





## 螺旋星系

螺旋星系的外觀呈圓盤狀，大多數星系中心有突起的核球，從核球向外伸展出，分布在盤面上的旋臂結構。代號為S，依照中心核球大小與旋臂纏緊的程度，可依次分為Sa、Sb、Sc，其中Sa的核球最大，旋臂纏繞最緊；Sc的核球最小，旋臂纏繞最鬆。

研究顯示，螺旋星系的星系盤是扁平的，伴隨著星際物質、年輕的恆星和疏散星團，共同繞著核球旋轉。旋臂結構上充斥著明亮的恆星形成區。此外，整個螺旋星系還被呈球狀分布的星系暈包圍著。

NGC 3593 M77 M31 NGC 5033

## 橢圓星系

橢圓星系的外觀呈橢圓形，代號為E，依扁平程度從E0到E7，假設橢圓的長軸為a，短軸為b，扁平程度的公式為 $10 \times (1-b/a)$ 。E0的橢圓星系外觀幾乎是圓形的，而E7則非常的扁平。扁平程度只是代表這個星系出現在天空中的形狀，與真實的幾何形狀無關。

研究顯示，橢圓星系內的恆星運動，是以不規則的運動為主，這和以自轉運動為主的螺旋星系很不一樣。橢圓星系內只有少許的星際物質，年輕的恆星很少，多是年老的恆星；疏散星團的數量也不多，多是球狀星團。

M89 M105 M32 NGC 584 NGC 4125

E0 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 S0



## 透鏡星系

透鏡星系外觀呈圓盤狀，星系中心有突起的核球，但是沒有旋臂的結構。代號為S0或SB0，其中0代表沒有旋臂。

研究顯示，透鏡星系內的星際物質很少，恆星形成區的數量也很少，成員則多為年老的恆星。

M85

# 星系分類：哈柏序列

哈柏序列是哈柏（Edwin Hubble, 1889–1953）提出的星系分類法，由於哈柏序列的圖形表示法，外觀看起來很像音叉，所以也稱為「哈柏音叉圖」。

其分類的依據，主要是根據星系外觀的特徵，分為橢圓星系、透鏡星系與螺旋星系，以及不屬於上述任一類的不規則星系。而螺旋星系又依中央棒狀結構的有無，分成一般的螺旋星系與有棒狀結構的棒旋星系。

值得注意的是，「哈柏音叉圖」只是型態上的分類，和星系的演化沒有關係。例如螺旋星系並不是從橢圓星系演化而來；或是透鏡星系會演化成兩個分支，一支發展出正規的螺旋星系，另一支則發展成棒旋星系。這些推論都超出「哈柏音叉圖」的適用範圍。

此外，隨著觀測技術的精進，星系更多的細節被觀測到，其他分類系統因應而生來補充哈柏序列的不足，如迪·佛科羅斯系統（De Vaucouleurs system）、耶基斯分類（Yerkes scheme）和范德胡斯特分類法（van den Bergh's classification of galaxies）等。

## 本所星系相關研究簡介

在天文學上，星系的課題屬於河外天文學，為當前最活躍的研究課題之一。

本所河外天文研究的課題相當廣泛，從星系團到活躍星系核，鄰近星系到高紅移星系等。我們特別有興趣於星系的形成及演化、星系間交互作用、星系內之星際間物質、活躍星系之活動及星爆。研究方法運用了多波段觀測，包括電波、紅外線、可見光及X射線，進階分析技術，及包含了磁流體力學模型的理論研究。

## 不規則星系

不規則星系的外觀通常是混亂的，既不是橢圓也不是圓盤，既沒有位於中心的突起核球，也沒有任何類似旋臂或短棒的結構。

研究顯示，不規則星系可能曾經是螺旋星系或橢圓星系，但是因為重力的作用而受到破壞（例如與鄰近星系的碰撞），並因而變形。

NGC 2366 NGC 6822 NGC 5408 NGC 6240

## 棒旋星系

棒旋星系的外觀大致與螺旋星系相同，但是旋臂不是從核球伸展出來，而是從位於中心的短棒結構末端伸展開來。代號為SB，依照中心核球大小與旋臂纏緊的程度，可依次分為SBa、SBb、SBc，其中SBa的核球最大，旋臂纏繞最緊；SBc的核球最小，旋臂纏繞最鬆。大約三分之一的螺旋星系是棒旋星系。

研究顯示，棒旋星系的物理狀態大致與螺旋星系相似。短棒結構是由恆星聚集組成的，會影響在棒旋星系裏的恆星與星際氣體的運動，也會影響旋臂。

過去，本銀河系被歸類為螺旋星系中的Sb，現在的研究顯示，本銀河系應當是棒旋星系系中的SBb。

NGC 2787

NGC 1291

NGC1097

M95

NGC 1672

NGC1365

NGC 1300

版權資訊  
天體影像  
M31、M32 © 王為基  
M99、M105 © MDO/AU/NSF  
M89、M81、M85、M86、M89、NGC1300、NGC1672 © NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)  
M77 © X-ray (NASA/CXC/MIT/C. Canizares, D. Evans et al), Optical (NASA/STScI), Radio (NRAO/AU/NSF)  
NGC584 © Department of Physics & Astronomy, CAS/UA  
NGC1097、NGC1365、NGC6822 © ESO  
NGC1291 © NASA/JPL-Caltech/Yale University/H. Crowl (Yale University)  
NGC2366 © GALEX, NASA  
NGC2787、NGC3593、NGC5408、NGC6240 © NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)  
NGC4125 © DSS/STScI  
NGC5033 © NRAO/AU/NSF  
文字：蔡毅智  
畫框：林彥廷

## 【密度波簡介】

「天蒼蒼，野茫茫，風吹草低見牛羊」，這是魏晉南北朝的一首北朝樂府民歌片段，由當時的敕勒人所唱的民歌，翻譯自鮮卑語。內容是描寫中國北方草原的壯闊風光：滿地牧草的廣闊平原，一陣風彎壓了過人的牧草，顯露出正在吃草的牛羊。想像一副動態的場景，被壓低的牧草隨著風向前進，而一波波佇立的牛羊隨之露出了背脊。好一幅波動的塞外風景。

《敕勒歌》的確可看成一幅波動的示範描述，吃草的牛羊並沒有隨著彎腰的牧草奔跑前進，而是一群低身於牧草中的牛羊，隨著牧草波而冒出頭來，這種波動現象處處可見；一般的波動傳播需要介質（光的傳播不需要介質，是個例外），聲音的介質是空氣，海浪的介質是水，一旦波動和介質之間有了交互作用（包括能量和角動量的交換），就產生複雜的大自然現象。以衝浪選手為例，若只漂浮在水上，那也是隨海水載浮載沉，若技術高超的衝浪手踩在浪頭上，跟著海浪的高點向前，衝浪版並沒有任何動力裝置，但仍能讓衝浪手乘風破浪，最主要的原因是好的衝浪手可以從浪頭獲得前進的能量。如果技術不佳，就會摔落水，受到浪頭的能量懲罰—強烈的水花拍打。

螺旋星系的螺旋臂也是介質和波動之間交互作用的結果。螺旋星系盤面上的物質（恆星和星際氣體）都是以較差自轉的形式繞著中心公轉，另外還有局部的本輪運動，這兩種週期運動都有各自的運動頻率（公轉頻率和本輪頻率），一旦盤面的質量分佈有些微的不均勻（許多不同頻率的小波動），某些特定區域會和物質的運動頻率產生共振，這時物質的運動能量就可以轉移到該特定頻率的小波動，進而激發出螺旋形狀的大波動，這個波動和密度空間分佈的狀況有關，因此稱為密度波。密度波的波峰是物質分佈較密的區域，由於密度較高，可以促使局部的重力不穩定，因而產生新恆星，構成我們觀測到的耀眼螺旋臂。

這種週期運動激發出的密度波，除了出現在螺旋星系盤面，還出現在太陽系的行星環，以及系外行星的原行星盤面。行星環和原行星盤是由額外的擾動因子所造成的，土星環的擾動因子是土星的衛星，原行星盤則是盤內的原行星，螺旋星系除了自身激發密度波外，也可能受擦身而過的另一個星系影響。密度波理論可以解釋天文的現象，也接受了天文觀測的考驗，讀者可以從以下的文章獲得到更詳細的星系、行星環和原行星盤概念。（曾耀震）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

## 【原行星系統上的密度波】

恆星形成理論最早可追溯自十八世紀末康德（Immanue Kant）和拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）的星雲假說，康德是德國著名的哲學家，他的巨著《純粹理性批判》為德國古典哲學奠定基礎。拉普拉斯是法國的數學家和天文學家，拉普拉斯變換和拉普拉斯方程是他的傑作。他們都想以「星雲自身萬有引力的塌縮」解釋太陽系的形成。旋轉的星雲塌縮成扁平狀的圓盤，中心區域經逐漸吸積而形成太陽，周圍盤面（稱為原行星盤）則有行星產生。

1970 年代，理論天文學家開始研究類太陽恆星的塌縮和形成細節。徐遐生院士在 1977 年提出等溫氣體球的「自我相似性塌縮」，發現氣體球開始塌縮的時候，是從內部開始，向中心塌縮的區域由內而外擴散開來。後續的研究，使得類太陽恆星的形成理論逐漸成形。而行星形成理論則認為原行星盤面上的星塵從 0.1 微米大小開始，經過不斷碰撞沾黏而長大成「公里等級」大小的微行星，微行星因為相互萬有引力吸引而碰撞合併成行星。至於離恆星較遠的行星，在形成核心之後，由於周圍環境溫度較低，有較多的氣體存在，可以藉由引力吸住周圍的氣體，逐漸形成類似木星的大型氣體行星。

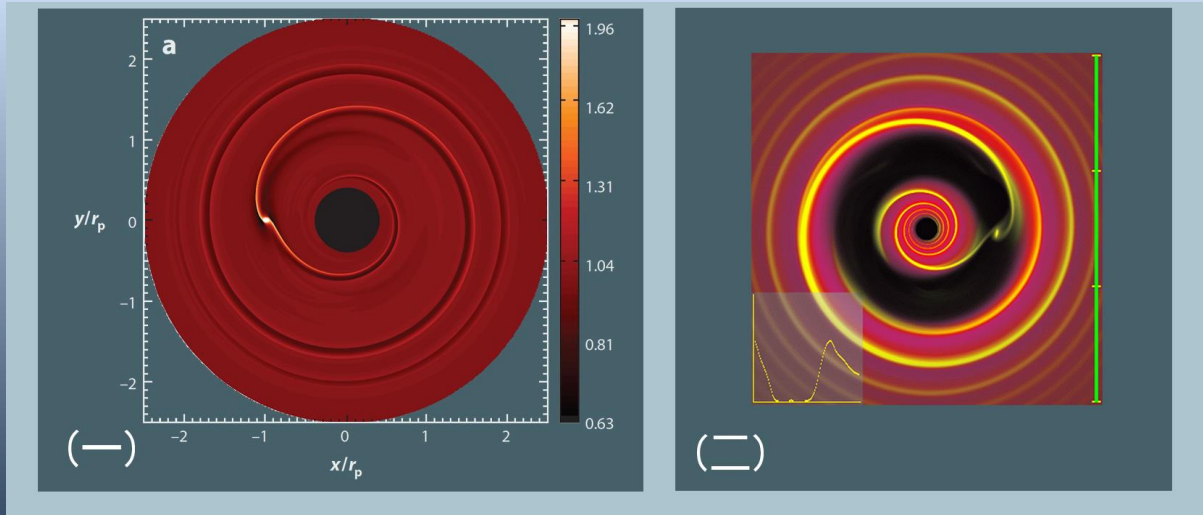
這樣的行星形成理論雖能解釋太陽系內的行星分佈，卻由於系外行星的發現而受到挑戰。1995 年天文學家首次發現繞著主序星（飛馬座 51）的系外行星（離母星飛馬座 51 約 0.05 天文單位，估計最小質量約 0.047 木星質量），隨著觀測技術的進步，不斷有新的系外行星被找到，至今已有 654 顆（參考 <http://exoplanets.org/> 的 2013/1/1 資料）。

隨著發現系外行星的數量增加，新的證據不斷考驗著行星形成理論。最令人不安的是：類木行星的位置離母恆星太近，有些質量只有 0.1~10 木星質量的行星距離母星不到 0.1 天文單位。行星形成理論原先認為質量較大的行星應該在離恆星較遠的位置形成（例如木星距離太陽約 5 天文單位），但這個說法無法解釋目前所觀測到的熱木星。

比較直接的想法是從動力學的角度下手，也就是說熱木星仍然是在距離母星較遠的位置形成，只不過因為某種機制，使得熱木星遷移到內圈，靠近母星。若考量母星的質量遠大於行星和原行星盤，熱木星的軌道速度應該遵循克氏公轉（速度與距離的平方根成反比），該處的角動量比內圈大（角動量與距離的平方根成正比），為了維持角動量守恆，熱木星想要遷移到內圈的話，必須要有角動量的改變才能完成。

1970 年代末，加州理工學院的理論天文學家高德瑞克（Peter Goldreich）和特里梅因（Scott Tremaine）將螺旋星系的密度波理論應用在原行星盤；但與螺旋星系的密度波理論有些不同：他們加了額外的擾動因子。在原行星盤的狀況下，繞著恆星公轉的行星成了擾動因子。

一顆剛形成的行星在原行星盤內運轉時，行星本身的萬有引力會讓盤面的密度分佈產生擾動，激發出密度波，由於整個盤面是以較差的旋轉方式（離中心不同距離處的旋轉速度不同），使得沿著徑向方向傳播的密度波在沿著盤面旋轉的方向拉扯，造成螺旋形狀的密度波。圖一的盤面是以逆時針方向旋轉，其中一條螺旋臂向外延伸，會向後拉扯行星，使之損失角動量而向內遷移，另一條向中心延伸，則是向前拉扯行星，行星獲得角動量而向外遷移，最後的淨作用決定行星的遷移行為。



圖一、電腦模擬的行星和原行星盤，顏色偏黑的區域代表密度較低，顏色偏亮的區域則是高密度區。當中的小白點是行星位置 ( $x/r_p = -1, y/r_p = 0$ )，行星兩端牽引出高密度的密度波。

圖二、「II 型遷移」的行星，除了兩端牽引出螺旋狀密度波，也在原行星盤上清理出環狀的裂縫(圖中行星所在的黑色環狀區域)。© Phil Armitage

行星遷移取決於行星和原行星盤之間的交互作用，因此和原行星盤的特性及行星的質量大小有關。質量較小的行星可以向內或向外遷移，整個遷移過程並不會在原行星盤開啟一個裂縫—「I 型遷移」；但質量大的行星就可以在盤面上清理出一個裂縫來(如圖二)，以較慢的速度向內遷移—「II 型遷移」。還有一種是 II 型遷移的變體—「III 型遷移」，屬脫韁野馬式的遷移，如果行星向內(外)遷移，便會進一步損失(獲得)角動量，因而又更向內(外)遷移。

由於密度波在原行星盤面造成不對稱的密度分佈，使得行星透過密度波，和原行星盤有了交互作用，相互交換角動量，改變行星的運動狀態。天文學家除了更深入觀測原行星盤和系外行星，還可以透過電腦的模擬進行相互比對，從而解開行星形成之謎。(曾耀寰)

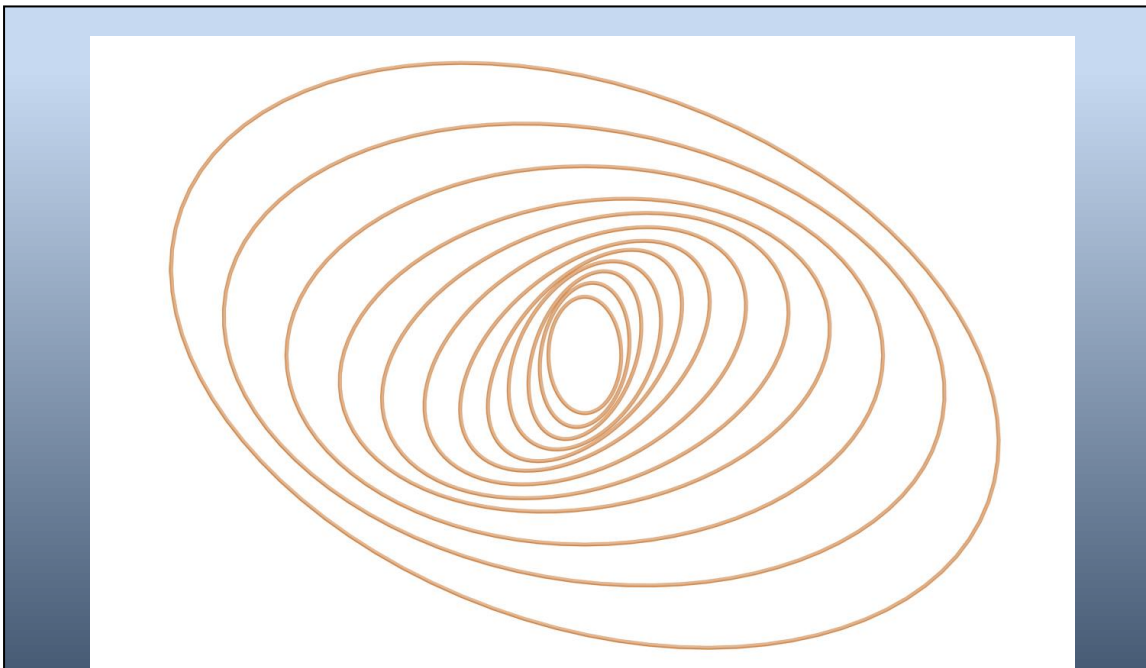


天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

## 【密度波理論之應用—行星環】

談到行星環，讓人第一個聯想到的就是美麗的土星環了。自從西元 1610 年，伽利略透過自製的天文望遠鏡發現土星長了「耳朵」（西元 1655 年惠更斯証明了「耳朵」其實是環繞土星的薄盤）之後，人們對於土星以及土星薄盤的好奇與關注就沒有間斷過。土星盤由 99.9% 的碎冰和少許的塵埃組成，顆粒的大小從數公分到數公尺。純淨的冰晶讓土星盤有效地反射太陽光，遠在地球的卡西尼因此得以於 1675 年觀測到由許多巨大環所組成的土星薄盤。土星薄盤的環與環之間有環縫存在。薄盤的厚度不均勻，約有數米到數十米的起伏變化。根據航海家號、卡西尼號等太空探測船回傳的即時高解析照片及探測數據，我們發現每個土星環其實都是由纏繞很緊的許多螺旋波紋所組成，此外還找到更多的細小環縫、環皺褶波紋、小衛星等等。從這些規律的小波紋結構到幾乎被淨空的大小環縫，我們想問是誰激起了這些美麗的波紋？又是誰開啟了這些環縫？

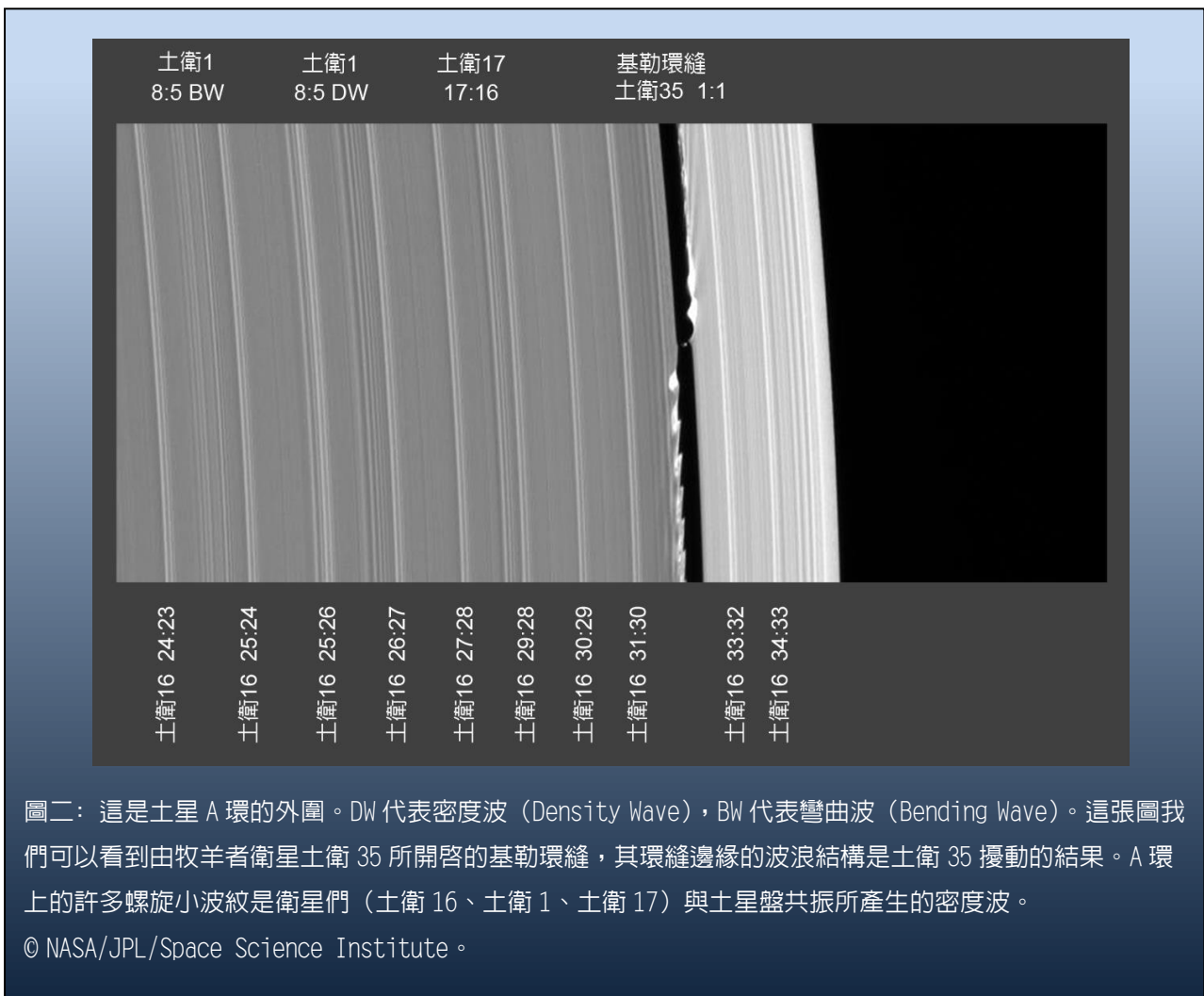
如果沒有小衛星的週期性擾動，土星本身的引力作用會讓土星環上的粒子以近乎完美的圓周運動繞著土星旋轉。不同半徑的旋轉速度所提供的離心力恰好抵消來自土星的向心力；此時如果對粒子作一個徑向擾動，由於角動量必須守恆，粒子便開始一邊繞著土星轉、一邊又以特定頻率在原來的圓周軌道上作徑向的簡諧振盪。如果在某個特定半徑圓周上運轉時，這個簡諧振盪頻率恰好與某個小衛星的軌道周期成整數比的話，那麼位於這個特定半徑的粒子就能有效地和小衛星交換能量和角動量。這個現象稱之為「共振」。產生共振的特定半徑稱之為「共振半徑」。



圖一：螺旋密度波示意圖。棕色線代表粒子的受擾動後的橢圓軌跡。軌跡上的粒子依逆時針方向繞著中心旋轉。軌跡較為集中的地點也是密度較高的地方。此圖中密度高的地方形成螺旋密度波。由於條件的不同，螺旋密度波可能順時針或逆時針旋轉；換句話說，波的行進方向與粒子的實際運動方向無關。© 中研院天文所

前面提到，位於共振半徑上的粒子能有效地與小衛星交換角動量。密度波理論告訴我們密度

波是如何把這個交換角動量的信息傳播出去。理解密度波一個很重要的關鍵是組成這些波紋的粒子，未必是同一群粒子。波是粒子們的集體行為表現，波的傳播方向跟粒子的實際運動方向無關（見圖一）。經過密度波理論的計算，我們有如下的結論：如果粒子所處的共振半徑比衛星的軌道半徑來得小，粒子的角動量會減少，密度波把失去角動量的這個信息往外傳播，使得這個波所經區域的粒子角動量都減少，往內落入更裡面的軌道。反之，粒子所在處的共振半徑如果比衛星的軌道半徑來得大，粒子將獲得角動量，密度波此時把獲得角動量的信息往內傳播，這個波所經之處的粒子角動量都隨之增加，並且往外遷移到半徑更大的軌道，環縫便因此被開啟了。只要小衛星持續以共振方式與土星盤交換角動量，其所產生的密度波就能一直維持環縫的淨空。土星環上許多環縫的形成與螺旋波紋都能用密度波理論來解釋。例如：基勒環縫（Keeler Gap）與土衛 35（Daphnis）的 1：1 共振、與土衛 17（Pandora）的 17：16 共振，以及與土衛 16（Prometheus）的多組共振密度波（見圖二）等等。



雖然密度波理論很成功地解釋了土星盤上的許多現象，但是土星盤想告訴我們的似乎不止於此。例如；輪輻的形成似乎與季節還有土星磁場有關、小衛星們有交換軌道的有趣現象、環弧的形成、小衛星軌道傾角造成的彎曲波等等。土星當然不是太陽系中唯一的有環行星。從太空探測器傳回的影像，人們發現太陽系內所有的類木行星（木星、土星、天王星、海王星）都有行星環。例如木星環主要是由又細又薄的塵埃所組成，反照率低，所以在地球上很難直接觀察木星環。密度波理論當然是理解這些系統的重要工具之一，但是未來我們需要更多的

創意來幫助我們理解環的生成、環的年齡、環的組成成份、衛星的形成、環與行星磁場的交互作用等重要課題。（王祥旭）

註：土星薄盤環與環縫的命名，前者是照發現時間前後依英文字母的順序命名，後者則以天文學家的名字命名；例如：介於 A 環與 B 環之間的環縫為卡西尼縫（Cassini Division）。目前土星上有命名的環縫共有十四個，四個在 C 環，八個在卡西尼縫內，還有另外二個在 A 環。



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。



## 【林家翹與星系密度波理論】

1942年瑞典天文學家林德柏(Bertil Lindblad)首先提出密度波的說法，嘗試用來解釋螺旋星系的旋臂結構。然而他利用個別星球軌道性質所做的計算，並無法推導出能夠解釋一個內含1011顆星球的星系系統觀測的定量結果。直到1960年代中期，林家翹和他的學生徐遐生提出以流體觀點論述螺旋星系的密度波理論，才成功解釋了螺旋星系的旋臂結構。

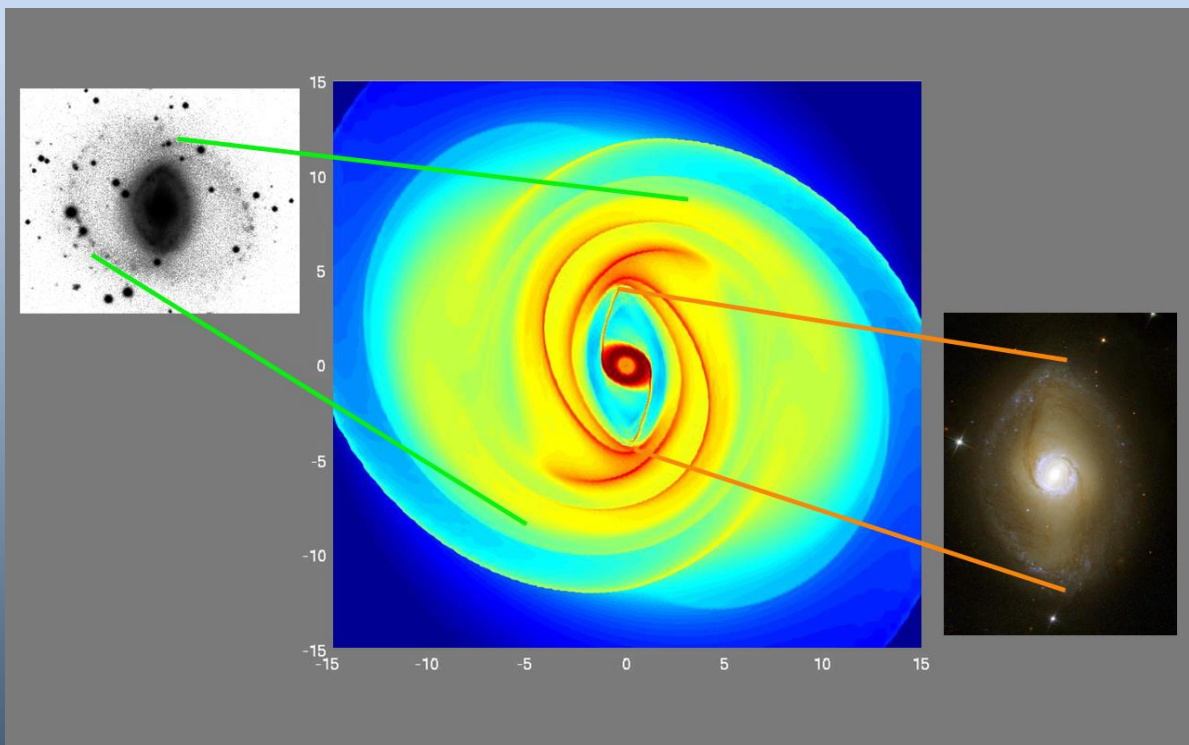
在提出密度波理論之前，林家翹先生已經是麻省理工學院的教授及中央研究院院士，在流體力學界是非常著名的學者。他的「平行流的不穩定性理論」說明了流體的黏性具有兩重性，既可穩定流動，也可成為製造不穩定的誘因，不穩定性會讓流體的流動從層流轉變成湍流(turbulent flow)。自然界的流動大多是湍流，所以當林先生的理論成功解釋「為什麼黏性能使流體的流動從層流變成湍流」，解決了物理學的大問題後，他的大名從此響徹學林！

那麼林先生為什麼會改變研究方向，轉而做天文物理學研究呢？1959年楊振寧先生在普林斯頓高等研究院，正在研究玻色-愛因斯坦(Bose-Einstein)凝聚問題，凝聚產生了超流體(super fluid)，需要一個既懂物理學，又精通流體力學的人幫忙，楊先生就請他的學長林家翹到普林斯頓高等研究院訪問一年，就在這段時期，林先生認識了天文學家斯特龍根(Bengt Stromgren)。有一次，斯特龍根邀林先生去參加一個天文學學術會議，會中，林先生第一次接觸到「星系較差自轉(differential rotation)」及「旋緊矛盾(winding dilemma)」的問題。螺旋星系自轉時，內部角速度比外部角速度大，如果組成旋臂的物質是固定的，星系的旋臂在很短的時間內就會捲成類似絨線團的形狀；然而星系存在的時間已經遠超過這個旋臂旋緊所需的時間，所有可見的螺旋星系旋臂卻都是開放、完全未被旋緊的——這個現象就是天文學著名的「旋緊矛盾」。

面對這個天文學上有名的大問題，林先生立刻覺得這些旋臂一定不是由固定的物質所組成，而是一個密度波。他發現螺旋密度波是一個可以滿足流體力學方程的解，於是就著手建立了更嚴謹的「螺旋密度波理論」。這時，大四學生徐遐生參加了林先生的研究工作，他們把成果發表在美國天文物理期刊(Astrophysical Journal, 1964, 140, 646)，之後更完善的結果又在美國科學院期刊上發表(Proceedings of National Academy of Sciences, 1966, 55, 229)，震驚了當時的天文學界。

林先生了解到如果要使密度波理論在天文界有影響力，一定要有觀測分析的結果支持。此時，新科流體力學博士袁旂加入從事這項把理論與觀測聯繫起來的工作，但當時的天文觀測要驗證這個理論很不容易。星系螺旋密度波，不像水波可以看到它在水面上傳播，螺旋密度波是繞著星系中央旋轉，其轉速非常慢。以銀河系為例，轉一圈需要5億年，人生幾何，再精確的望遠鏡也不可能看到螺旋的轉動。所以必須改用旁證的方法，就是要找出密度波可以產生，也可以觀測到的現象。當時他們以銀河為對象，用密度波理論解釋銀河系中氫原子的分佈、氣體的系統運動、明亮新星的分佈及他們形成的位置、中等年輕恆星的遷徙及他們形成的位置、磁場在氣體系統運動中扮演的角色及磁場分佈與旋臂的關係、並定出螺旋密度波旋轉的角速度。這些結果發表在美國天文物理期刊(Astrophysical Journal, 1969, 155, 721)。

螺旋密度波理論因為成功應用在銀河系的各種觀測，在天文界引起震撼。1970年林先生受邀在第14屆國際天文學大會作「邀請演講」，這是天文界的殊榮。但是名滿天下，歧見隨之。在麻省理工學院就有一位Alar Toomre教授，對密度波提出反駁，認為被螺旋密度波覆蓋的星系盤應在很短的時間內(與宇宙歷史相比)消失，所以我們所看到的星系上的螺旋結構應該不是密度波。面對這一異議，林先生立刻用駐波(standing waves)概念來回應。之後，他與Y.Y. Lau, James Mark, Giuseppe Bertin等幾位麻省理工學院的青年學者，將這個概念用數學物理的框架建立起來，並將密度波理論完整呈現，從此成了顛撲不破的理論。



圖說: 此圖是棒旋星系 NGC 6782 理論與觀測的比較。中間是用流體去模擬 NGC 6782 的氣體盤所計算出的結果。顏色代表氣體盤的面密度，紅色代表高密度，藍色代表低密度。

右下角是哈柏太空望遠鏡觀測的多波段光學影像。我們的理論計算結果可以複製出觀測到的明亮核心星爆環，兩端的尖橢圓形星環，及連接兩環的一對塵埃帶。

左上角是由 Buta & Purcell 觀測的 B-band 影像。我們的理論結果也複製出在橢圓形星環外的一對旋臂。

© 中研院天文所

林先生雖然沒有天文學的背景，一位流體力學專家卻意外走進天文物理學的領域，作出重大貢獻，解決懸宕多年的螺旋星系旋緊矛盾問題，並開啟將密度波理論應用在不同尺度天體的許多後續研究，這是天文物理學中一個瑰麗的篇章！

(林蓮宣摘寫自袁旂 2006 年於「力學進展」期刊發表的文章—「我認識的林家翹先生」，原文出處：該期刊第 36 卷第 4 期 481-484 頁)



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

## 憶恩師 林家翹 (1916–2013)

二十世紀華裔天文物理學者第一人，恩師林家翹，2013年1月13日清晨因心臟衰竭逝世於北京，得年96。遺孀梁守瀛女士，現仍居北京；女兒 Lillian Sheng-Jung Lin，定居美國喬治亞州亞特蘭大市。

林家翹教授 1916 年 7 月 7 日出生於北京，來自福建福州望族。2013 年 1 月 19 日於北京舉行喪禮時，宗族後輩及清華大學數學及物理學界團體多人親臨弔唁，同表哀思。他的逝世是個重大的事件，意涵深刻，因林家翹教授一生與中國近代最艱難的一段歷史糾結交錯，過程艱苦有之，盼望有之，至終凱歌高唱，其情節曲折起伏，無論小說或戲劇都相形失色。

19 世紀與 20 世紀交替之際，一場「庚子拳亂」過後，獲勝的八國聯軍從中國榨取了大筆賠款。為長久美名，美國又將其賠款退還中國，並特別指定該專款為教育用途。1911 年，中華民國建國，同年成立的清華大學，使命就是要核選差送青年學子出國學習科學技術，彌補中國因科技知識空白，以致飽受西方強權欺凌之憾。

清華大學創校初期，入學競爭很激烈，林家翹教授在 1933 年以榜首考入清華物理系，這是他在青年時期取得的一次重要成就。父親曾告訴我當時有一段趣聞，林教授班上無論任何考試成績公佈，他的同學們只會好奇「第二名」是誰，因為第一名總是不變，大家都公認林家翹會以第一名成績畢業，而他的確也在 1937 年以全班第一名成績畢業了，甚至體育課的成績他都拿到最高分，原因不是他運動細胞特別好，而是當其他人都回家洗澡的時候，林家翹還在操場上跑，他總是堅持到底。

畢業後，林家翹留校繼續擔任清大助教兩年，又在 1939 年考取庚款獎學金，本擬前往英國留學深造，但二次世界大戰爆發，情勢丕變，英國形同孤立。林家翹去不成英國，在 1940 年改變了計劃，去了加拿大多倫多大學。在頂尖數學家 and 相對論者 J. L. Synge 教授的指導下，1941 年取得碩士學位，然後轉學到加州理工學院，跟隨馮·卡門 (Theodore von Karman) 做研究。馮·卡門是一位著名的航空動力學者，後來獲美國甘迺迪總統頒贈國家科學獎章，還是該獎章的首屆得獎人。如此，就讀加州理工學院時期的林家翹，又成了當時期的研究生當中表現最傑出的一位，並在 1944 年取得博士學位。

林家翹的博士論文是由馮·卡門指導的，一舉解決了困擾海森堡 (Werner Heisenberg) 的「平行剪切流穩定性」問題 (stability of parallel shear flows)。此問題包括一個內含奇點的四階常微分方程解，內含奇點是此解到達該問題的物理邊界之前的轉向點。雖然直到今天平行流穩定性問題在應用數學裡仍是重大挑戰，但林家翹有辦法從邏輯推演去解決平行流穩定性問題，他做了一個具有啟發性的假設，假設流體從穩定態過渡到不穩定態的臨界雷諾數 (critical Reynolds number) 會比 1 大，因此能當作漸近展開裡一個很大的無因次參數。

此解今天已被當作一個平常的估計值使用 (甚至還有一個叫做奇異點微擾的數學支派以它作為基礎)，但是林家翹最早提出這個概念，當時卻爭論四起。後來總算因電腦和相關軟體能用數值可靠方法來解決爭論，止息了風波，林家翹的理論也終於獲得肯定。雖然我始終沒機會和林教

授直接討論過這次事件，但私下總不免揣測，當時經歷這場不愉快爭議，或許鍛鍊了林家翹教授，教他在科學生涯後期遭遇另一次學術爭議風波時，採取出奇堅毅的立場；並且這也使他在面對科學真理時，信任自己的直覺判斷，甚至比盲目仰賴數值模擬還多出幾分。該事件始末，行文流暢而完整地記錄在林家翹 1955 年出版的一篇專論短文裡，篇名為：「流體力學穩定性理論 (The Theory of Hydrodynamic Stability)」。

林家翹為平行流穩定性問題提出的這個解，成為層流轉換為湍流的經典範例。噴氣推進實驗室 (JPL) 是由馮·卡門創立的，林家翹在 JPL 擔任博士後研究期間，獲馮·卡門教授指導，在馮·卡門的「不可壓縮各向均勻同性湍流統計理論」概念上，兩人共同合作得出「完全發展湍流譜理論 (spectral theory of fully developed turbulence)」。

同時林家翹也參與研究空氣動力學相關的燃氣渦輪發動機、振盪機翼和震波等理論，這些知識奠定了現代噴射機和火箭科學研發的基礎。

1945 年，林家翹獲聘於布朗大學應用數學系任助理教授，翌年升等為副教授。1947 年獲麻省理工學院禮聘，前往擔任應用數學系副教授，1953 年升等為正教授。1958 年獲選為中研院院士。1959 年，楊振寧教授（後來獲諾貝爾物理獎）正在普林斯頓高等研究院做研究，楊振寧邀請了當時正在休假年 (sabbatical year) 中的林家翹，前往普林斯頓研究超流體相關理論。

就在那年，林家翹出席一場普林斯頓高等學院 (IAS) 教授知名天文學者 Bengt Stromgren 主辦的會議，席中得知天文學者對盤狀星系為什麼會有旋臂狀結構的現象，正在百思不得其解。這個令人深感困惑的現象是：在盤狀星系裡，物質旋轉速度會不一致，靠近星系中央的物質比外圍物質轉得快，更早完成一次自轉，然而星系旋臂卻從來不會因而越纏越緊—如果越纏越緊的話，旋臂上至少出現一百多個纏繞現象才對，但是從來都只看到一兩個纏繞情形。經過當時最頂尖的觀測天文學家 Jan Oort 教授簡潔陳述了這纏繞現象上有這樣的兩難推理後，激發林家翹推想出一個概念：星系裡的旋臂現象並不是物質的結構，而是某種波的型式。

這就是密度波理論的起源。林家翹決心轉換研究領域，投身研究這個天文上最重要的問題，這件事在當時的學界所受到的矚目，甚至連費曼教授都沒忘記在「費曼物理講堂」一書中記上一筆。當時林教授網羅了一批年輕學者，協助他以方法學長期觀測的方式解答星系旋臂現象的問題。這批年輕的理論學者有：1960 年成為麻省理工學院講師的 Alar Toomre、同年成為 MIT 博士後研究人員並在 1964 年升等獲正式教職的 Chris Hunter、1964 年成為 MIT 研究生的 Bill Roberts、1966 年成為 MIT 博士後研究員的袁旂、1970 年任 MIT 助理教授的 James Mark、及 1973 年成為助理教授的 Yue-Ying Lau。

我則是從 1962 年暑假開始，就有幸以大學部同學的身分跟隨林 (家翹) 教授做研究。當時林教授剛獲選為美國國家科學院院士，可能因此心情特別好，所以慨然同意指導一個對學術研究山高水深全然無知的小毛頭。當時我協助他的工作內容是，用數值計算去解答風力驅動海洋環流的問題（當時用的還是機械式的計算機，不是電子式的電腦）。上學期我的表現尚可，所以林教授下學期也願意繼續指導我的大學畢業論文，題目就和旋臂的密度波理論有關（麻省理工學院物理系的大學部同學都要交論文才能畢業）。林教授並建議我那學期去修一堂「星系結構和動力學」的課，授課的客座教授是 Lodewijk Woltjer。這位教授後來成為 ESO（歐南天文臺）臺長，也擔任過國際天文聯合會主席。關於密度波的科學學理部份，留待本期其他撰稿者發揮。在此，我只略述當時天文學界對密度波理論的幾分雀躍及一些爭論。

當時的我，站在天文學一個峰迴路轉的起點上，心中充滿興奮。林教授即將和當時最傑出的理論學者交手爭論，特別是把電波天文領域的觀測學者也捲入，大家一起努力要讓盤狀星系的旋臂結構科學真相/原理完整呈現。因此我還不到 20 歲，就認識了諸如：Jan Oort，Bart Bok，Frank Kerr，Harold Weaver，Mort Roberts，Gart Westerhout，Bernie Burke 等 20 世紀電波天文學最頂尖的學者。雖然我自認在天文學者中從事的是理論方面的研究，但恩師林教授的典範讓我了解，在天文學



圖說：徐遐生夫婦與恩師林家翹一家三口合影。1967 年徐遐生訂婚前攝於麻省 Weston 市的林家翹教授家中。©徐遐生院士

這個無法進實驗室做實驗的學科中，更重要的是區分「可信 (probable)」和「可能 (possible)」兩者間的不同，其間關鍵的部份，正需倚賴經驗判斷加上資料數據的幫忙才得以完成。按哈柏圖與盤狀星系的相關性，譬如從銀盤和核球比與氣體含量等其他屬性來看，旋臂結構必定是盤狀星系本身內部 (intrinsic) 具有長期存在的動力學特徵，經過與觀測學者的討論，這是明顯可知的事實，然爭議之聲卻不絕於耳，因當時主導理論派的學者認為：旋臂結構只是個短暫，或由外部驅動的現象。

學術爭論白熱化的激情，有時不僅過了頭，甚至影響到個人私生活領域，這叫在旁旁觀的林教授崇拜者如我，看了都生氣。然而在這艱困的求證階段，林教授卻總是保持一貫的冷靜端莊。如果說在前次「平行流穩定性」的風波中，他表現了勝者之寬宏大量；在這個時期，他則呈現了有勇氣面對考驗的另一面性格，或許他自始至終都很清楚自己最終將會獲勝！遺憾的是，林教授辭世太早，否則我原本準備 2013 年 6 月份將在北京舉辦一次回顧座談，檢視當時林家翹教授所提出的所有密度波理論，如今，無一不是在觀測結果中一一獲得了證實，即便某些小細節尚待釐清，卻無損於該理論的正確性地位。

當局者迷，旁觀者清。其實，林家翹教授畢生早已獲獎無數：1966 年，林教授獲麻省理工學院 (MIT) 授予 Institute Professor 教授職，這是 MIT 對該校最出色教職同仁所呈獻的最高榮譽。回顧當時 MIT 授予 Institute Professor 的傑出學者：控制論 (Cybernetics) 的發明人 Norbert Wiener、第一位獲得諾貝爾經濟學獎的美國人 Paul Samuelson、傑出的邏輯學者、語言學者、哲學家 Noam Chomsky；全是當代一時之選。1973 年，美國物理學會授予林家翹 Otto Laporte Award 表彰他的貢獻。1973 年，林家翹又獲選為工業與應用數學學會會長。1975 年，美國機械工程師學會授予他「鐵木辛科勳章」(Timoshenko Medal)，表揚林家翹在流體力學—「特別是對流體動力學穩定

性，湍流及星系結構」方面的傑出貢獻。1979年，他成為美國物理協會流體動力學獎的第一個獲獎者。1982年，他又獲得 Killian Lecture 獎，該獎僅頒給 MIT 最優秀的研究人員。1987年，林家翹自 MIT 退休，同時，再獲清華大學授予名譽博士。1992年，由加州理工學院頒贈傑出校友獎。1994年，林家翹被選為中國科學院外籍院士。2002年他回到清華母校創立周培源應用數學研究中心。從那時一直到後來進入加護病房的這段期間，林家翹為母校可說孜孜不倦、力盡方休，胸中始終燃燒著熊熊治學之火，熠熠輝映著 73 年前中國差遣林家翹前往海外留學的重大使命，也始終回應著清華大學創校的初衷。當時的中國何曾料想到，這位來自中國的留學生，有一天將為全世界帶來一份何等重要的禮物？！



圖說:1995年大師林家翹與眾門生在香港餐聚。由左至右，前排分別為：譚遠培、賀曾樸、李太楓、林家翹夫婦；後排左二起分別為：林潮、徐遐生夫婦、魯國鏞。©徐遐生院士

2005年，國立清華大學在北京為林家翹教授舉行了一個名譽博士頒贈的紀念典禮，當時我是清華校長，儀式由我主持，致詞時我曾說過，由學生來頒贈一個學位給他的指導教授，我的殊榮實在舉世罕見。我懷念林教授有著決斷者的智慧，科學家的精確，為人師表的仁慈和藹，又仰慕他臨危堅忍不拔，高風亮節，人文修養廣博。恩師風範，教我永遠感佩，也永遠難忘。（徐遐生院士特稿；翻譯/黃珞文、楊淳惠；審校/李太楓院士、曾耀寰博士、林蓮宣博士）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

Professor Chia-Chiao Lin

( 1916 – 2013 )

Professor Chia-Chiao Lin, the foremost astrophysicist of Chinese descent of the twentieth century, passed away from heart failure in Beijing during the early morning of January 13, 2013. He was 96 at the time of death, and he left behind a wife, Shou-Ying Liang who continues to reside in Beijing, and a daughter, Lillian Sheng-Jung Lin, whose residence is in Atlanta, Georgia.

Born in Beijing on July 7, 1916, C. C. Lin came from a large prominent family of Fuzhou City in Fujian Province. Many of the descendants of that family attended his funeral services on July 18, 2013 in Beijing to pay their respects along with much of the Tsinghua community in the mathematical and physical sciences. The event was marked by poignancy and meaning since the life story of C. C. Lin is intertwined with the most difficult period of modern Chinese history, one full of trial and hope and ultimate triumph that makes pale any tale of fiction.

After the Boxer Rebellion at the turn of the nineteenth and twentieth century, the victorious Allied Powers had extracted from China a huge indemnity. To its everlasting credit, the United States returned its portion of the money under the stipulation that the funds be used for educational purposes. In 1911, with the establishment of the Republic of China, Tsinghua University was founded with the express mission of sending young scholars to study abroad to learn the missing science and technology that had placed China at such a disadvantage compared to the West.

The competition to enter Tsinghua University in its formative years was therefore fierce, and it was a notable early achievement that C. C. Lin enrolled in the Physics Department at Tsinghua in 1933 with the highest entrance examination score among all the candidates for admission in China for that year. A legend among his classmates – my father told me that when exam scores in any class were posted, the only curiosity would be who had placed second – it was conceded by everyone that C. C. Lin would graduate at the head of his class, which he did in 1937. Even in gymnastics, C. C. Lin got the highest grade, not because he was particularly athletic, but because when all the other boys had left to wash up, he was still on the track running.

After working as a teaching assistant at Tsinghua University, C. C. Lin received a prestigious Boxer Rebellion Indemnity Scholarship in 1939 to pursue graduate study in the United Kingdom. However, the breakout of World War II led to the virtual isolation of Great Britain and interrupted these plans, and he went in 1940 to study instead at the University of Toronto under the supervision of the great mathematician and relativist, J. L. Synge. In 1941, he received a Masters of Science from Toronto, and he transferred to the California Institute of Technology to work with the renowned aerodynamicist, Theodore von Karman ( who was the recipient of the first National Medal of Science from President John Fitzgerald Kennedy ) . Again, C. C. Lin achieved the highest marks of any Caltech graduate student of that period, and he received his PhD in aeronautics from Caltech in 1944.

Under von Karman's supervision, C. C. Lin's thesis dissertation tackled and solved a problem on the stability of parallel shear flows that had stymied Werner Heisenberg. The problem involved the solution of a fourth-order ordinary-differential-equation with internal singularities ( or "turning points" before

the solution reached the physical boundaries of the problem) , a considerable challenge for applied mathematics even today. Nevertheless, C. C. Lin was able to find an analytic method to solve his problem by making the inspired guess that the critical Reynolds number for the transition from stability to instability would be large compared to unity, and therefore could serve as a large dimensionless parameter for asymptotic expansion. Although a commonplace approximation today ( a whole branch of mathematical methods called singular perturbation theory has grown up around the technique ), the strategy attracted a lot of controversy when C. C. Lin first introduced it. Eventually, the controversy was settled, in C. C. Lin's favor, when electronic computers and their associated software grew powerful enough to reliably attack the problem numerically. Although I never had the opportunity to discuss the matter directly with him, I always personally suspected that the unpleasantness of this early controversy steeled him for the later controversies in his scientific life and also led him to trust to his own intuition for where scientific truth was likely to lie more than blind reliance on numerical simulation. A summary of these developments is contained in Lin's short ( and sweet ) monograph published in 1955 entitled "The Theory of Hydrodynamic Stability".

Lin's solution of the problem of the stability of parallel flows constitutes the classical example for the transition from laminar to turbulent flow. As a postdoc at the Jet Propulsion Lab ( founded by von Karman in 1938 ) , he collaborated with his adviser on a spectral theory of fully developed turbulence, which extended von Karman's ideas of the roles of similarity in statistical theories of incompressible homogeneous turbulence. In this period he also worked on the aerodynamics of gas turbines, oscillating airfoils, and shockwave theory, i.e., knowledge which became the base of the development of modern jet airplanes and rockets.

In 1945, he accepted a faculty position in Applied Mathematics at Brown University; in 1946 he was promoted from Assistant Professor to Associate Professor. In 1947, MIT recruited him as an Associate Professor in Applied mathematics, and in 1953 he was promoted to full professor at MIT. In 1958 he was elected a member of Academia Sinica in Taiwan. In 1959, Physics Nobelist Chen Ning Yang invited him to spend a sabbatical year at the Princeton Institute for Advanced Study ( IAS ) to work on the theory of superfluids. During that year, Lin attended a meeting organized by the famed astrophysicist Bengt Stromgren, who was then one of the permanent professors at the IAS. From that meeting, Lin learned that astronomers were completely puzzled by why most disk galaxies possessed spiral structure. The matter in disk galaxies rotates differentially, i.e., the material closer to the center takes less time to complete a full circle than the material farther from the center, yet the spiral arms of a galaxy do not wind up into ever tighter spirals. ( If they did, spiral arms would have over a hundred windings, yet they rarely exhibit more than one or two. ) The winding dilemma as posed succinctly by the world's foremost observational astronomer at the time – Professor Jan Oort of Leiden University – struck Professor Lin so forcefully that he conceived the idea that spiral arms in a disk galaxy must not be a material structure but a wave pattern.

Thus was born the idea of density-wave theory. C. C. Lin determined that he would switch his field of research to work on this important problem in astrophysics ( mentioned even in "Feynman's Lectures on Physics" published in this period ) . He began to assemble a team of young theorists to help him tackle the problem on a long-term methodical basis. Alar Toomre joined the MIT faculty as an Instructor in 1960; Chris Hunter, as a postdoc in 1960 and then on the regular faculty in 1964; Bill Roberts as a graduate student in 1964; Chi Yuan, as a postdoc in 1966; James Mark as an Assistant





At the Lin's home in Weston, Massachusetts in 1967 shortly before the engagement of Frank Shu and Helen Pu, with the Lin's daughter Lillian (age 12) at the center. © Frank Shu

Professor in 1970; Yue-Ying Lau as an Assistant Professor in 1973.

I was fortunate to begin to work with him as an undergraduate research student in the summer of 1962. He had just been inducted as a member of the National Academy of Sciences, and he was perhaps in a good mood to mentor someone who had no idea of what academic research entailed. The problem that he put me on was to help with numerical calculations (on a mechanical calculator, not an electronic computer) of wind-driven ocean circulation. I must have performed adequately in this role because he became my undergraduate thesis advisor in the following semester to work on

spiral density-wave theory. (At MIT, all physics majors must write an undergraduate thesis.) He also advised me to take a course in Galactic Structure and Dynamics being taught that semester by Visiting Professor Lodewijk Woltjer, who would later become the Director General of the European Southern Observatory and the President of the International Astronomical Union). There are others in this ASIAA Quarterly who will write about the science of density-wave theory, so let me just convey some of the excitement and controversy of the time.

The excitement, for me, was to be at the beginning of a transformational era, one in which Professor Lin interacted (and argued) not only with the foremost theorists of the day, but also engaged the observers (especially in radio astronomy) in an all-fronts attempt to find out the scientific truth about the nature of spiral structure in disk galaxies. Thus, before I had turned twenty, I had met some of the great names of twentieth-century radio astronomy – Jan Oort, Bart Bok, Frank Kerr, Harold Weaver, Mort Roberts, Gart Westerhout, Bernie Burke, and others. Although I thought of myself as a theorist, I learned from Professor Lin's example that it was even more important in a subject in which one cannot perform laboratory experiments to rely on the empirical data to help separate the probable from the merely possible. It was obvious by talking with the observers that correlations of the Hubble diagram with other attributes of a disk galaxy, such as the bulge to disk ratio and the fractional gas content, that spiral structure must be a long-lived and an intrinsic dynamic feature of a disk galaxy. The controversy arose because the predominant attitude among theorists at the time was that spiral structure was a transitory or externally driven phenomenon.

Because of the heated passion generated by the controversy, the attacks went beyond professional debate and bordered sometimes on the personal. Such attacks were painful for his admirers to witness. Yet throughout this difficult trying period, he himself always maintained a calm and dignified exterior. If

in his previous controversy with the stability of parallel flows, he had displayed “Magnanimity in Victory,” now he was a profile in “Courage under Attack.” Perhaps he knew all along he would be victorious in the end. One of the regrets that I have concerning his too early passing is that I had hoped to review for him in Beijing in June 2013 that almost all of his ideas about density-wave theory have today been proven by observations to be correct, even if the details of the underlying theory still remain murky on some points.

Those outside the field saw more clearly than those on the inside. In 1966, C. C. Lin was appointed Institute Professor at MIT, an honor granted only to the most illustrious faculty members. At that time, the other Institute Professors were Norbert Wiener, the inventor of Cybernetics, Paul Samuelson, the first American to win the Nobel Prize in Economics, and Noam Chomsky, the distinguished logician, linguist, and philosopher. In 1973, the American Physical Society recognized his contributions with the Otto Laporte Award. Also in 1973, the Society for Industrial and Applied Mathematics elected him President. In 1975, the American Society of Mechanical Engineers awarded him the Timoshenko Medal for “outstanding contributions to fluid mechanics, especially to hydrodynamic stability and turbulence, and galactic structure.” In 1979, he became the first awardee of the Fluid Dynamics Prize of the American Physical Society. In 1982, he was the Killian Lecturer, a recognition bestowed only to the most outstanding researchers on the MIT faculty. In 1987, he retired from MIT, and he also received an honorary doctorate from Tsinghua University. In 1992, Caltech bestowed him with its Distinguished Alumni Award. In 1994, he was elected to be a Foreign Member of the Chinese Academy of Sciences. In 2002, he moved back to his alma mater, Tsinghua University, and founded the Zhou Pei-Yuan Center for Applied Mathematics. From that time to his last days in the intensive care unit of the hospital, he worked tirelessly to help his alma mater, so brightly did the flame burn in him of the mission of Tsinghua University for which he was sent out from China 73 years earlier. Little did China realize, perhaps, what a gift it would be for the world.



The Master at a dinner in Hong Kong in 1995 with many disciples. Front row, left to right: Ron Taam, Paul Ho, Typhoon Lee, C. C. Lin, Mrs. Lin; back row, left to right: Tali Lin, Doug Lin, Frank Shu, Helen Shu, Fred Lo. © Frank Shu

In 2005, National Tsing Hua University awarded him an honorary doctorate in a ceremony in Beijing where I presided as the President of NTHU. On that occasion, I said that it was rare privilege that a student has a chance to present his supervisor an academic degree. I will miss his wise judgment, his scientific acumen, his kind mentorship, his stoic courage in the face of adversity, his high personal integrity, and mostly his broad humane spirit. He will be missed, but never forgotten.

( Article by Dr Frank Shu; Translation by Lauren Huang and Chun-Hui Yang; Review by Drs. Typhoon Lee, Yao-Huan Tseng and Lien-Hsuan Lin )



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

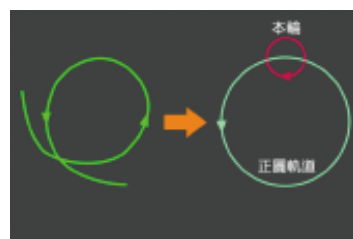
## 天文小辭典

### 角動量

物理中剛體的角動量定義為該物體繞著某一「特定旋轉軸」的「轉動慣量」與「角速度」的乘積。類比於線動量中的質量，轉動慣量描述了該物體對於轉動狀態的慣性。轉動慣量愈大的物體，我們愈不容易改變其轉動的狀態。類比於改變線動量的「外力」，用來改變物體旋轉狀態的稱之為「力矩」。一般而言，外在力矩能同時改變物體旋轉的「方向」和「角速度」。沒有外在力矩存在的系統，總角動量必須守恆。應用到行星盤系統，小衛星與盤上的粒子通過引力的作用，相互施與力矩，進而改變各自繞著行星的旋轉狀態，一方若獲得角動量，另一方必然失去同量的角動量。也就是說，行星盤內的角動量可以交換，但不會憑空消失。（王祥旭）

### 本輪運動

在原行星盤或星系盤的物質以近乎圓形的軌道繞著中心運動，這個軌道可分解成正圓軌道運動和本輪運動，正圓軌道是繞著原行星盤或星系盤中心的正圓形，本輪運動則是相對於正圓軌道的小圓軌道運動（如圖）。（曾耀寰）



### 較差自轉

是指一個天體在自轉時不同部位的角速度互不相同的現象。較差自轉在大多數非固體的天體中存在，比如星系、恆星、巨型氣體行星等。（林蓮宣）

## 最新消息

### 2013 年暑期學生計畫

本所 2013 年暑期學生計畫將於 3 月 8 日開放報名，詳情請參考官網資訊



### 天聞季報問卷調查

歡迎高中老師們上網填寫「天聞季報問卷調查」，告訴我們您對『天聞季報』發行及內容的意見與建議，讓未來的「天聞季報」更進步、更好。



### 2012 年冬季號—量天尺專刊內容勘誤

- 1、【量天尺使用說明】第三段第 3 行太陽系內量測單位，更正為「10 天文單位=15 億公里」，原文為誤植。
- 2、【超新星】一文的附圖更新。更新版請詳見網路版季報。



## 星系分類：哈柏序列

哈柏序列是哈柏 (Edwin Hubble, 1889—1953) 提出的星系分類法，由於哈柏序列的圖形表示法，外觀看起來很像音叉，所以也稱為「哈柏音叉圖」。

其分類的依據，主要是根據星系外觀的特徵，分為橢圓星系、透鏡星系與螺旋星系，以及不屬於上述任一類的不規則星系。而螺旋星系又依中央棒狀結構的有無，分成一般的螺旋星系與有棒狀結構的棒旋星系。

值得注意的是，「哈柏音叉圖」只是型態上的分類，和星系的演化沒有關係。例如螺旋星系並不是從橢圓星系演化而來；或是透鏡星系會演化成兩個分支，一支發展出正規的螺旋星系，另一支則發展成棒旋星系。這些推論都超出「哈柏音叉圖」的適用範圍。

此外，隨著觀測技術的精進，星系更多的細節被觀測到，其他分類系統因應而生來補充哈柏序列的不足，如迪·佛科留斯系統 (De Vaucouleurs system)、耶基斯分類 (Yerkes scheme) 和范德胡斯特分類法 (van den Bergh's classification of galaxies) 等。

## 本所星系相關研究簡介

在天文學上，星系的課題屬於河外天文學，為當前最活躍的研究課題之一。

本所河外天文研究的課題相當廣泛，從星系團到活躍星系核，鄰近星系到高紅移星系等。我們特別有興趣於星系的形成及演化、星系間交互作用、星系內之星際間物質、活躍星系之活動及星爆。研究方法運用了多波段觀測，包括電波、紅外線、可見光及 X 射線，進階分析技術，及包含了磁流體力學模型的理论研究。

## 橢圓星系

橢圓星系的外觀呈橢圓形，代號為 E，依扁平程度從 E0 到 E7，假設橢圓的長軸為 a，短軸為 b，扁平程度的公式為  $10 \times (1 - b/a)$ 。E0 的橢圓星系外觀幾乎是圓形的，而 E7 則非常的扁平。扁平程度只是代表這個星系出現在天空中的形狀，與真實的幾何形狀無關。

研究顯示，橢圓星系內的恆星運動，是以不規則的運動為主，這和以自轉運動為主的螺旋星系很不一樣。橢圓星系內只有少許的星際物質，年輕的恆星很少，多是年老的恆星；疏散星團的數量也不多，多是球狀星團。

## 棒旋星系

棒旋星系的外觀大致與螺旋星系相同，但是旋臂不是從核球伸展出來，而是從位於中心的短棒結構末端伸展開來。代號為 SB，依照中心核球大小與旋臂纏緊的程度，可依次分為 SBa、SBb、SBc，其中 SBa 的核球最大，旋臂纏繞最緊；SBc 的核球最小，旋臂纏繞最鬆。大約三分之一的螺旋星系是棒旋星系。

## 螺旋星系

螺旋星系的外觀呈圓盤狀，大多數星系中心有突起的核球，從核球向外伸展出，分布在盤面上的旋臂結構。代號為 S，依照中心核球大小與旋臂纏緊的程度，可依次分為 Sa、Sb、Sc，其中 Sa 的核球最大，旋臂纏繞最緊；Sc 的核球最小，旋臂纏繞最鬆。

研究顯示，螺旋星系的星系盤是扁平的，伴隨著星際物質、年輕的恆星和疏散星團，共同繞著核球旋轉。旋臂結構上充斥著明亮的恆星形成區。此外，整個螺旋星系還被呈球狀分布的星系暈包圍著。

## 透鏡星系

透鏡星系外觀呈圓盤狀，星系中心有突起的核球，但是沒有旋臂的結構。代號為 S0 或 SB0，其中 0 代表沒有旋臂。

研究顯示，透鏡星系內的星際物質很少，恆星形成區的數量也很少，成員則多為年老的恆星。

## 不規則星系

不規則星系的外觀通常是混亂的，既不是橢圓也不是圓盤，既沒有位於中心的突起核球，也沒有任何類似旋臂或短棒的結構。

研究顯示，不規則星系可能曾經是螺旋星系或橢圓星系，但是因為重力的作用而受到破壞(例如與鄰近星系的碰撞)，並因而變形。

## 星系分類版權資訊

天體影像：

M31、M32© 王為豪

M59、M105© NOAO/AUI/NSF

M60、M81、M85、M86、M89、NGC1300、NGC1672© NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

M77© X-ray(NASA/CXC/ MIT/C.Canizares, D.Evans et al),

Optical(NASA/STScI), Radio(NRAO/AUI/NSF)

NGC584© Department of Physics & Astronomy,CAS/UA

NGC1097、NGC1365、NGC6822© ESO

NGC1291© NASA/JPL-Caltech/Yale University/H. Crowl (Yale University)

NGC2366© GALEX,NASA

NGC2787、NGC3593、NGC5408、NGC6240© NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

NGC4125© DSS/STScI

NGC5033© NRAO/AUI/NSF

文字：蔡殷智

審校：林彥廷



發行人\賀曾樸  
執行主編\陳筱琪  
美術編輯\蔡殷智  
執行編輯\金升光、曾耀寰、楊淳惠、蔣龍毅  
發行單位\中央研究院天文及天文物理研究所  
地址\臺北市羅斯福路四段一號天文數學館 11 樓  
電話\ (02)2366-5391  
電子信箱\epo@asiaa.sinica.edu.tw  
天聞季報版權所有\中研院天文所

#### 星系分類版權資訊

##### 天體影像：

M31、M32 © 王為豪

M59、M105 © NOAO/AUI/NSF

M60、M81、M85、M86、M89、NGC1300、NGC1672 © NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

M77 © X-ray(NASA/CXC/ MIT/C.Canizares, D.Evans et al), Optical(NASA/STScI), Radio(NRAO/AUI/NSF)

NGC584 © Department of Physics & Astronomy, CAS/UA

NGC1097、NGC1365、NGC6822 © ESO

NGC1291 © NASA/JPL-Caltech/Yale University/H. Crowl (Yale University)

NGC2366 © GALEX, NASA

NGC2787、NGC3593、NGC5408、NGC6240 © NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

NGC4125 © DSS/STScI

NGC5033 © NRAO/AUI/NSF

星系分類文字：蔡殷智

星系分類審校：林彥廷

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信給我們，提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。

來信請寄至『10617 臺北郵政 23-141 號信箱 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收』；或是寄至電子信箱：[epo@asiaa.sinica.edu.tw](mailto:epo@asiaa.sinica.edu.tw)。



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。