

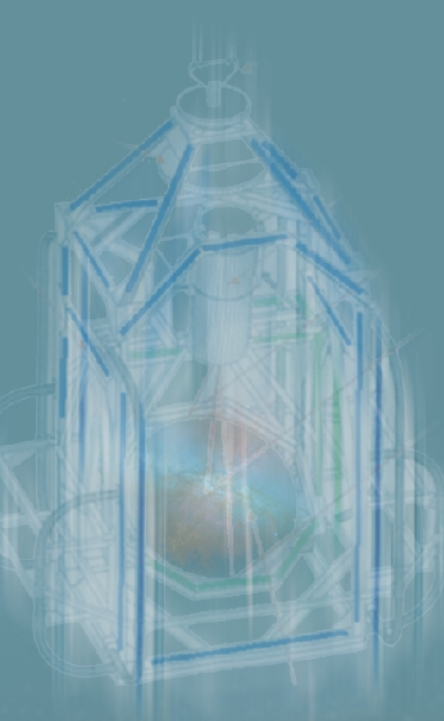
一般報導

宇宙的 奧秘

令人驚艷的 現代宇宙學

自有人類以來，
無垠的宇宙總是引人產生無限的遐想，
究竟宇宙有無邊際、如何誕生、又是怎麼演進？
就讓我們以現代科學的角度，
發掘全新的宇宙觀！

■ 演講人／吳俊輝



最早可考的宇宙學乃是源自中國古代、有數千年歷史的易經。甚至到數百、數十年前，宇宙學都還常被列在哲學、玄學的範疇。一直到了近年來，由於科技的提升以及觀測方式的進步，使得宇宙學慢慢建立成爲一個真正可以量測、數據化的精密科學，許多理論也因此被逐步證實。其中「宇宙微波背景輻射」的觀測尤其對宇宙學產生了全新的重要影響和建樹。

天大地大，究竟有多大

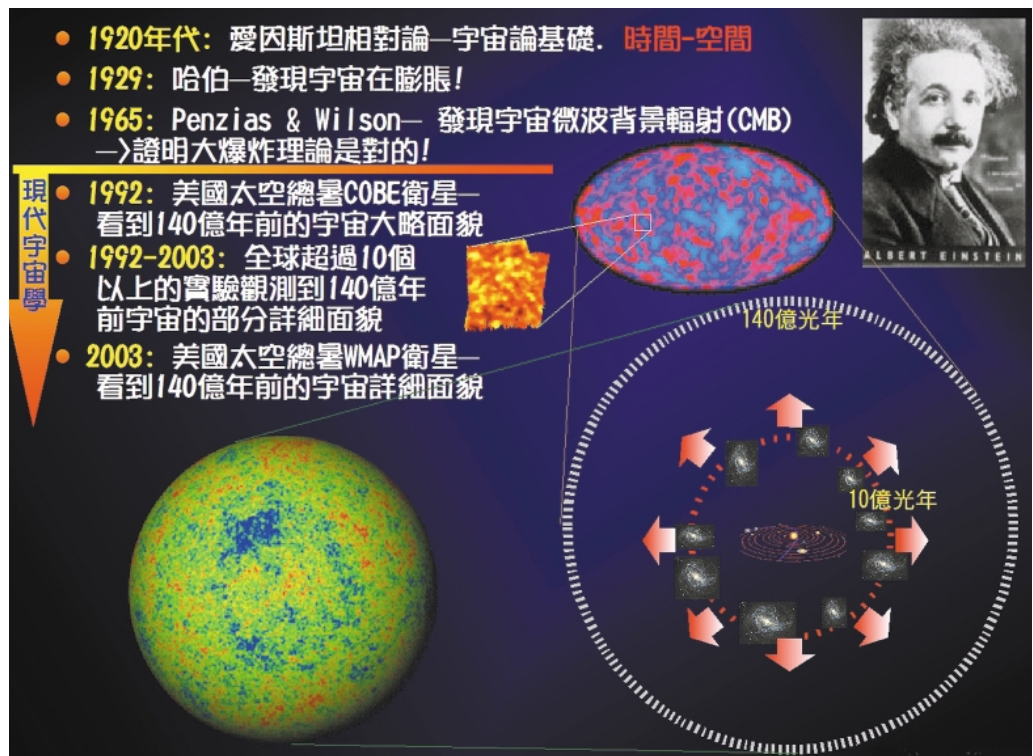
古代的人類認爲地是平的，而海平面的盡頭便是地獄深淵，船隻若是航行到邊緣會隨瀑布掉落下去，那時候對天上眾星辰也認爲是圍繞著地球旋轉，一切以地球爲中心。十六世紀時，哥白尼提出了「太陽爲宇宙中心說」，但這在當時是違背宗教教義而被視爲異端的；到了十七世紀，望遠鏡發明之後，人類發現太陽和宇宙中其它的繁星並無不同，也對宇宙的概念開始有了改變；直到十七世紀末，牛頓發現萬有引力定律之後，成功地利用數學公式與物理定律，來解釋太陽系內的行星運動。宇宙學的科學萌芽則是肇始於愛因斯坦的「廣義相對論」，這是人類第一次可以利用數學的工具及物理的理論來解釋宇宙中的時、空現象及演進過程。從此時起，宇宙學開始擺脫了空談的玄學範疇，進入一個真正數理化的科學領域。

除了各種數理理論的發明與驗證，宇宙的實際觀測學在望遠鏡的日益進步下也漸有斬獲。一九二九年，哈伯透過望遠鏡的觀測，發現宇宙其他的星系正處於日漸遠離地球的狀態，因

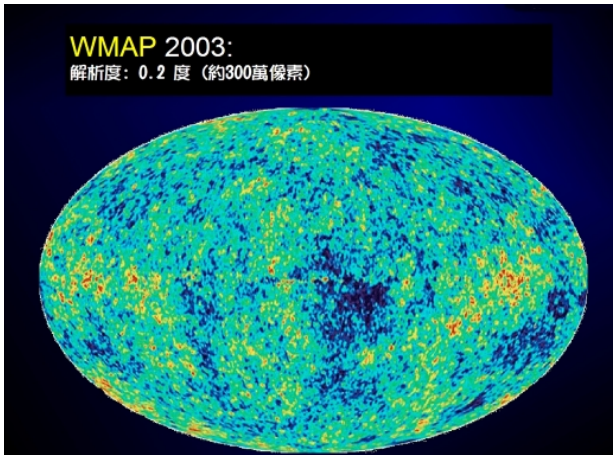
此證實了宇宙膨脹說。在哈伯提出這個膨脹學說之後的數十年間，天文學家透過望遠鏡所能觀測到的宇宙大小，約在十億光年左右的距離（光年是長度單位，光線行走一年的距離，大約是九兆四千六百億公里。）。在一九六五年，盆佳司（Robert Penzias）與威爾森（Amo Wilson）兩位科學家發現了「宇宙微波背景輻射」，除了證明大爆炸的理論正確之外，更一舉將可觀測到的宇宙擴展到一百四十億光年的規模。

「宇宙微波背景輻射」照亮全宇宙

讓宇宙學真正進入蓬勃發展的時代，可以說是開始於一九九二年美國太空總署發射的COBE人造衛星。它透過接收宇宙微波背景輻射，將一百四十億年前宇宙所呈現的面貌做了一個概略的拍攝，也是首次將宇宙誕生約十萬年後的原始面貌展現在世人面前，人類也因此對宇宙誕生的樣貌有了更深入的研究並了解。之後的10年間，世界上有超過10個以上的觀測計畫，成功地觀測到早期宇宙的部分詳細面貌。在二〇〇三年，美國太空總署發射的人造衛星WMAP更是透過更先進的設備和技



近代宇宙學的萌芽 一般的光學望遠鏡只能觀測到十億光年遠的宇宙，而透過宇宙微波背景輻射的觀測卻讓我們的視野一下子擴大到了約一百四十億光年遠。



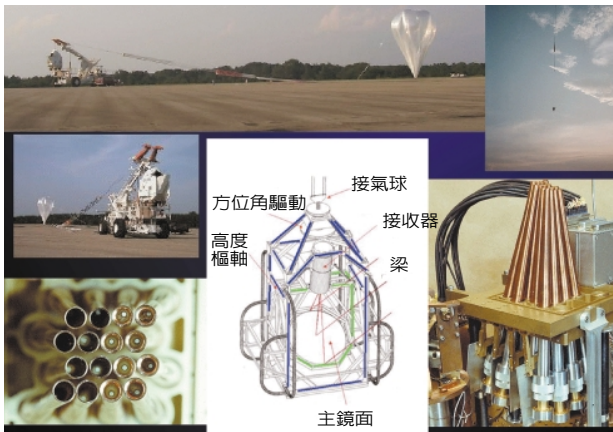
吳俊輝教授提供

根據二〇〇三年美國太空總署的人造衛星WMAP所觀測到的宇宙微波背景輻射所呈現的一百四十億年前宇宙樣貌。

術，將整個宇宙的原始相貌做出更加精細的描述。

爲什麼我們拍到的影像是宇宙誕生約十萬年後，而非宇宙一開始的樣子呢？這是由於宇宙在誕生初期的溫度相當高，游離電子充斥整個宇宙空間，使得光線受到阻礙而到處散射，無法直線前進。等到宇宙形成後約十萬年，由於能量守恆以至於宇宙的溫度隨膨脹而逐漸降低，電子便和氫離子結合而成爲電中性的氫原子，這時候光線開始能夠以直線前進，也就開始了它漫長的一百四十億年的旅程而抵達現在的地球，最後被我們利用微波望遠鏡所看見。

至於爲什麼說宇宙微波背景輻射可以幫助我們探討宇宙演化過程中的許多物理現象，進而了解整個宇宙呢？我們可以想像在漆黑的電影院裡看電影，螢幕持續發出亮光向我們照來，而假設螢幕跟我們中間有一隻蒼蠅飛過，透過光線我們就能很清楚地看見這隻蒼蠅飛



吳俊輝教授提供

科學家們（MAXIMA計畫）透過高空氣球攜帶微波望遠鏡飛到約海拔40公里的高度，觀測宇宙微波背景輻射。

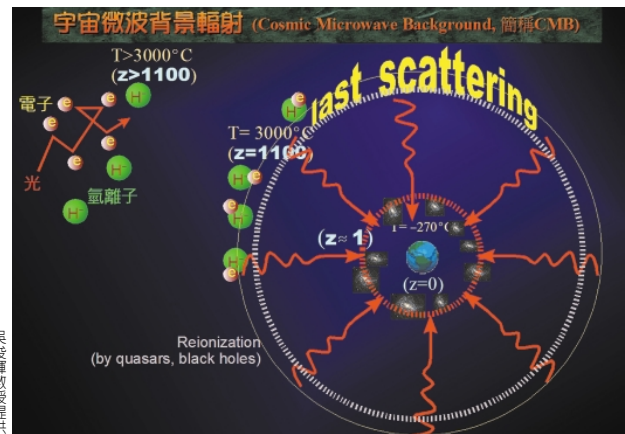
過。同樣的道理，宇宙微波背景輻射就是一個距離我們一百四十億光年遠的超亮螢幕，而在它行進的一百四十億年之間，途中的大小星系、黑暗物質、黑暗能量、甚至宇宙弦、黑洞等細節，都會和宇宙微波背景輻射產生交互作用而被詳細地記錄下來，所以我們只要能夠觀測研究並分析宇宙微波背景輻射，便能對整個宇宙的一切資料有更進一步的了解。目前全世界的科學家們正針對美國太空總署的人造衛星WMAP所拍攝到的資料進行分析和檢驗，也如火如荼地進行其它各種大大小小的觀測計畫，相信在不久的將來我們能夠對宇宙有更深入的了解。

宇宙有多老

那又爲什麼我們可以得知宇宙的年齡約一百四十億年，而不是無窮大呢？因爲光在傳遞的過程中，其波長會隨宇宙的膨脹而增加，所以當宇宙微波背景輻射抵達地球時，我們測量其波長便可算出這些古老光子已在宇宙中穿梭了多久，而知道宇宙的年齡約是一百四十億年。由於這些光子的波長已被宇宙的膨脹拉長至幾毫米，因此我們稱它們爲「微波」，肉眼看不到，又由於其來自四面八方，因此我們稱之爲「背景」。如果宇宙的年齡是無限大的話，那麼微波背景輻射的光波長也會是無窮大（因而能量爲零）而無法被測量到。

宇宙是否爲有限大、有沒有中心

宇宙是否爲有限大、是否有邊緣呢？是否地球就是宇宙的中心點呢？否則爲什麼所有的宇宙微波背景輻射



吳俊輝教授提供

宇宙微波背景輻射照亮全宇宙。



銀河系的恆星、星雲和星塵 在這張我們銀河系盤面的照片裡，可以看見許多熾熱的星雲、冰冷的塵埃和難以數計的恆星。其中，紅色的天體大多是發射星雲，它們是被鄰近年輕亮星加熱，因而放出紅色輝光的氫氣雲。而星塵反射鄰近亮星的星光，形成藍色的反射星雲。包括左上方煙斗星雲在內的黝黑區域，是照片中最突出的物體，它們部分是絲帶狀的星塵，有些是由冷分子雲所聚成的雲氣。在可見光波段，大量的塵埃幾乎遮掩住銀河中心，使得我們在本世紀初才找到銀河中心的正確方位。照片中彌散的輝光是來自數十億顆年老的暗星，這些恆星大多和我們的太陽很類似，年齡通常比星雲大上不少。雖然我們對我們銀河已經有相當的了解，不過，如今我們還是不知道我們銀河大部分的組成物質是什麼。

都距離我們一百四十億光年遠。關於這點，宇宙其實是沒有邊緣也沒有中心點的，但體積有可能是有限大。我們可以透過地球的表面來想像這個問題，地球的表面積為有限大，但是不管你從地球的哪一點開始前進，最後仍能回到原點，因此地球上任何一點都可以是中心點，而且地球表面也是沒有邊緣的；若用學理上的說法，那可以說成：地球表面是在三度空間中被扭曲的二度空間，而宇宙也可能是在四度空間裡被扭曲的三度空間，體積大小為有限。

宇宙裡的物質及星系、星體的形成

根據目前的觀測資料與實驗數據我們可以得知，整個宇宙中的物質，人類可以辨識的大約只占了5%，即所謂的重子，也就是在元素周期表中所定義的物質。而25%屬於黑暗物質、70%屬於黑暗能量，這兩者都是目前

人類所不了解也從未在地球上或任何實驗中所能製造出來的物質。雖然無法得知此二者確實為何，但是透過觀測數據及宇宙模型的比對，我們可以證實這些東西確實存在於宇宙空間中，而非憑空想像或是無中生有。

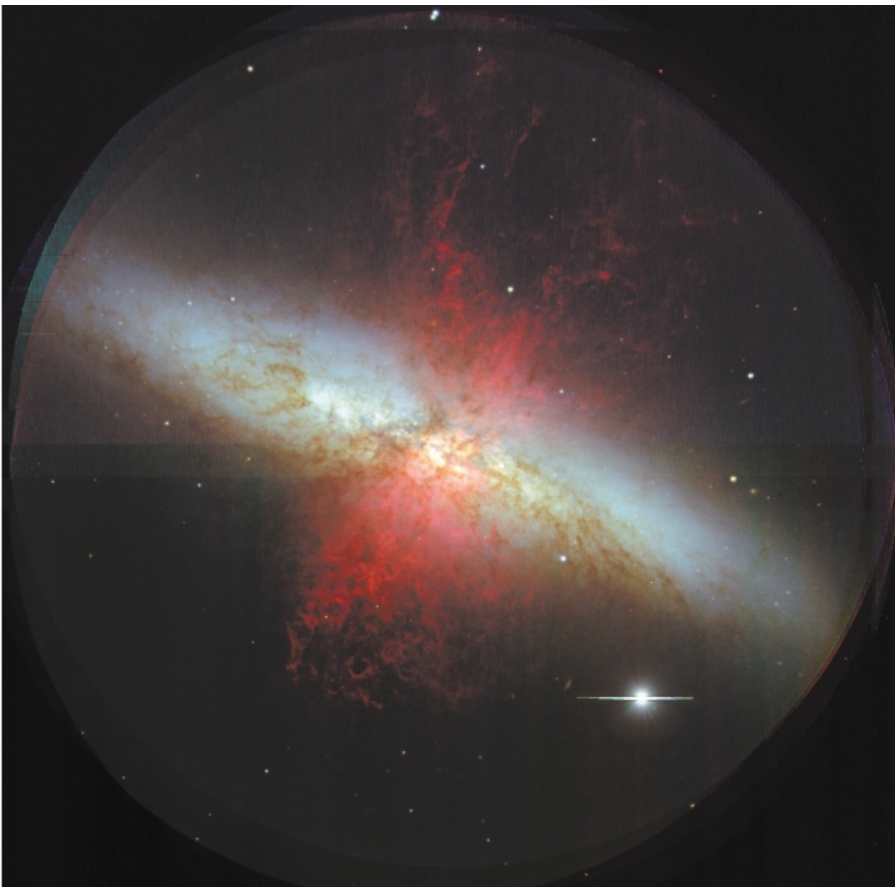
目前我們所看到會發光的星系，皆是由重子組成的。宇宙在大爆炸之後的初期，所有的物質（包括重子在內）密度會因宇宙暴脹理論或宇宙殘陷理論而產生些微的不均勻性，經長時間在重力的作用下，物質密度較高的地方其萬有引力自然也較強，故四周的物質會逐漸被吸引，因此在「大者恆大」的效應下，最後便產生了許多的星系和星球。反觀其它密度較小的區域則因無法產生足夠引力吸引物質，而且反而被吸走，因此密度越變越小而形成了現在宇宙中的廣大太空。目前已觀測到的星系約有十萬個左右，而在未來的數年中，預期將可看到共約一百萬個。



M16 與老鷹星雲內的「星蛋」 在這張哈伯太空望遠鏡照片裡，可以看到許多「星蛋」正從巨大氫氣和塵埃柱的頂端露出來。這些巨大的氣柱長度約有數光年，物質聚集得很緻密，因此內部已經開始發生收縮，逐漸形成新的星星。氣柱上方的年輕亮星，發出很熾熱且很強烈的輻射，把氣柱內較低密度的物質蒸發掉，挖出了許多剛成形的星蛋。老鷹星雲距離地球約有七千光年，也就是說，光要用上七千年才能傳到我們眼睛裡頭。

壽與天齊，宇宙的最終命運

人生苦短，能活上百年已屬難得，人類的歷史數千年、地球的歷史也不過四十六億年左右，這和宇宙的年齡大約有一百四十億年相比，實在是小巫見大巫，年代如此久遠的宇宙，又將會朝向什麼地方走去呢？是靜止不動、或是繼續永無止境的膨脹下去，還是到了某個程度後會往反方向收縮？這些都是值得探究的問題。要探討宇宙的未來，從愛因斯坦提出的廣義相對論可以



雪茄星系吹出的超級星系風 這張影像中的雪茄星系是一個不規則星系，也常被稱為M82。它在不久前通過大型螺旋星系M81附近時，受到不小的擾動。不過這也無法解釋，為何這個星系會有個正在擴張並發出明亮紅色輝光的氣團。最新的證據顯示，星系中心許多恆星的恆星風合併在一起，形成一股超強的星系風。於是，星系內的物質就是被星系風給推送出來，形成這個擴張氣團。左邊這張由日本·昴宿望遠鏡所拍攝的影像顯示，M82內的中性氫氣被星系風吹襲並被激發，因此發出紅光輝光，並形成氣團內的細絲狀結構。這些絲狀結構綿延分布在一萬光年的範圍。距離我們一千二百萬光年的雪茄星系，位在北天的大熊座，用小型的望遠鏡就能觀測到它。



田口天文會「成大物理系」<http://www.phys.ncku.edu.tw/~astro/lab/mirror/sqpd/p031019.html>
 影像提供：CFHT, Hawaii；文稿：蘇漢宗

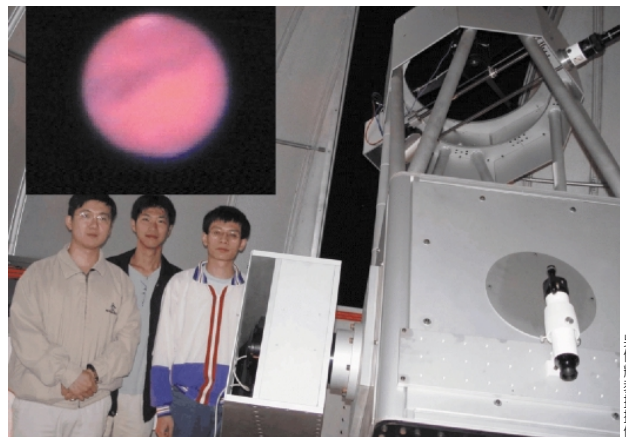
象鼻星雲的怪異雲球 外觀酷似怪獸的象鼻星雲，是一個由雲氣和塵埃所聚成的恆星形成區。不過，影像中唯一稱得上是怪獸的，只有一顆離地球太遠而不致傷害我們的年輕亮星。從這顆亮星發出的高能量光線，正逐漸侵蝕影像上方暗黑彗星狀雲球的塵埃。同時，源自於此恆星的噴流與粒子風，也把周圍的氣體塵埃往外面推。

得到一個滿意的答案。

在講到廣義相對論之前，可以先做個簡單的說明。假設我們從地球上朝太空直線發射一個砲彈，砲彈本身有向外脫離地球的能量（正的動能），而地球有將砲彈拉住的萬有引力（負的位能），動能和位能相加的總和稱為總能量，總能量一共有三種情況，分別是小於 0、等於 0、大於 0。如果總能量小於 0，砲彈最後會掉回地面。若是總能量等於 0，砲彈會以趨近於 0 的速度向無窮遠處飛去。要是總能量大於 0，那砲彈則是以趨近於非 0 的速度一直向無窮遠處前進。

同樣的道理，宇宙在大爆炸之初，具有膨脹的動能及宇宙物質間相吸引的位能。在宇宙學中，有一個參數叫做「總能量密度參數」 Ω_{tot} ，若是 Ω_{tot} 等於 1 則宇宙的總能量為 0，也就是我們的宇宙會永遠膨脹，依廣義相對

論我們也同時知道，這種宇宙中的任何單位圓（以半徑為一的圓）其周長必為 2π ，就好比在一個平的紙面上畫



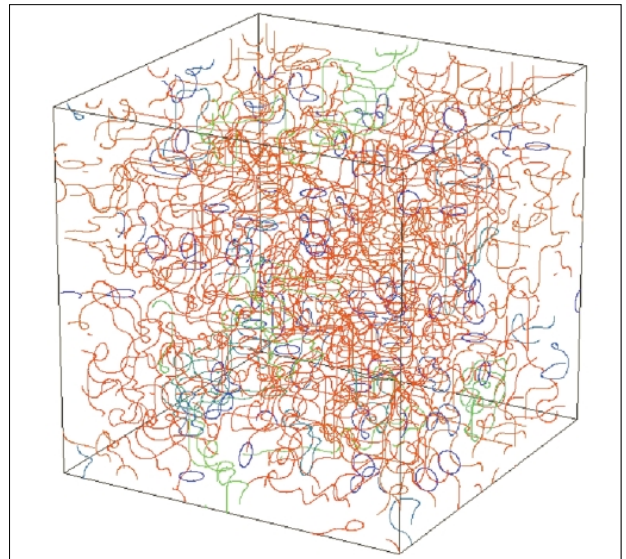
吳俊輝教授提供
 民國九十二年八月新建的台大溪頭鳳凰山天文台，具有全國第三大，口徑63公分的望遠鏡；左上角為其所觀測到在火星大接近時的火星。

圓，故稱之為平式宇宙。若 Ω_{tot} 大於 1 則宇宙的總能量小於 0，所以宇宙最後會又再縮回大爆炸之前的原始狀態，又依相對論知此宇宙中之單位圓周長一定小於 2π ，就好比在一個封閉的球體表面上畫一個單位圓，其周長必小於 2π ，故稱之為封閉式宇宙。反之，若是 Ω_{tot} 小於 1 則宇宙的總能量大於 0，宇宙會永遠膨脹，且畫出來的單位圓周長必大於 2π ，好比在開放的馬鞍面上畫圓，其周長必大於 2π ，故稱之為開放式宇宙。

而宇宙這麼大，我們又要如何在宇宙中畫個圓呢？最好的解決方法當然還是憑藉觀測「宇宙微波背景輻射」就可以得知。而根據宇宙學家們過去三年來的最新觀測結果，已知我們的宇宙正是屬於平式宇宙。

台灣在宇宙學中將扮演什麼角色

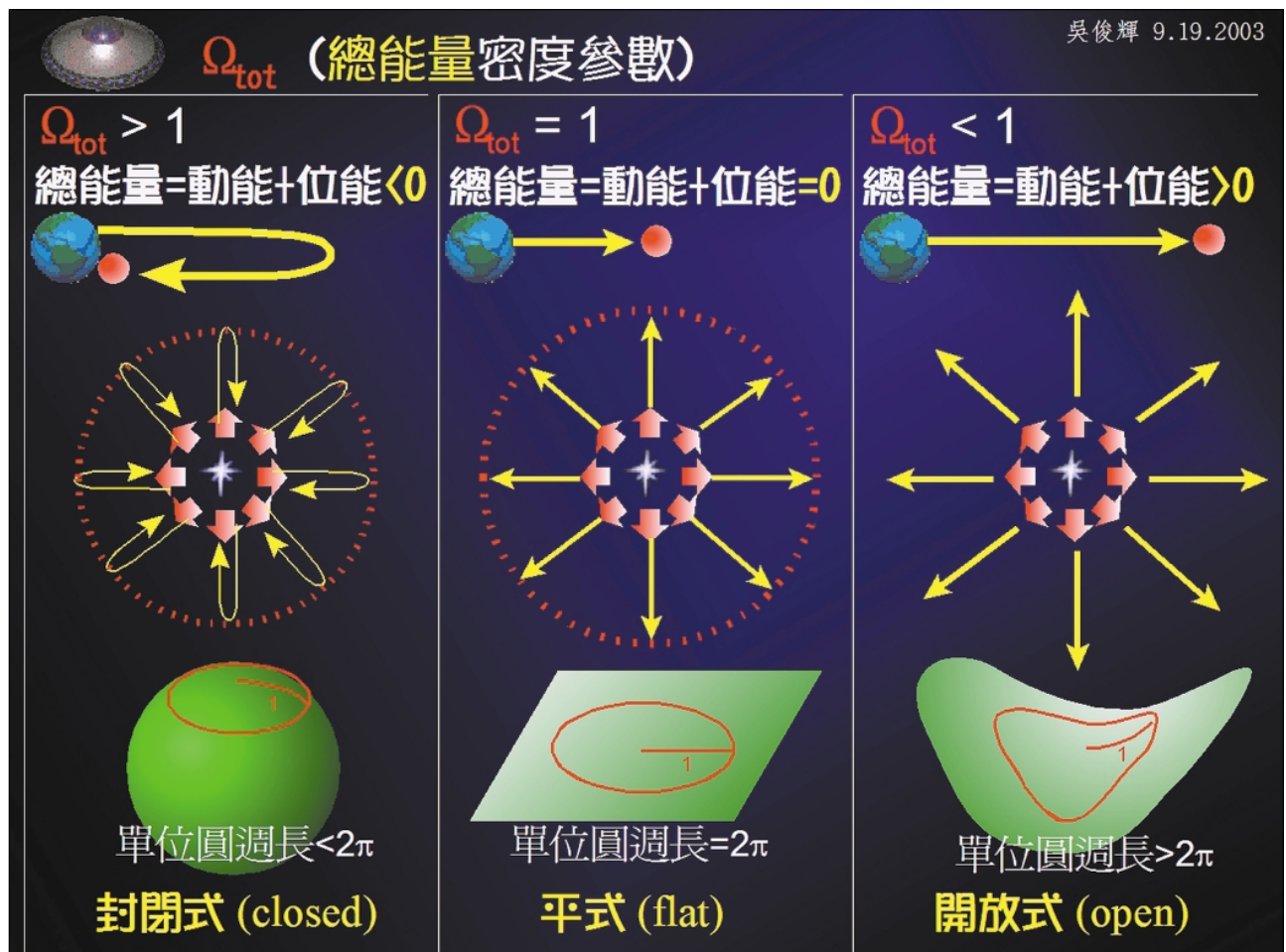
宇宙學的研究需要兩個部分相結合才能得到最完整的驗證，一個是理論的提出，另外一個是優良的觀測



吳俊輝教授提供

吳俊輝教授用電腦所模擬出的宇宙弦，它們會隨著時間演化。

工具與分析方法，如果只有理論而沒有驗證，那將只是一個空泛的論調。從COBE衛星看到了「宇宙微波背景輻



宇宙可能的樣子不脫這三種情況，但是根據觀測宇宙微波背景輻射之後，我們確定現存的宇宙是屬於「平式宇宙」。

射」的約略面貌之後，世界上許多單位與團隊便持續積極地觀測，用以分析驗證之前許多學者所提出的各種宇宙理論，或甚至發現新的理論。

目前由台灣主導、與澳洲及美國合作的「AMiBA計畫」，正在夏威夷大島的蒙那羅瓦火山上如火如荼地進行著。這是一座大型的宇宙微波背景輻射陣列望遠鏡，在去年年底有 7 座碟形天線完成，最終目標將是架設 19 座天線。另外在溪頭的鳳凰山天文台，也在去年八月建置了國內第三大的光學天文望遠鏡，口徑為 63 公分，將兼具研究，觀光及教學的功能。

這項計畫最主要的目的除了透過觀測宇宙微波背景輻射（其中的極化及SZ效應）來了解宇宙的各项本質之

外，還可用來證明宇宙弦等宇宙殘陷是否真的存在。宇宙弦是怎麼產生的呢？就像冰塊從水分子結晶成冰的時候，由於水中不同區域的小冰塊結晶方向不見得相同，因此在各自長大後而交會時，在交會的地方便會產生不連續的殘陷（如斷面）。在電腦模擬的環境下，宇宙演化中的降溫過程和水結冰的降溫過程類似，而其所產生的物質能量的殘陷便稱為「宇宙殘陷」。就學理而言，這些殘陷即是統一理論（如統一場論）中對稱性破滅的相變的副產物，因此若可證明宇宙殘陷存在，便可證明統一理論是對的。由於這些殘陷會和宇宙微波背景輻射起交互作用，因此可以透過觀測被檢視出來。

然而在過去十多年來，由於觀測設備的精密度不夠，雖經過了上百種的檢驗方式，仍無法證實宇宙弦等宇宙殘陷的存在。台灣的AMiBA計畫將擁有足夠的解析



獵戶座LL星的弓形震波 影像中這道優雅的弧狀結構，實際上是個大小為半光年的弓形震波，它是因為年輕獵戶座LL星的恆星風，衝撞獵戶座星雲氣流所造成的。獵戶座LL星漂流在獵戶座的恆星育嬰室內，是顆還在誕生階段的恆星，它發出比我們中年太陽還要高能量的恆星風。當高速的恆星風衝擊慢速移動的雲氣時，產生弓形的激震波，就像是船滑過水面會產生舷波或是飛機超音速飛行會造成震波。造成慢速雲氣流的推手是獵戶座中心熾熱的四邊形星群，它位在影像右下角的外面。獵戶座眾多恆星育嬰室群呈現了無數我們在流體內常看到的各種形狀，而這些形狀都是因為恆星誕生活動所產生的，包括影像右上角一顆暗星周圍的弓形波。

度跟靈敏度來驗證宇宙殘陷的存在，因此我們將能夠在不久的將來證明或反證物理中的重要理論——「統一理論」。就讓我們拭目以待，迎接台灣在宇宙學領域中創造一個耀眼的光芒。 □

科學是一種生活的態度，是一種運用邏輯思考的方法和追根究底的精神，去解決在日常生活上和宇宙探索中所遇見的問題的態度。為了讓社會大眾了解科技發展的趨勢，由國科會主辦，中央大學理學院科學教育中心承辦的「2003展望系列演講」於焉誕生，本篇為秋季「探索未知」系列92.09.19第一場講座的演講實錄。

演講人／吳俊輝

台灣大學物理系暨天文物理所

文字整理／李健成

本刊特約文字編輯