了證實，使「大霹靂宇宙論」凌駕於「穩態宇宙論」之上，成了宇宙學的主導力量。

### 3K 微波背景輻射

什麼是 3K 微波背景輻射？霹靂說主張霹靂後宇宙開始冷卻，大約在三十萬年後，溫度到達了 3000 K 左右，空間的質子、氦核子與



圖一：2.73K 黑體輻射微波宇宙背景輻射的比較。

電子開始結合成氫原子與氦原子，這時空間開始清朗，可見光的光子不再受質子與電子之羈絆，可以在空間通行無阻。在這之前，所有的物理現象都被 3000K 的電漿（plasma）給遮住了，所以我們能夠看到的極限就是 3000K 電漿的輻射，這個輻射是黑體輻射，但是因為有宇宙的膨脹，這些輻射的波長都因重力紅向移位而變長了，紅向移位使 3000K 的黑體輻射變成 3K 的黑體輻射。<sup>2</sup>



3000K 的黑體輻射主要的光是紅光，波長  $5 \times 10^{-5}$  厘米，但是 3K 的黑體輻射，主要的輻射來自微波，波長是 0.3 厘米左右，這個波長是眼睛看不到的，而且不易通過大氣，一定要用大型的電波望遠鏡才可以在地面上收到部分的訊號。

這個訊號，就給彭齊亞斯（Arno Penzias）與威爾遜（Robert Wilson）在 1965 年無意間發現了。原來彭齊亞斯與威爾遜的工作是在測試空中的雜訊對通訊衛星的影響，這是美國貝爾電話公司的研發計畫。彭齊亞斯與威爾遜製造了一個大型號角狀的天線，設在美國新澤西州的貝爾公司總部所在地，是一個具有高敏感度的天線。結果他們在厘米波波段中上發現了有 3K 黑體輻射的訊號，這個訊號來自四面八方，不受方向的影響，他們不知道他們尋獲了一個特大訊號，一個大得可以得諾貝爾獎的訊號！當時還以為是天線表面為鴿糞污染所造成的。

他們這個消息，就傳到附近的普林斯頓大學，普大是「大霹靂

- 
2. 紅（藍）向移位有兩種，一種是由於波源與觀測者之間相對運動造成的狹義相對論效應，又稱為都卜勒（Doppler）效應；另一種是局部地在空間中任兩點距離都增大的廣義相對論效應，造成的波長加長，稱為重力紅向移位。宇宙微波背景輻射由早期 3000K 時較短的波長，到今日 3K 時較長的波長，所經歷的是重力紅向移位。我們實際觀測到的微波背景輻射偏紅（藍），則是因為本星系對一更大星系群質量中心快速運動，由都卜勒效應造成的。