

POWER

KNOWLEDGE IS

Feast of  
Knowledge

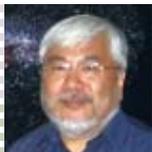
知 識 饗 宴

開展

# 宇宙新視野

■ 主講人 / 陳文屏 2010年8月24日

## 簡介



陳文屏 博士

中央大學天文研究所陳文屏教授是屏東人，中央大學物理系畢業後，1990年取得美國紐約石溪大學天文學博士學位，接著在卡內基華盛頓學院做博士後研究，1992年返國任職於中央大學天文所至今。中央研究院劉兆漢副院長為當時中大校長，率先成立國內第一個天文研究所，曾打電話到美國與陳教授說明天文所籌設兩米口徑光學望遠鏡的規劃，開玩笑說要答應幫忙蓋望遠鏡，才要簽聘書！可惜這個望遠鏡計畫由於眾多因素，最終未能成案。慶幸近來另外建造了一座兩米望遠鏡，預計幾年內可以完成安裝。

陳教授專長於天文觀測技術，主要研究對象為年輕恆星、星團，以及太陽系小型天體。在2000-2003年間擔任所長期間，加速建設鹿林天文臺，除了建構我國與美國、韓國共同執行的「中美掩星計畫」的望遠鏡陣列，也安置了臺灣首座研究型一米望遠鏡，口徑雖小，但藉由我國特殊的地理條件，例如位於西太平洋的經度時區、低緯度的廣大可觀測天空，以及高海拔的天氣晴朗優勢，參與國際聯合觀測網，結合大型望遠鏡或太空望遠鏡，進行尖端研究工作。鹿林天文臺是我國天文發展奠立基礎的重要里程碑，而陳教授在這方面扮演了重要角色。一旦兩米口徑望遠鏡完成架設，鹿林天文臺可望有更多優秀的科學成果。

陳教授為我國參與多項國際合作大型天文計畫臺灣方面的主持人，除了「中美掩星計畫」，最近更與美國、德國、英國等研究機構與大學，共同執行「泛星計畫」(Pan-STARRS)，首要目標在清點可能撞擊地球的小行星。他目前是中央大學特聘教授，曾經獲得中央大學傑出教學獎，以及傑出研究獎，難得在教學與研究都有優秀表現。他持續關心我國的天文學發展，也積極推廣科普活動。



各位在座的學術前輩、各位女士、先生，我今晚給自己的任務，是在未來一個半鐘頭，跟大家談談目前我們所認知的宇宙，其中包括一些最新的發現。隨著天文學發展，我們不斷擴展知識地平線，所認識的世界愈來愈寬廣。日常學地理，在於認識所在的環境，周圍的山川、物產。地理資訊來自探訪或科學調查，資料愈豐富，地址能夠寫得愈詳細，例如這裡是南港、臺北、臺灣、地球、太陽系、銀河系，然後呢？鄰近星球有怎樣的山川與物產，那裡風土民情如何？銀河系之外還有怎樣的天地？這些「上下四方」的地理問題，試圖瞭解自己處於太空中何等地位，正是天文學探索的課題之一。

另一方面，我們讀歷史，學到朝代興衰、社會變遷。歷史資訊來自紀錄或考古研究，資料愈豐富，我們愈瞭解自己的來龍去脈。人類怎麼來的？地球、太陽、宇宙呢？這些「古往今來」的歷史問題，試圖摸索自己在時間洪流當中的地位，也是天文學探討的課題。我今天就跟大家說說有關宇宙歷史與地理的新發現。

圖一是地表不同地區的夜晚所合成的影像，亮點代表人口集中之處。這就是你我安身立命的世界。像麥哲倫、哥倫布、鄭和這些早期探險家，他們憑藉運輸工具向外探索，親身踏上發現的新世界，開拓了當代視野。四百年前，人們



圖一：地球的夜晚（Globe at Night <http://apod.nasa.gov/apod/ap001127.html>），由數百張 DMSP 衛星照片所合成。看得出燈光最亮的區域是哪些地方嗎？臺灣的光害情形如何呢？（影像攝影：C. Mayhew & R. Simmon）

開始使用望遠鏡觀察夜空，地理的探險再也不同以往，像是哥白尼、伽利略、刻卜勒、牛頓這些探險家，憑藉著對大自然的觀察與科學知識，天地急遽擴張，地球成了繞行太陽的普通行星，新世界在黑暗太空的另一頭。

今日的探險家藉由望遠鏡蒐集來自遙遠世界的電磁波訊號，這些訊號以光速在太空走了很長時間，到達此地變得很微弱，因此我們使用大面積的望遠鏡來偵測，然後運用物理、化學、數學等知識加以分析、推論發出這些訊號的東西有哪些成分、周遭環境如何、距離我們多遠、以多快的速度運動等。有了靈敏的儀器與豐富的知識，我們不再受限於運輸工具，毋須親身造訪仍得以端詳億萬光年之外的新世界。這些地方人類可能永遠也無法前去，卻已經穩穩收納在我們



知識寶囊之內，這絕對是近代科學最偉大的成就之一。我曾經在玉山國家公園的旅客留言板上看到：「大自然到處都是答案，但問題到底是什麼？」囿於學淺，我到現在仍不知道這句話的出處，但多年來一直在腦海裡迴盪。

## 宇宙天體的距離與尺度

從地球說起吧。我們都知道人類花了好久的時間，才明白地球的形狀是個球體，它的直徑大概是1萬3千公里，乘以 $\pi$ 就是圓周長，也就是大約4萬公里。這有多長呢？臺灣從南到北大約4百公里，所以把100個臺灣首尾相接，才繞地球一圈。從日常開車從南到北的經驗，就可以體會地球有多大。飛機當然快得多，搭飛機去美國紐約，要飛行將近20小時，由於航線在球面走捷徑，所以從臺北到紐約，再飛回臺北的總里程遠不及地球圓周的長度，事實上只有一半多一點，但讓我們在概念上比擬成繞行地球一圈。這樣說來繞地球一圈並不難，很多人買了機票就可以達成。

月球有多遠呢？月球離我們38萬公里，這到底有多遠？38萬不到4萬的10倍，所以如果繞地球不難，單以距離來說，月球也不算太遠。當然並非任何人都能去，目前只有12位太空人曾經在月球表面漫步，另外12位則曾繞行月球。月球距離不遠，要去的困難在於運輸工具。

太陽呢？太陽距離地球1億5千萬公里，這數字聽起來就蠻大的，太陽肯定很遠，因為從來沒有聽過有人去了太

陽還回來過的，呵呵！我想起兩則和太陽相關的故事：希臘神話中，伊克萊斯用他父親以蠟與羽毛製作的翅膀飛行，因為太接近太陽，翅膀融化而摔死；另外是《世說新語》當中「長安與日」的故事，晉明帝小時候被父王問到長安城與太陽何者較遠，他說長安比較近，因為沒聽過有人從太陽來。然而第二天再被問到，明帝改口說應該是太陽比較近，因為舉頭可看到太陽，卻看不到長安。兩個全然相反的答案，聽起來都有道理，是吧！

距離的數字愈來愈大了，我們必須用比喻的方法才好體會。首先把地球比喻成桌上一顆鹽，它的大小約0.3毫米，比常用的直尺最小的一格還要來得小。依照這個比例，一根指頭寬度（約1公分）以外的胡椒，就相當於相隔38萬公里的月球。而太陽則相當於講臺跟我之間，大約4公尺以外，有如網球般大小的蕃茄。木星是太陽系當中，最大的行星，它的直徑約是地球的10倍，卻是太陽的十分之一。繼續這個比喻，木星差不多是這個演講廳門口，也就是20公尺以外的木瓜籽。冥王星現在已經不是行星了，它被除名了，但它曾經是太陽系最遠的行星。冥王星相當於中央研究院區大門口，離這裡約150公尺外的一顆細沙。

在這個比喻裡，整個太陽系相當於目前我們所在的院區。人類三、四十年前發射出去的太空船，到現在還沒有離開中央研究院的院區。從這個比喻可以體會為何冥王星沒有辦法跟其他行星平起平坐，因為它甚至比月球還小。



地球、木星、冥王星這些都受到太陽引力牽引繞著太陽運轉，整個稱為太陽系。地球由於大小適中，也與太陽距離適中，具有生命誕生與演化的良好環境。那麼天上其他星星旁邊有沒有類似行星系統呢？這當中是否有些像地球一樣，有機會發展出生命呢？

太陽是離地球最近的恆星，而離太陽最近的恆星位於南半球天空，稱為半人馬座 $\alpha$ 星。星座就是天空區域，有如臺北分成不同行政區。全天空一共分成88個星座，涵蓋天空的大小範圍各自不同，每個星座當中最亮的那顆星，就是該星座的 $\alpha$ 星，次亮者稱為 $\beta$ 星，依此類推。有些星座亮星不多，它的 $\alpha$ 星，亮度甚至不如其他星座的暗星。

半人馬座 $\alpha$ 星其實是由三顆星組成，其中二顆星相近，彼此繞行，第三顆星則繞著這二顆星運動，離我們最近的就是這第三顆星，名為毗鄰星（Proxima）。半人馬座 $\alpha$ 星的主星恰好跟我們太陽大小差不多，因此在我們的比喻裡，也有如蕃茄大小。那麼它離我們有多遠呢？別忘記整個太陽系相當於這個院區，而半人馬座 $\alpha$ 星則相當位於菲律賓馬尼拉。星星之間果真極其空曠！

讓我們換個說法。光在真空中一秒鐘可以行進30萬公里，這是目前所知宇宙中傳遞訊息最快的速度了。但要提醒在別的環境中，例如在水裡，光就不一定走最快，因為可以把東西加速到比光還快。光速每秒30萬公里，相當於繞地球圓周7圈半的距離（其實光自己不會繞地球，因為地球的質

量不夠重，不會讓光彎曲）。讓我們繼續應用剛才填鴨式教育給大家的數字，月球離我們38萬公里，所以光從地球到月球大概費時一秒多一點，也就是一眨眼的時間。太空人登陸月球的時候，放了鏡子，所以地面實驗室可以發射雷射光，再反射回來，因而精確測量月球跟地球之間的距離，讓我們知道月球以每年幾公分的速度離去。

太陽離我們1億5千萬公里，這個距離光線來走要花約500秒，將近8分半鐘，差不多是學校學生下課十分鐘的時間。這表示我們白天看到的太陽，是它8分半鐘以前發出來的光線。我們無法知道太陽「現在」還在不在，而要8分半鐘以後才會知道。更耐人尋味是，「現在」是什麼意思？誰的現在？什麼時候的現在？

光從毗鄰星來到地球需時4.3年，這相當於念大學的時間。光在真空中走一年的距離稱為「光年」，所以毗鄰星距離我們4.3光年。光一秒鐘可以行進相當於地球圓周7圈半的距離，從最近的恆星跑過來，居然要4年多。宇宙真是浩瀚！

半人馬座 $\alpha$ 星、太陽，以及其他千億顆跟它們一樣的恆星，因為萬有引力互相吸引，旋轉而成了扁平形狀。想像在座100位來賓，每個人發99條橡皮筋，如此每兩個人之間都有一條橡皮筋，就好像彼此的萬有引力，大家互相吸引是什



麼結果？就是全部縮成一團到中間去了。想要好好聽演講，不縮成一團，大家就得辛苦些，開始繞著快跑，讓離心力等於向著中央吸引的力量（聽演講好辛苦），結果整個就攤開成扁平運動狀態。我們的銀河系就是由千億顆恆星，兩兩吸引的結果，加上旋轉，成了扁平形狀。同樣道理，地球如果不繞著太陽轉動，就被太陽吸進去了，所以宇宙天體都在動，也就是《周易》中說的「天行健」了。

太陽吸引地球與地球吸引太陽，兩者力量同樣大，地球比較輕，所以動得比較明顯。同樣道理，蘋果與地球互相吸引，我們看到的是蘋果落地。把蘋果換成月球，因為月球繞著動，所以沒有「掉下來」，或者說「一直在掉」，我們因此看到月球繞著地球轉動。這就是傳說中牛頓當年悟出的天體運行道理。類似這樣的科學整理、歸納，把原來看似複雜的大自然現象，用簡單的關係來解釋，這就是物理定律。

千億顆恆星繞在一起的系統，稱為星系。我們所在的星系，稱為銀河系，以光來走，大概要5萬到10萬年才能橫跨。大約一百多年前，人們還在爭論銀河系是否就這樣綿延下去，還是銀河有如大海裡的島嶼，另外還有很多這樣的島宇宙。現在我們知道太空中到處都是星系，離我們最近的星系，距離大約百萬光年，目前我們所知道的星系超過幾千億個。所以宇宙到底有多大？等過幾年做出了更大的望遠鏡，就能收集更微弱的光線，也就看到更遙遠的宇宙。



圖二：典型的螺旋星系M101，俗稱「風車星系」，距離我們約2千4百萬光年，直徑約17萬光年。我們所在的銀河系外觀應該與M101類似。為什麼銀河系沒有像這樣整體外觀的照片呢？（圖片來源NASA/HST）

圖三中的牛郎星距離地球16光年，織女星離我們25光年，而天津四則是1,500光年，這三顆亮星在夏季夜空容易指認，稱為夏季大三角，但是它們在太空中彼此其實相離遙遠，沒有關連。首先我們注意到，天津四比另外兩顆星距離遠得多，可是居然看起來沒有暗很多，可以據以推測它實際發光能力一定很強。還有件奇妙的事情，16年前從牛郎星發出的光，今晚到了地球，我們看到了16年前牛郎星的景象，但此同時25年前來自織女星的光、1,500年前來自天津四的光也抵達，甚至透過大型望遠鏡，使用靈敏的儀器，我們可



以看到百億光年之外的天體，是它一百億年前的樣子。這太奇妙了，我們看不同距離的天體，就是觀看宇宙的歷史！而更遙遠的地方我們還看不到，因為來自那裡的訊號尚未抵達地球。



圖三：臺灣夏夜可見到織女星、牛郎星與天津四這三顆亮星構成「夏季大三角」。這張長期曝光的照片可以看到橫跨影像的銀河，除了恆星，還可看到發光雲氣以及充斥在其中的塵埃。（影像來源[http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:Wide-field\\_view\\_of\\_the\\_Summer\\_Triangle.jpg](http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:Wide-field_view_of_the_Summer_Triangle.jpg), A. Fujii 拍攝）

臺灣的冬夜可以看到獵戶座（圖四），幾顆亮星構成獵人的圖樣，中國古稱參宿。獵人腰帶下方配劍之處，如果用小望遠鏡或雙筒望遠鏡觀看，會發現跟一般星星不一樣，並非平淡無奇的亮點，而像棉花棒一樣，有點濛濛的。這是恆星誕生的地方，是星際氣體與塵埃聚集之處，正在收縮

形成恆星，是宇宙的婦產科。構成獵人圖樣的星星，有的已經活到中年，有的例如參宿四這顆則快要死亡，所以一眼望去，這個區域裡婦產科、小兒科、成年科、老年科都有，有如宇宙綜合醫院！這些星星離我們距離各自不同，有些彼此相隔遙遠，但因為投影關係，讓我們在這小塊天空的區域看盡恆星生老病死。



圖四：（左）獵戶星座照片（<http://www.joetucciarone.com/orion.html>）其中明亮恆星構成（右）獵人的樣子。配劍處可以看到雲氣集中，是恆星正在誕生之處。左上角的參宿四是顆黃紅色星球，則已經接近恆星生命末期。



星星怎麼誕生出來？前面說到恆星之間非常空曠，但是卻不是真空。我們呼吸的空氣，每立方公分當中大概包含了 $10^{19}$ 的19次方個氣體粒子，這麼多空氣分子，這是非常龐大的數字，1後面跟了19個零。在太空裡，1立方公分裡面大概只有一個氣體粒子，所以極其稀薄。跟 $10^{19}$ 次方相比，1看起來當然很窮，但是1可以長大，靠著萬有引力聚集，每立方公分可以逐漸成為千個、百萬個粒子，愈變愈濃。所以不要怕窮，1沒有關係，但千萬不能成為0，因為0再怎麼相乘還是無法變成大數。

星際雲氣當中的氣體跟塵埃聚集後，就會擋到後面發光的東西，這就是星際暗雲。白天快下雨的時候，天上有烏雲，是因為水滴比較大顆擋住了後面發光的天空。到了晚上，沒有背後的光亮相襯，就「天下雲朵一般黑」了！星際暗雲的密度高到每立方公分一萬個、百萬個粒子，星光照不進去，內部溫度很低，大約攝氏零下兩百六、七十度，算是宇宙中最冷的東西了。我們平常擠壓氣球，使得內部壓力變大，這是因為分子彼此碰撞次數增加，互相推擠的力量變大，向外膨脹的壓力也就增加了。同樣道理，星際雲氣繼續聚集，它的壓力增加，溫度也上升，如果這團雲氣不夠大，最後向外的壓力平衡住向內的萬有引力，雲氣不再收縮。我開玩笑說，這是一團沒有前途的雲。

要是雲氣很大，情形就不一樣了。內縮造成的壓力增加無法抵擋住龐大的萬有引力，因此雲氣愈縮愈濃，溫度則

持續上升，直到中央溫度達到攝氏大概五、六百萬度，便發生新的現象。我們平日看到的物質由原子組成。原子中間是帶正電的原子核，圍繞在四周是帶負電的電子。原子很小，大約是10的負10次方公尺，不到一奈米。收縮下去的高溫雲氣，原子當中的電子被游離，與原子核分開，成為電漿態。我們知道，正電荷彼此靠近會有排斥靜電力，離得愈近、斥力愈強。可是當原子核靠得很近，近到彼此的距離跟它自己大小尺度差不多的時候，有股更強大的吸引力量，也就是強作用力，讓原子核互相吸引，這是原子核當中可以包含很多正電荷的原因。處於高溫狀態的原子核，以高速運動，有機會彼此接近，強作用力便把各個原子核結合成新的原子核，把自己吸得更緊，多餘的能量於是釋放出來。一旦進行這樣的核融合反應，所釋放出來的核子能量，能夠提供其他原子核快速運動，也彼此接近，持續進行核融合，我開玩笑說這團雲氣有前途，因為它能夠自行發光，是顆恆星！

太陽的中央達到攝氏1千5百萬度，密度達到每立方公分150公克，高溫、高密度使得內部約三分之一到四分之一半徑之內的區域，得以進行核融合，把氫原子核融合成氦原子核。不要小看這個密度，我們熟悉的物質，水的密度每立方公分為1公克，鐵大約是8，鉛是11，黃金則是19 gm/cm<sup>3</sup>，所以太陽當中的氣體比金屬還硬。離開了太陽核心區域，愈往外面，溫度、密度持續降低，再無法進行核子反應，可是來自中央的能量傳遞到整個恆星，但因為氣體太濃密，能量無法直接向外傳遞而很快被吸收，保持氣體快速運



動，維持向外膨脹的熱壓力，跟內縮的萬有引力達到平衡。能量向外傳遞，最後抵達密度夠低的區域，於是陽光穿透而出，充斥在太空中。太陽隨時都在進行核反應，但憑藉其豐沛的氫氣，已經發光了約50億年。從太空中最冷之處（星際暗雲）循著我們可以理解的過程，孕育出熾熱的恆星，宇宙真是奇妙。

好啦！雲氣的中央形成了恆星。那其他部分呢？前面說過宇宙萬物都在轉動，轉動的東西一旦收縮，就轉得更快，形狀則會變扁。形成太陽的那團雲氣於是成為扁平的盤狀結構，在其中運行的小塵埃凝聚成大顆塵土，就有了比較強的萬有引力，吸引周遭塵埃，因此長成更大的塵土，只要



圖五：由鹿林天文臺於2007年發現的「鹿林彗星」，在2009年初接近地球所拍攝到的照片。（圖片來源<http://apod.nasa.gov/apod/ap090225.html>）

軌道上有東西持續吸聚，就有機會長大，成為公分、公尺、公里大小的小天體。直徑超過一公里，就有機會被觀測到，如果是岩石物質構成，稱為小行星。距離太陽遠的小天體，則可能由冰土物質組成，稱為彗星（圖五），只有在接近太陽的時候，冰土昇華成為氣體，我們才看出它們與小行星不同之處。環繞在太陽周圍，原來充滿塵埃的盤狀結構，最終逐漸凝集成幾個天體，它們把軌道上塵埃、石渣清理乾淨後，有些吸聚了氣體，最後成了行星。



圖六：太陽系大小成員的示意圖。太陽、行星與矮行星的影像按照體積比例顯示。彗星與小行星未依比例顯示。（圖片經過修改，來源[http://www.iau.org/public\\_press/news/detail/iau0603/](http://www.iau.org/public_press/news/detail/iau0603/)）

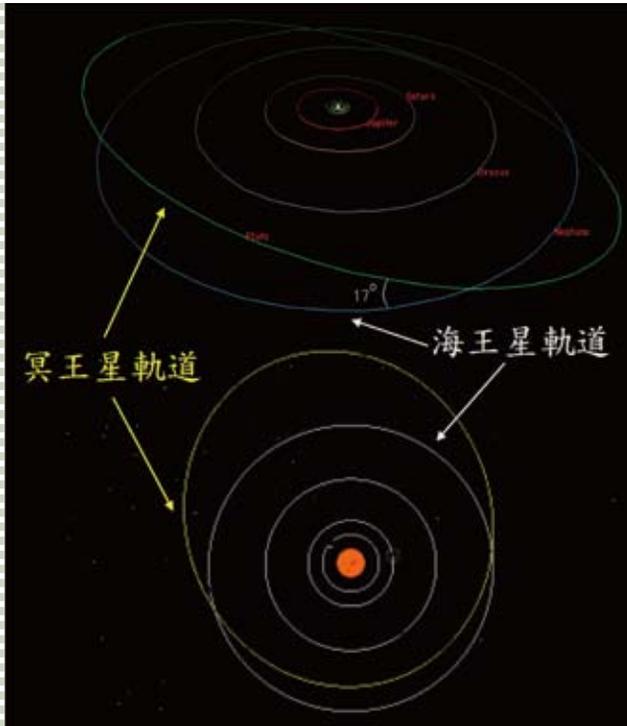


這樣說起來，行星是恆星誕生的副產品，太空中很多恆星周圍應該也有行星繞行。數年前哈伯太空望遠鏡以其優越的清晰度觀看獵戶座其配劍附近剛誕生的恆星，發現它們周圍充斥了扁平的雲氣，這些塵埃盤不發光，但是擋住後面發光雲氣，襯托出陰影，正是理論上預期行星誕生的環境。

在行星方面的研究，近來有飛躍式的進展。從離我們近的太陽系說起，圖六有如太陽系的戶口名簿。太陽系最裡面的4顆行星：水星、金星、地球、火星，它們體積小，而且因為靠太陽近，只有耐高溫的岩石質、金屬氧化物存在。外面4顆行星，相對體積大得多，其中木星、土星屬氣體行星，天王星、海王星則是冰體行星，都是由比較不耐高溫的物質組成。

至於昔日的第9顆行星—冥王星，它明明距離太陽遠，但是體積卻小，另外軌道明顯橢圓、軌道面與黃道面傾角大也與其他行星格格不入（圖七）。倒是目前在海王星軌道以外的區域，已經發現超過一千多個天體，最大的體積與冥王星相當，軌道性質也類似。這表示冥王星的確非依照行星的方式形成，而是位於海王星之外，未能形成行星，後來受到行星擾動的小型天體。正因為如此，冥王星2006年已經被降級，現在歸類成「矮行星」，體積介於行星與小行星之間。目前共有5顆認定的矮行星（圖八），除了冥王星（Pluto，直徑2306公里），還有穀神星（Ceres，原小行星帶當中最大的小行星，直徑975公里）、閼神星（Eris，直徑2400公

里）、鳥神星（Makemake，直徑1300~1900公里）、妊神星（Haumea，非球體，平均大小1150公里），可以想見未來會發現愈來愈多矮行星。目前對於行星、矮行星、以及小行星並沒有明確定義，日後必定會出現介於不同種類之間的小型天體，讓太陽系人口不但愈來愈多，種類亦必愈來愈多樣。



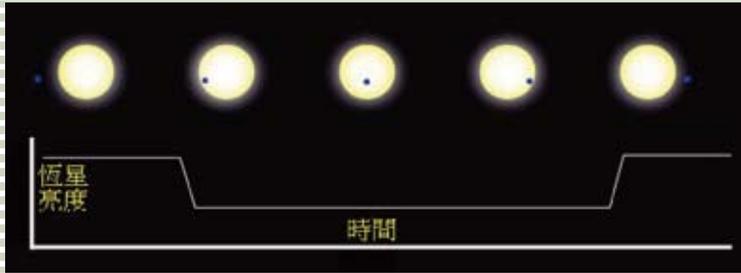
圖七：太陽系中8個行星的軌道幾乎在同一平面上，且軌道形狀近乎圓形。冥王星的軌道形狀與傾角則與行星迥然不同。



圖八：冥王星、穀神星，與閻神星屬於矮行星，它們的大小比月球小，也遠比火星或地球小得多。（<http://www.enioangelo.com/SolarSystem/DwarfPlanets.htm>）

## 尋找下個地球

在太陽系以外，我們對行星的認識也有長足的發展。天文學家雖然一直相信太陽系不特別，不過十幾年前，除了我們自己，還沒有具體證據證明其他行星系統存在。然而時至今日，已經在超過一千多顆恆星旁邊發現行星，有關係外行星（extra-solar planet, or exoplanet）的研究可能是目前天文學進展最快速的課題之一。偵測系外行星的困難首先在於行星不發光。我們姑且不談那種孤伶伶的天體，它們質量不夠大，以致於中央溫度無法點燃核融合反應，而且又沒有繞



圖九：系外行星繞恆星軌道面與我們視線方向相同時，有機會遮掩部分恆星表面，使得恆星亮度降低。利用這個原理，可以偵測到系外行星存在。

在恆星周圍的行星。像木星這種天體，它就不會自己發光，而只會微微發熱，如果不是在恆星周圍，以我們目前的技術很難偵測到它。

要偵測到繞行在恆星周圍行星的方法多半都要藉助恆星。第一種情況，是行星擋住了恆星的光，造成原本恆星穩定的亮度，突然間暗了一些，等行星隨著軌道運行不再遮住恆星，恆星亮度再度恢復（如圖九）。這情形很像發生日食時，月球遮住太陽的光線，不同的是從地球看去，系外行星只能遮住部分恆星光線，所以造成的亮度變化微小，而需要精確測量。目前在太空的刻卜勒太空望遠鏡，就是使用這個技術，已經探測到上千個系外行星。

第二種偵測行星的方法，是觀察行星反射恆星的光，這當然就是平常看到太陽系當中行星的原理。但是對於系外行星，因為恆星比旁邊的行星明亮太多，而且從我們這個距離看去，角度太接近，目前還無法取得系外行星的影像。但是



有些技術已經取得一些進展，例如大型望遠鏡利用干涉技術取得好的分辨能力，甚至以光學設計讓望遠鏡進行破壞性干涉，讓恆星的影像分散開，而盡量突顯行星的亮度，利用這種方法試圖偵測行星。

第三種方法，是偵測行星對恆星造成的擾動。雖然行星不發光，但是當它與恆星互繞，恆星會有反復性運動。利用都卜勒效應可以測量恆星沿著我們視像方向的運動，或是觀察恆星在太空的行進軌跡，由於受到行星牽引，不再走直線運動，而會以螺線方式前進，依此推測行星存在。

利用恆星受到擾動而發現的行星，質量一定得夠大，同時離恆星近，才容易造成足以偵測到的擾動，也難怪目前找到的，多半是巨型行星，像木星、土星那樣，而且又接近母恆星。如果利用遮掩恆星的方法，就比較沒有這些限制，但是必須有剛好的行星軌道面，才有遮住恆星的機會。偵測系外行星還有其他方法，例如利用巨大質量讓光線彎曲的原理（重力透鏡）等，但主要還是以上說的技術為主。利用科學知識，再加上巧妙的儀器或技術，居然可以偵測遙遠恆星周圍的行星。將來有一天，我們終將可以使用望遠鏡直接看到其他的世界，甚至發現適合生命發展的環境，這實在讓人興奮！

我們之前說到如果恆星質量大、中央溫度高，核子反應速率就快很多，產生的能量也多，這種恆星發光能力很強，大量能量通過表面，所以表面很熱，發出來的光線就會

呈現藍白色。相對而言我們的太陽質量不大、中央溫度沒那麼高、核子反應比較慢、表面溫度低，所以發出橙紅色光芒，不過由於消耗核燃料速度慢，可以發光百億年；相對的，大質量恆星雖然光芒萬丈，但消耗氫氣的速度很快，壽命非常短，甚至不到一億年。用人生來比喻，如果太陽活個百歲，那麼像天狼星那樣藍白耀眼的恆星，就像個一歲就夭折的嬰兒。在這種恆星周圍，能量不虞匱乏，但歲月不夠，如果發展出生命或文明，必定跟我們非常不一樣，因為地球生命花了數十億年演化，幸虧太陽是顆普通、不起眼的恆星，這期間提供穩定能源，讓我們逐漸演化到今天可以在這邊聽演講！

恆星除了進行核反應、發光發熱以外，另外的副產品就是把簡單的原子核融合成複雜的原子核，所以恆星不但是發熱機器，還是個核子化學工廠，融合出複雜的元素。當恆星用完了中央的核燃料，失去了內外平衡，它就噴發物質，或產生爆發（圖十），把複雜元素又回歸了太空，然



圖十：恆星演化到晚期，內部核反應快結束，結構不穩定，會噴發出大量表面氣體，甚至產生爆發。（圖片來源NASA/HST）



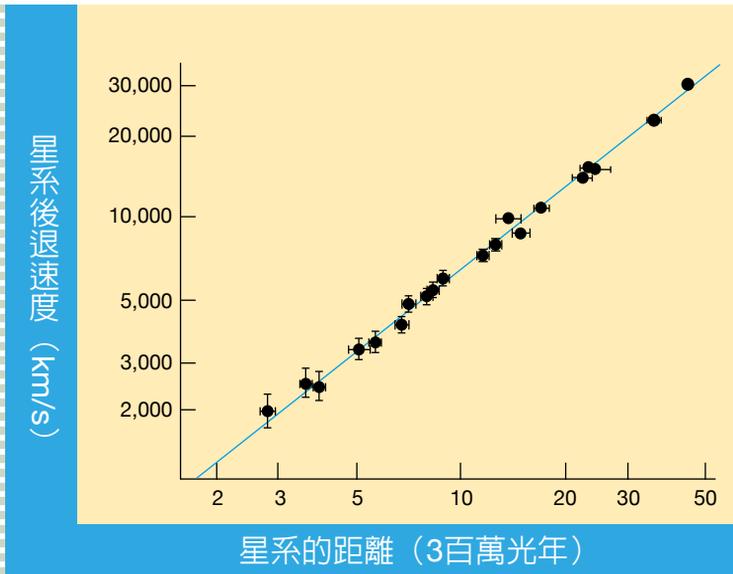
後做出了宇宙下一代恆星。所以你我身上像是碳、氮、鈣、鎂、錳這些元素全部都是恆星所製造。

最後來說說宇宙本身，英文universe 當中的uni- 這個字根有唯一、單獨、絕對的意思。中文的字乃「上下四方」，就是空間，而宙乃「古往今來」，也就是時間。宇宙就是時空，聽起來頗有道理。

## 宇宙歷史新解讀

1929年美國天文學家哈伯發現遙遠的星系團，它們有個奇怪的性質，就是都在離我們而去，而且距離我們愈遠，離去的速率就愈快，這就是有名的「哈伯定律」（圖十一）。乍聽之下不可思議，遙遠的星系集團怎麼知道地球在哪裡，然後決定多快離去？過去幾百年科學的關鍵進展，就是認清「平庸法則」（mediocrity principle），也就是地球並不特殊，太陽與銀河系也不特殊，甚至構成生命體的基本材料，都是氫、氧、碳、氮這些宇宙每個角落都有的普通元素。但如果地球沒有特殊之處，那麼太空其他地方便應該觀察到一樣的哈伯定律，那就表示宇宙正在膨脹。想像炮彈炸開，每個碎片都看到其他碎片離去，而且每個碎片都看到一樣的現象。由於爆炸發生在相同時間點，速度愈快的碎片，當然就跑得愈遠，這正是哈伯觀察到宇宙大尺度的現象。既然宇宙在膨脹，那麼宇宙以前比較小，之前更小，難道宇宙有起點？現在大家稱那個起點事件為「大霹靂」（Big

Bang)。後來有不少觀測證據，顯示大霹靂的確發生過，我們這個時空始於137億年前，當時宇宙處於某種不穩定的狀態，可能在這個、也可能在那個狀態，然後時空就出現了。這真不可思議，宇宙如果有起點，那起點之前是什麼？宇宙如果在膨脹，那外面是什麼樣子？還有別的宇宙存在嗎？這些都是好問題，現在多半都還沒有答案，有時候我們甚至連問題都說不清楚（誰引發了大霹靂？宇宙是有目的的設計嗎？）。



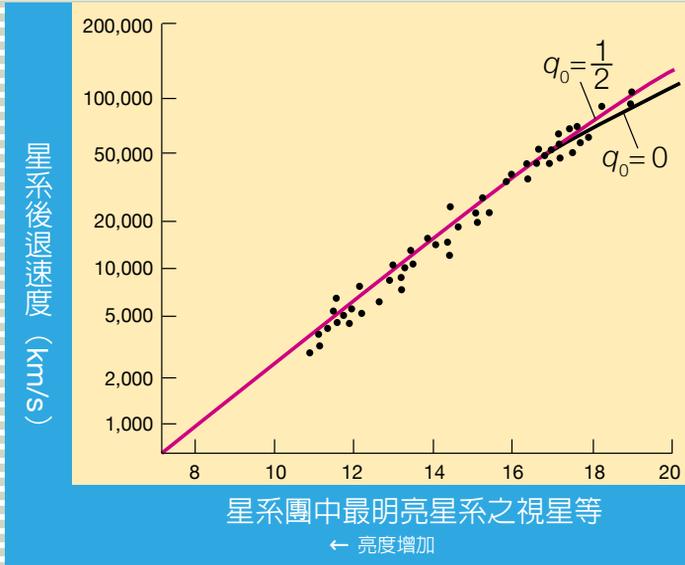
圖十一：哈伯發現遙遠的星系離我們遠去的速率（縱軸）與距離成正比，也就是離我們愈遠的星系，離去的速率愈快，這顯示宇宙正在膨脹。



時間到底是什麼？如果宇宙空無一物，還有沒有時間？時間就是因果關係的順序嗎？也有人說時間有如河流，活著有如抽刀斷水，在河裡流一程，但即使沒有我，時間照常流動。時間往單一方向流動嗎，還是能倒流到過去，或者跳到未來？這些聽起來像哲學問題，某天能有科學答案嗎？

時間如果逆轉，因果關係破壞，世界就亂了。舉個有名的例子。如果我坐時光機器回到過去，把自己阿嬤帶走，那麼她就沒有見到祖父，也就不會有我，當然就不會坐時光機回去，產生基本的邏輯矛盾。時光倒流其實不難，只要眼睛閉起來想像，就可以回想過去的事，可是卻無法改變過去的因果關係。舉另外個例子，我拿起石頭打破杯子，杯子破了以後，我以超光速開始跑，因此就會先看到杯子破了，再看到我拿起石頭，我就「看到」因果關係反過來了，跟我用想的一樣，可是不能影響它。如果我問，現在幾點，您說8點27分。我再問一次，您說8點27分05秒，這就是之前我們說到，隔著空間訊息傳達需要時間，而最快的光速卻又有限，您回答的時候，已經不是當時我的「現在」了。顯然我們不太了解時間這個東西。

哈伯定律對於人類文明的世界觀產生了革命性影響，跟宇宙相比，人類所在的角落以及所生存的時間，簡直渺不可言，但是人類居然探出宇宙處於膨脹狀態。然而過去十年，這個事情出現了轉折，就是距離與後退速率原來簡單的



圖十二：與上圖相同，但觀測了更遙遠的星系，發現最遙遠的星系離去的速率似乎比預期來得慢。如果這意味宇宙以前膨脹比較慢，就表示宇宙在加速膨脹。

直線關係，好像有了彎曲（圖十二）。如果屬實，這曲線表示遙遠的天體其實沒有後退得這麼快。因為遙遠天體的光線花了好長時間才被我們偵測到，遙遠天體顯示的是早年宇宙的情形；這也就是說，以前的宇宙沒有像現在膨脹得這麼快，所以宇宙愈膨脹愈快，目前在加速膨脹？

這離奇了。我們之前說到，萬有引力是吸引力，現在我拿個銅板出來向上丟，銅板向上飛，可是引力向下拉，所以它會減速。宇宙就是這樣子，所有東西的萬有引力把



大家往內吸，膨脹的宇宙無論快慢，總是要愈膨脹愈慢，不應該愈膨脹愈快。否則就好像向上丟銅板，結果沒有減速，反而加速上升，這實在沒有道理。顯然空間中有股完全未知的排斥力量，能夠抗拒萬有引力，讓宇宙加速膨脹。對於這未知的能量，科學家稱它「黑暗能量」（dark energy）。黑暗兩字有如十九世紀的X，表明當時不明瞭的X光、X行星等。這是當今天文物理學很熱門的研究課題，但目前仍然不知道是怎麼回事，只知道黑暗能量和我們所熟知的原子、分子這些普通物質相比，在宇宙的運作中扮演了重要得多的角色。顯然不只時間，對於空間，我們好像也不太了解。但是物理學家沒有因為不知道答案而沮喪，反而因為發現了新的問題而雀躍不已。

你我身上有好多水分子，當中的氫原子，就是太陽中央進行核反應的那個氫。利用望遠鏡拍到一百億光年之外的某個星系，顯示的也是同樣氫元素，跟地球實驗室裡的氫光譜相同。宇宙不同角落，就我們目前所知，顯然遵循相同因果關係—也就是同樣的物理、化學、數學定律—在運作。在宇宙的地理方面，我們發現不止太陽，宇宙其他角落到處都有行星系統，說不定有的行星像地球一樣，有適合生命發展的環境，即使當地還沒有生命誕生，這也是人類尋找下個安身立命的地方。至於宇宙的歷史，我們發現時空有個起點，目前整個處於膨脹狀態，而且有股神祕的力量讓宇宙加速擴展，我們還有很多不懂的事情。科學家沒有怠惰，不斷找答案，一找再找（search and research）

的過程中，冒出新問題，說不定會有新的物理規範出現也不一定。容我引用愛因斯坦的話來收尾：「宇宙讓人不能理解的地方，在於其居然可以理解！」宇宙的新視野持續擴大，在座的諸位一定有很多是將來的推手，繼續讓新視野愈來愈開展。謝謝大家。

### 註記

演講投影片可循此查詢[http://www.astro.ncu.edu.tw/~wchen/wp\\_chen/essay/Talks/NewCosmicHorizon2010aug24AS.pdf](http://www.astro.ncu.edu.tw/~wchen/wp_chen/essay/Talks/NewCosmicHorizon2010aug24AS.pdf)

演講原始影音檔在此<http://www.ascc.sinica.edu.tw/php-bin/videosrv/index.php?id=268>