

清華大學天文社 天文通訊

第四期

發行日期：2006/10/05

Astronomy Communications of AstroClub, NTHU

ISSUE 4

本期內容

Deep Impact 深撞任務 陳小白

波霎 frog

天文攝影 小俏

太陽 小堆

Deep Impact

深擊任務是人類有史以來，第一次計畫以撞擊的方式來研究彗星，因此受到全球注目。這個計畫從構思、提案、建造、發射到真正撞擊，至少費時十餘年，才讓天文學家的夢想成真。

為何要研究彗星？一個原因是我們對彗星尚未非常了解，而且彗星是太陽系最早的產物，若要瞭解太陽系的起源，彗星是個非常合適且應該要研究的目標。再從更實際的層面來看，彗星撞擊地球是有可能的，所以了解彗星對我們來說有相當的重要性。

深擊任務的理由也非常堅強。1986年哈雷彗星任務，共有包含日本2艘、蘇聯2艘、歐洲喬陶號（Giotto）等5艘太空船，都有重要的貢獻。之後的CONTOUR至今，除ROSETTA將登陸彗星表面外，其他都是只可遠觀的任務，以拍照、光譜等方式研究，僅能瞭解表面結構與形成。但因彗星來回環繞太陽，如哈雷彗星，最早的記載在魯文公14年（春秋「秋七月，有星孛，入於北斗」），至今已回歸至少35次。每次回歸接近太陽時，彗星表面受熱使揮發性物質大量蒸發。1986年回歸的最重要觀測結果，發現哈雷彗星的彗核居然是太陽系中最黑暗的天體，反射率只有4%，這是因為較亮的物質通常揮發性較強，所以早就揮發掉了。由此可知，存在有年的彗星表面已經過多次受熱、蒸發、落回表面、冷卻的重複過程，與原始狀態不同，無法瞭解深部的物質究竟為何，所以深擊任務才想到要用撞擊的方式去瞭解它。

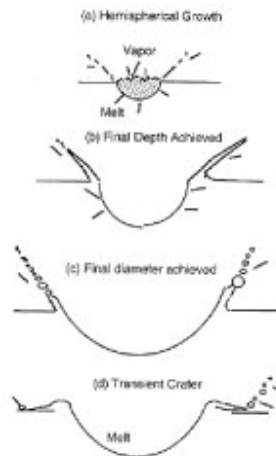
深擊任務將如何研究(9P/Tempel 1)？

深度撞擊以可見光和紅外波段光譜，以及攝影照片等方式，預期進行下列科學研究：

1. 看彗核上的隕石坑如何形成

例如哈雷彗星任務時，太空船看到哈雷彗核上有隕石坑、有山、有亮點等。因地球、月球的地質條件與彗星不同，形成的隕石坑也會不同。例如，隕石坑形成後，其岩壁的陡峭程度，可瞭解物質間的黏滯性有多強。現在的彗星理論中，有人認為彗核是由整塊黏滯的物質所形成，也有人認為是由許多碎石勉強沾黏 (by gravitation) 而成、一碰就碎。哪種正確？唯有撞完後才能確定。而由攝得照片看到噴射出來的物質仍然緊緊靠著彗星看來，彗核應該是由一堆碎石藉由重力結合在一起。

因此，從隕石坑的形成，可瞭解彗核物質的物理性質，再由此推測彗星的結構，甚至彗星的形成和演化過程，非其他只可遠觀的觀測方式可比。



撞擊坑的形成過程

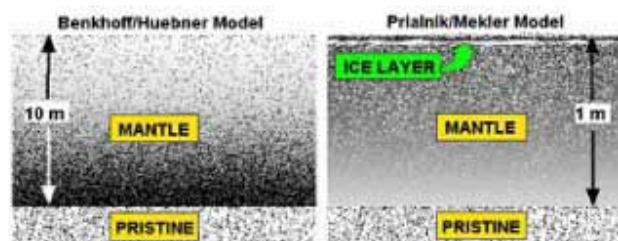
(Copyright@deepimpact.jpl.nasa.gov)

2. 測量隕石坑的深度與廣度

科學家早已於太空船發射前，在地球實驗室中以各種不同黏滯性、從液體到固體的物質，以同樣方法進行撞擊模擬，蒐集各種撞擊坑深度、寬度和噴出物角度和散佈範圍等資料，以之發展出一套彗星撞擊坑的模型；再從實際撞擊坑的結果，與模擬的模型比對，便可以推知彗星最可能是由哪一種黏滯係數的物質組成。雖然隕石坑的形成有許多不確定性，唯一能確定的只有：撞擊器以每秒10.2公里這樣的速度撞擊時，所形成的隕石坑一定是圓形的，但因彗星表面重力很低，所以不像月球或其他行星的隕石坑會有「中央山」。

3. 測量坑內物質與噴出物的組成

看彗星表面以下的組成成分究竟為何，探索彗星上的冰究竟是被封在表面以下，還是每次回歸都會消失一部份。撞擊時的震波與動能轉化成的熱量，都會造成物質被濺出或蒸發為氣體，稱之為噴出物 (ejecta)；這些物質逐漸沉落回彗星表面後，便形成所謂的「覆蓋物 (blanket)」。從噴出物的範圍和覆蓋物隨時間變化的速度，科學家也可以估算出彗核的密度，又已知彗核體積，便可得出彗星正確質量。



不同的彗星結構理論，對於地函厚度及密度梯度(顏色愈深者愈密)的看法差異甚大。

(Copyright@deepimpact.jpl.nasa.gov)

4. 測量撞擊造成噴出物的改變

彗星接近太陽時，本就會有物質噴出；科學家想知道撞擊前後，彗星的噴出物會有何改變，或許可瞭解撞擊對彗星整體的影響。

挑選可見光與紅外波段進行觀測，主因為彗星主要成分是水 and 灰塵，這些成分主要的譜線都集中在紅外波段；而撞擊當時，全世界大型天文台也一定會一起監測，取得其光度和光譜隨時間的變化，所以如果有任何紅外波段以外的「驚喜」，地面望遠鏡應該也可捕捉到。

為何選用銅塊撞擊彗星？

爲了不影響觀測結果，科學家必須選擇彗星上原本沒有的成分來製造撞擊器。由平均密度低且體積不大這點來看，彗星不太可能具有重金屬核。不過，要確定彗星密度究竟多大，必須知道正確的質量和體積，這些還是需要東西環繞它之後才能確定，所以像ROSETTA這類太空任務是非常重要的。

再者天體直徑如果沒有超過100公里以上的話，天體的形狀通常不會是球形的。反之，直徑100公里以上的天體，如地球，因體積夠大、冷卻凝結時間很長，形成過程中有足夠時間維持在液態而得以發生分化（differentiation）作用，較重的元素沈到內部形成鐵鎳金屬核心，較輕的物質則浮在表面形成岩質地表；若這類小行星受到撞擊分裂後，核心殘片落到地球上就是鐵隕石的來源。而像彗星這麼小的天體，因冷卻速度太快，不太可能發生分化作用，因此科學家認爲彗星基本上是個物質均勻混合的天體。科學家從彗星表面光譜中看不到重金屬元素的譜線，如果彗星真的是均勻混合的物質所組成，那麼彗星的內部應該也不會有重金屬元素。

基於以上幾點，科學家才會決定利用銅塊來進行撞擊，以避免混淆與干擾。

撞擊的高熱與力量是否會導致彗星軌道偏離？

因銅塊與彗星的體積、質量相差太大，如同高速公路上疾駛而過的卡車，被一顆小石頭打到一樣，只會在擋風玻璃上產生小裂隙，卡車的行駛速度與方向並不受影響。所以，銅塊撞擊後，只會在彗星表面產生隕石坑，尚不至於讓彗星偏離軌道，也不必憂心彗星會向地球衝過來。而撞擊的高熱，因彗星小而冷卻速度快，故只會影響撞擊點附近的物質，使其融化或蒸發，撞擊器本身則可能因撞擊的能量而全數蒸發，但都不至於讓彗星整體融化。

深擊任務的難度有多高？

彗核的直徑約6公里，預定的撞擊區域直徑只有400公尺，撞擊殘片散佈範圍則小於200公尺，而且彗核還會自轉，因此撞擊難度非常高。

這個撞擊點是特別挑選的，較平坦而寬闊且地形較單純，也方便太空船進行觀測，以避免撞擊過程太複雜，或噴出物質被卡在山谷裡看不到等。

因彗星會轉動，故撞擊器丟出後，僅有14分鐘的時間能觀察撞擊結果；14分鐘後，太空船就會經過彗星的碎片區，太空船本身的太陽板如同防護盾，希望能防止碎片撞擊，但有可能14分鐘後太空船就會被擊毀，即使太空船逃過一劫，但撞擊區會因彗星自轉而可能移出太空船觀測視野。因此參與深擊任務的夏威夷大學Karen Meech教授已經邀請各地面光學望遠鏡，加入觀察譚普一號的聯合觀測，以便從彗星光度變化來確定自轉速度和方向，再由此決定太空船的發射時間和角度，使得撞擊器撞擊彗星之後，太空船能跟隨彗星自轉方向和速度同步移動，使觀察時間延長。

這個過程聽來容易，其實執行上困難重重。銅塊雖重達372公斤，但體積其實不大，只是個直徑1公尺、高0.8公尺的圓柱體；這麼小的東西卻要求它要擊中86萬4000公里外一塊直徑6公里的範圍，所以一不小心就會失敗。NASA為免銅塊錯失撞擊目標，要求任務小組在銅塊後方裝設一個以聯胺（hydrazine， N_2H_4 ）為燃料的小型火箭，讓撞擊器在抵達撞擊點之前，能做微小的調整，提高命中率。不過，卻讓科學家憂心聯胺會污染觀測結果。

為何挑選譚普一號作為撞擊的目標？

目前各彗星任務挑選的目標，大都離地球不遠，軌道固定，容易掌握。譚普一號彗星遠日點在木星軌道附近，近日點在火星軌道附近，公轉週期5.5年。撞擊發生時，譚普一號恰在近日點附近、靠近地球，是它這個回歸週期中最近、最亮的時候，故除太空船外，地面望遠鏡也能觀測到撞擊結果，而且地球可連續而完整地與太空船進行聯繫，將觀測結果即時傳回地球。此外，彗星自轉速度極慢，自轉一週僅1.7天，太空船可觀察撞擊坑的時間較長。

譚普一號是顆非常不活躍的彗星，表面幾乎沒什麼爆發現象（氣體和灰塵突然大量噴出，彗星亮度驟增），即使接近太陽時，也只噴出少量物質，顯示彗星表面被封死了。例如哈雷彗星至少環繞太陽35次，但每次回歸後，彗星質量消耗非常少，所以彗星本身改變非常少。科學家相信彗星表面被包覆著一層硬殼層，但不確定有多厚。正因表面被封死，所以彗星內部反而被保存良好。就像冰淇淋蛋糕外包覆著一層巧克力一樣，裡頭的冰淇淋再怎麼變化，也無法流出巧克力外。因此，即使靠近近日點，彗髮也不多，使撞擊器進入彗核的過程比較安全，太空船觀察撞擊坑也比較清楚。

如果把這層殼層撞破，內部物質直接受到太陽熱量蒸發大量噴出，景觀一定非常壯觀！科學家預估撞擊後，彗星亮度會由9等瞬間增為6等，甚至可能遠超過估計而達到0等。1995年彗星撞木星，原本悲觀地預估1公里大的小碎片不會有太壯觀的結果，但後來卻讓全世界的人都大為驚奇，因為這樣的小碎片，動能還是很大的。

而就算彗星撞完後沒有噴出物、什麼驚喜都沒有，那也是一個重要的科學結果，只是比較無趣罷了。

除了太空船外，地面天文學家可以如何參與研究與觀測？

撞擊時間應是在台灣的下午時間，由於預估撞擊後的亮度很亮、時間持續很久，因此一般口徑約30公分以上的小型望遠鏡就可以觀測。但科學家預估：撞擊之後的效果或許可以持續幾個星期，就像彗星撞木星之後，撞擊的黑斑存在了很久一樣。所以台灣地區只要有夠大的望遠鏡可以看到它，就可以繼續監測它的亮度變化，看看撞擊時大量能量釋放後的環境擾動多久可平息，亮度多久可以回復到原來的程度，可以估計彗星的冷卻速度有多快；如果彗星真的是個鬆散的結構，就會冷卻的很快。此外還可以看看有沒有額外的反應出現，或有沒有額外的元素出現等等。

大型望遠鏡的觀測時間很難申請，如果要長時間監測彗星的變化較難。科學家從2000年2月創辦「小型望遠鏡科學計畫 (Small Telescope Science Program, **STSP**)」，期望藉由個人擁有的小型望遠鏡，提供連續觀測資料以供研究。對於觀測技巧已相當純熟且有完整設備的天文台或天文學家，建議加入STSP的行列，至2005年底之前，每5~7天觀測一次，持續進行V、R、I等濾鏡下的彗星光度和光譜觀測，以便瞭解諸如CN、C₂、OH等分子產生過程。至於對此任務或彗星觀測有興趣的業餘天文愛好者，則建議以CCD追蹤拍攝彗星影像，由於撞擊會在彗星表面製造一個活躍區，彗星隨時有可能產生新的噴流或爆發活動，因此科學家仍可從這些彗星影像中透過分析彗髮亮度變化、彗髮和彗尾的特徵、噴流活動或爆發等現象與變化等來研究彗星的本質。STSP已經幫助科學家從事深太空一號 (Deep Space 1) 2001年9月飛掠19P/Borrelly彗星的準備工作、搜尋2002年8月發射之後就失聯的CONTOUR太空船的蹤跡、2003年12月之後為星塵號 (Stardust) 太空船觀測81P/Wild而準備，2004全球聯測兩大彗星C/2002 T7(LINEAR)和C/2001 Q4(NEAT)的彗尾變化以研究太陽風等。

What's next??

現在太空船仍保持良好狀況，現在仍在太陽系內側，並已準備好進行下一個觀測。目前NASA計畫是要在2008年觀測另一個彗星:85P/Boethin，不過尚未確定。

Solar system exploration target bodies in recent years

Target Body	Encounter	Mission	Launch Date
Asteroid 253 Mathilde (body data , geocentric ephemeris)	1997-Jun-27 <i>flyby</i>	NEAR	1996-Feb-17
Asteroid 9969 Braille (body data , geocentric ephemeris)	1999-Jul-28 <i>flyby</i>	DS1	1998-Oct-25
Asteroid 433 Eros (body data , geocentric ephemeris)	2000-Feb-14 <i>rendezvous</i>	NEAR	1996-Feb-17
Comet 19P/Borrelly (body data , geocentric ephemeris)	2001-Sep-22 <i>flyby</i>	DS1	1998-Oct-25
Asteroid 5535 Annefrank (body data , geocentric ephemeris)	2002-Nov-02 <i>flyby</i>	Stardust	1999-Feb-06

Comet 81P/Wild 2 (body data , geocentric ephemeris)	2004-Jan-02	<i>flyby</i>	Stardust	1999-Feb-06
	2006-Jun-15	<i>Earth-return</i>		
Comet 9P/Tempel 1 (body data , geocentric ephemeris)	2005-Jul-04	<i>impact/flyby</i>	Deep Impact	2005-Jan-12
Asteroid 25143 (1998 SF36) (body data , geocentric ephemeris)	2005-Sep	<i>arrival</i>	Hayabusa (MUSES-C)	2003-May-09
	2005-Dec	<i>departure</i>		
	2007-Jun-10	<i>Earth-return</i>		
Asteroid 2867 Steins (body data , geocentric ephemeris)	2008-Sep-05	<i>flyby</i>	Rosetta	2004-Mar-02
Asteroid 21 Lutetia (body data , geocentric ephemeris)	2010-Jul-10	<i>flyby</i>	Rosetta	2004-Mar-02
Asteroid 4 Vesta (body data , geocentric ephemeris)	2010-Jul-30	<i>arrival</i>	Dawn	2006-Jun-17
	2011-Jul-03	<i>departure</i>		
Asteroid 1 Ceres (body data , geocentric ephemeris)	2014-Aug-20	<i>arrival</i>	Dawn	2006-Jun-17
	2015-Jul-26	<i>departure</i>		
Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko (body data , geocentric ephemeris)	2014-Nov	<i>rendezvous/landing</i>	Rosetta	2004-Mar-02

資料來源:

1. 台北星空第29期
2. S&T October 2005
3. <http://deepimpact.jpl.nasa.gov>

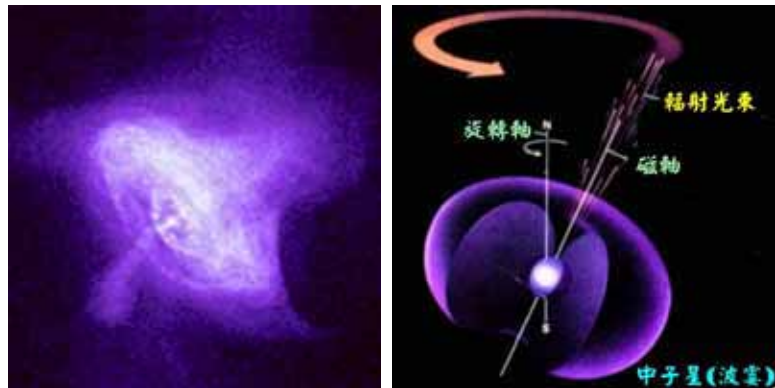
波霎

定義：

西元 1967 年丹麥（英國？）電波天文學家約塞琳·貝爾 (Jocelyn Bell)利用無線電望遠鏡偵測到一系列的脈衝波 (pulse)，它是一個無線電波源所發出的脈衝波，中名直譯為波霎或脈衝星。天文學家現在已確認它是具有強磁場且快速自轉的中子星，因為中子星急速旋轉，而磁軸與旋轉軸有一傾角，每當光束掃過地球，我們便收到一個信號，信號依中子星自轉週期為間隔而重複出現，這種中子星因發出有規律一閃一閃的脈衝波，故稱之為波霎（發出脈衝波的星體）。

理論：

要談波霎前就要先談到
中子星 (Neutron Star)。(附錄 2) 一顆半徑不到 15 公里，但每立方公分就擁有數十億噸質量的超高密度（密度階次約為 10^{12} 克/每立方公

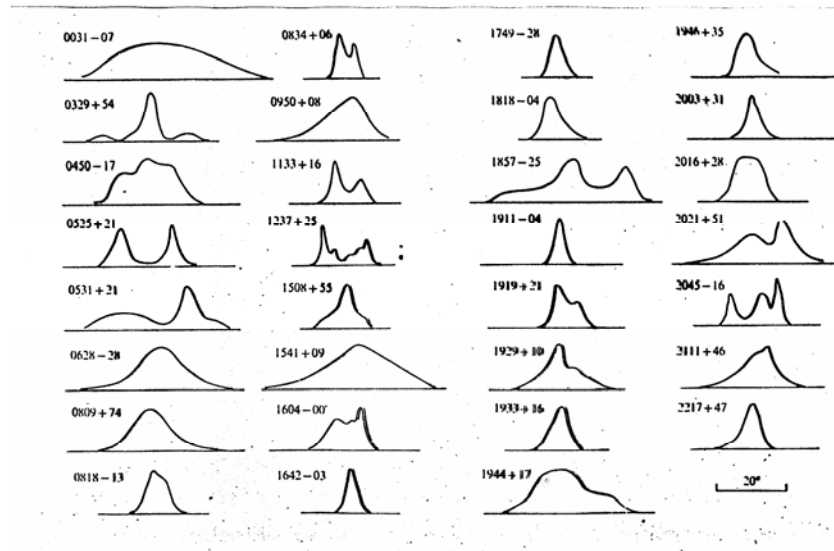


分)、幾乎都是中子所組成的星體。它是恆星演化到核融合反應結束、邁向死亡而塌陷後僅靠中子間的斥力維持它不致繼續塌陷的星體。因為中子星通常都俱有強烈的磁場 ($10^{12} - 13$ 高斯) 和高速的自轉，以致於在它的磁場兩極有電磁波輻射和物質噴流的現象；若這些電磁波能規律地仿如燈塔的探照被我們觀測到，所以在 1967 年由於這個特徵發現了它們的存在，因此它們也有著「波霎」的稱呼。因為中子星通常都俱有強烈的磁場和高速的自轉，以致於在它的磁場兩極有電磁波輻射和物質噴流的現象。中子星的噴流和輻射會隨著物質與能量的耗失，而呈現出旋轉周期逐漸緩慢的現象。

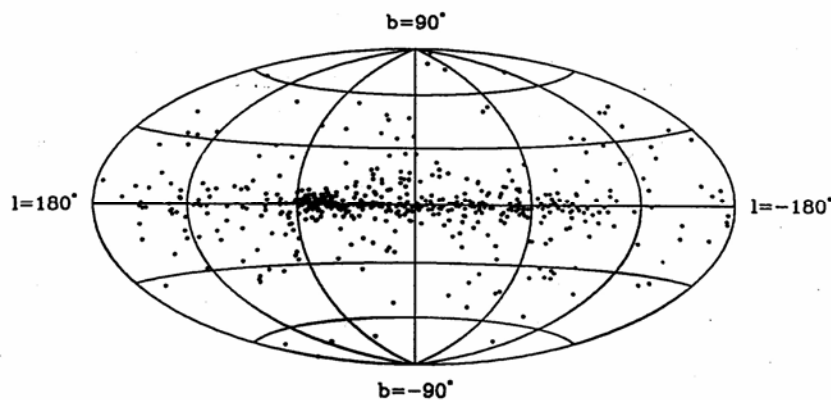
雙星系統互繞的兩顆子星，如果其中一顆演化的比較快而已經經歷超新星爆炸，核心重力塌縮形成非常緻密、幾乎都由中子所組成的中子星 (neutron star)，或波霎 (pulsar)；伴星的物質被它強大的重力吸引，逐漸環繞中子星旋轉形成吸積盤，最後落至中子星表面，在其表面形成所謂的「熱點 (hot-spots)」，此處便是中子星 X 射線和伽瑪射線的主要來源，且當中子星自轉時，便可看到中子星發生週期性的變亮，或謂之「脈動 (pulsations)」。因此，天文學家便可根據中子星變亮的週期來計算這顆中子星的自轉速度。

觀測：

電波類型：



波霎分布：



天文學家發現波霎而獲獎：

1964 年，Antony Hewish 和他的研究小組從 Ryle 的望遠鏡中得到一項不確定的發現：無線電頻率的脈衝非常清楚，樣子就像轉動很快的燈塔射出無線電波一樣，並且一直重複地被「波霎」射出，由於它們也是很強的磁鐵，很快地，這些天體就被確認為「中子星」。Ryle 和 Hewish 共同獲得 1974 年的諾貝爾獎。1974 年以後，波霎的研究對無線電天文學家來講，已經是例行公事。但同年夏天就傳來令人驚奇的消息，Russell A. Hulse 和 Joseph H. Taylor, Jr. 注意到一個新發現的波霎叫做 PSR1913+16，它的頻率有週期性變化，是第一個被偵測到的雙波霎。因為放射無線電波的中子星是兩個很靠近、大小又相當的雙星系統之一；這個雙星系統已經被觀測超過 20 年，也是第一個重力輻射的具體證據，因為它的自轉頻率逐漸減少，並且與愛因斯坦的理論吻合。自轉頻率由於重力波輻射的原因造成損失，並互相以螺旋線的軌道靠近。Hulse 和 Taylor 共同獲得 1993 年的諾貝爾物理獎。

天文學家發現電磁波強度較強的波霎：

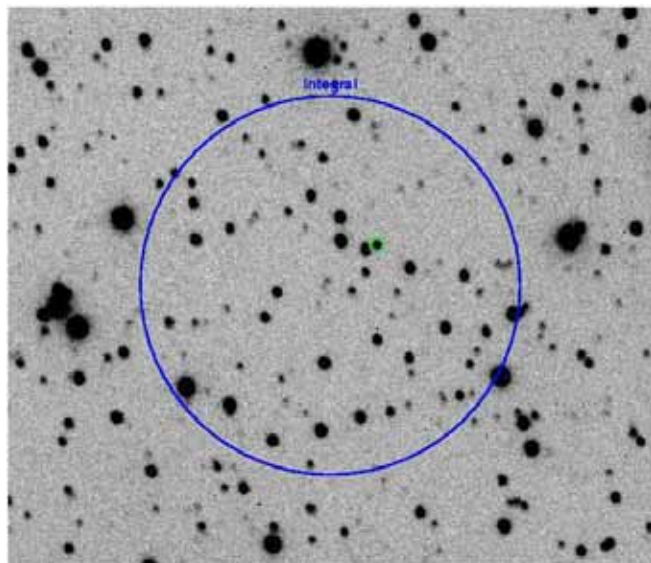
位在杜鵑座（Tucana，Tuc）中的 47 Tuc W 星是顆相當特別的天體，因為它位在一個離地球約 16000 光年的雙星系統中，另一顆子星為一般正常的恆星，而 47 Tuc W 星則為自轉一週僅需 2.35 毫秒的毫秒波霎。所謂毫秒波霎（millisecond pulsar）是指其自轉一週僅需數毫秒的中子星。（1 毫秒 = 1/1000 秒）47 Tuc W 星之所以會被天文學家注意到，是因為它所輻射出的高能 X 射線比其他毫秒波霎還多，顯示它的 X 射線起源與其他毫秒波霎不同，天文學家認為這代表另外一顆正常子星流向波霎的物質，與從波霎發出、以近於光速運動的粒子，彼此相互衝撞之後而產生所謂的「衝擊波（shock wave）」，才會發射出這麼多的高能 X 射線。經由錢卓的 X 射線波段觀測，以及歐南天文台（ESO）1.54 米 Danish 望遠鏡的可見光波段觀測結果，天文學家發現這個恆星的 X 射線和可見光都有 3.2 小時的軌道週期變化，符合上述假設，且其 X 射線特徵與軌道週期都與 X 射線雙星源 J1808 非常類似。因此，CfA 的天文學家認為：這證實了 X 射線雙星（X-ray binary）的確就是毫秒波霎的前身。

天文學家第一個發現的雙波霎：

英國、澳洲、義大利與美國天文學家所組成的研究團隊宣布，他們發現了第一個雙波霎系統。這組雙波霎由自轉週期僅 23 毫秒的 PSR J0737-3039A 與 2.8 秒的 PSR J0737-3039 組成，兩者以 2.4 小時互繞。估計這兩個波霎將在 8500 萬年內合併，並爆發出重力波。這個由兩顆中子星所組成的系統最初是利用澳洲 64-m Parkes 電波望遠鏡發現，然後在英國 76-m Lovell 電波望遠鏡在後續觀測中確認具有 2.8 秒週期的伴波霎。天文學家將繼續檢測其是否具有因重力輻射而逐漸合併的現象。此外，由於該雙波霎系統的軌道剛好側向地球，所以可能發生互相「掩蔽」，讓天文學家史無前例地有機會觀測到波霎的外層大氣。天文學家將可從這組波霎來更精確地檢測廣義相對論，並探測波霎的磁層。

天文學家發現自轉最快的波霎：

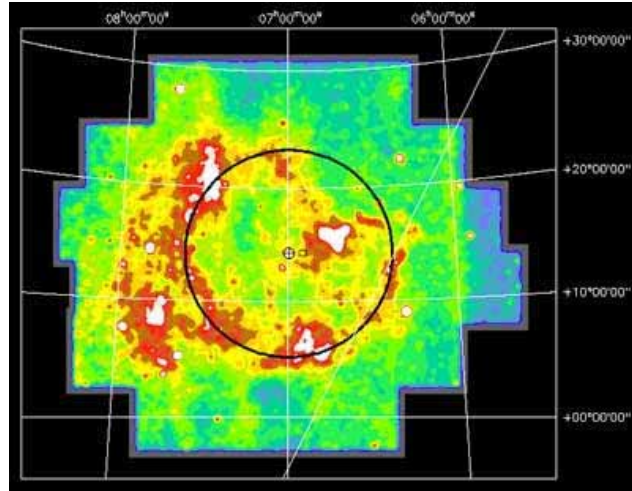
英國南安普敦大學（University of Southampton）的天文學家發現一個有史以來自轉速度最快的 X 射線波霎（X-ray pulsar），這顆波霎自轉一圈僅 1/600 秒！編號 IGR J00291+5934，於 2004 年 12 月才由歐洲航太總署（ESA）INTEGRAL 太空望遠鏡在 X 射線波段觀測到。經過詳細觀測與分析之後，發現其為雙星系統的成員之一，正在掠奪伴星的物質。



Simon Shaw 等人從它的 X 光逐漸減暗的過程中，驚訝地發現：這顆波霎每秒可轉約 600 圈，相當於自轉速度高達每秒 3 萬公里，幾達光速的 1/10，IGR J00291+5934 是目前已知雙星系統成員之一、有吸積盤的 X 射線波霎中，自轉速度最快的。不僅自轉速度驚人，Shaw 等人還發現這對雙星的互繞週期約為 2.5 小時，距離僅 38 萬公里左右（地球到月球的平均距離）。換句話說：在 IGR J00291+5934 的表面，一天的長度只有 0.0016 秒，而一年的長度只有 147 分鐘！

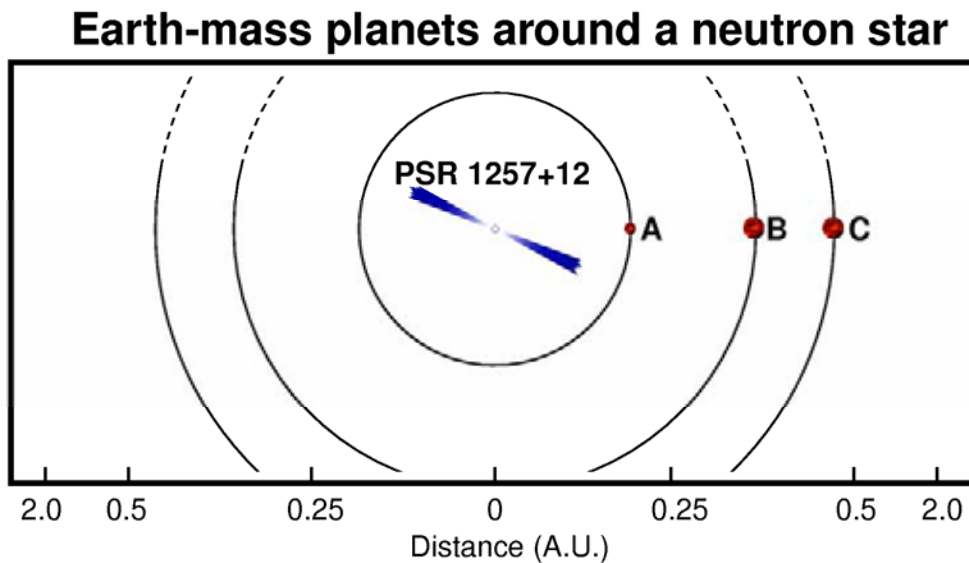
波霎與超新星殘骸的關係（見附錄 1）：

位於雙子座的波霎編號 PSR B0656+14，位置非常接近雙子、麒麟座間一個圓型的超新星殘骸中央，因此很自然地便被推測為該超新星爆炸所遺留下來的高速旋轉中子星。但天文學家過去從間接的方法測得波霎的距離為 2,500 光年，超新星殘骸卻僅 1,000 光年左右，兩者間似乎並無相關，只是在投影方向上位置相近而已。NRAO 天文學家 Walter



Brisken 所領導的小組從 2000 至 2002 年以 VLBA 對 PSR B0656+14 的觀測資料中得到此波霎的視差，並進而算出其精確距離為 950 光年，與超新星殘骸一致，也證實了兩者的確可能視源自於同一場超新星爆炸的產物。天文學家又以另一套觀測資料算出此中子星的直徑約在 25~40 公里之間，而下一步則是用波霎的距離來解釋宇宙射線的來源。宇宙射線是被加速至接近光速的次原子粒子或原子核所構成，超新星殘骸中的震波正是可能的加速機制之一。

波霎旁的系統－發現目前最小系外行星：



編號為 PSR B1257+12 的波霎 (pulsar) 的第四顆行星，質量約為冥王星的 1/5，是到目前為止，最小的系外行星。波霎 PSR B1257+12 位在室女座方向，離地球約 1500 光年。其第一顆行星是 Wolszczan 於 1991 年發現的 (於 1994 年確認)，且是所有發現的系外行星中的第一顆，其餘兩顆也在 1992 年宣告發現。這三顆中，有兩顆 (B 與 C) 與地球差不多大 (4.3、3.9 倍地球質量)，另一顆 A 則與月球差不多大 (0.02 倍地球質量)。這三顆系外行星，其軌道恰與我們太陽系中水星、金星、地球的軌道比例相同，不過離母星較近 (0.19AU、0.36AU、0.46AU)，所以公轉週期分別只有 25、66、98 天；第四顆系外行星則位在近似太陽系火星與木星之間的小行星帶中。Wolszczan 等人認為：這顆行星或許已標誌出波霎的行星系統邊緣，就像冥王星的地位一樣，可能是外圍行星系統殘骸中最大的一份子；而整個波霎的行星系統大小只有太陽系的一半，故像是縮小版的太陽系一樣。

這顆波霎旁的行星系統與我們太陽系的相似程度，竟比一般類太陽恆星還高，天文學家均對此感到驚訝。波霎行星存在的事實，讓天文學家確定類似地球質量的系外行星的形成，必定像熱木星一樣普遍且容易。不過，類地行星形成的條件比較特別，因此數量會比較少；例如，現今觀測證據顯示，我們太陽系的形成是受一顆超新星爆炸的震波影響所致。當波霎旁有行星存在時，會引其波霎電波抵達地球時間 (脈衝計時，pulsar timing) 在規律中帶有微小變化，這顆破紀錄的超小系外行星就是利用全世界最大的單一望遠鏡—305 米阿雷西波電波望遠鏡觀測而發現的，這種方式甚至可偵測到比較大的小行星。

應用：

波霎是個非常有趣的天體，它的質量約與太陽相當，但直徑卻只有 10~20 公里左右。它會發出強烈的電波輻射束，這束電波輻射的方向會隨波霎自轉來回掃向不同方向的宇宙，就像燈塔一般，忽明忽暗，因此會接收到週期非常固定的電波輻射訊號，且每一顆波霎都有它自己獨特的電波輻射週期，天文學家認為可以以之做為長程太空航行時的定位參考座標。

參考資料：

http://www.universetoday.com/am/publish/fastest_spinning_pulsar.html?1822005,

<http://chandra.harvard.edu/photo/2005/47tuc/>, 2005.07.19

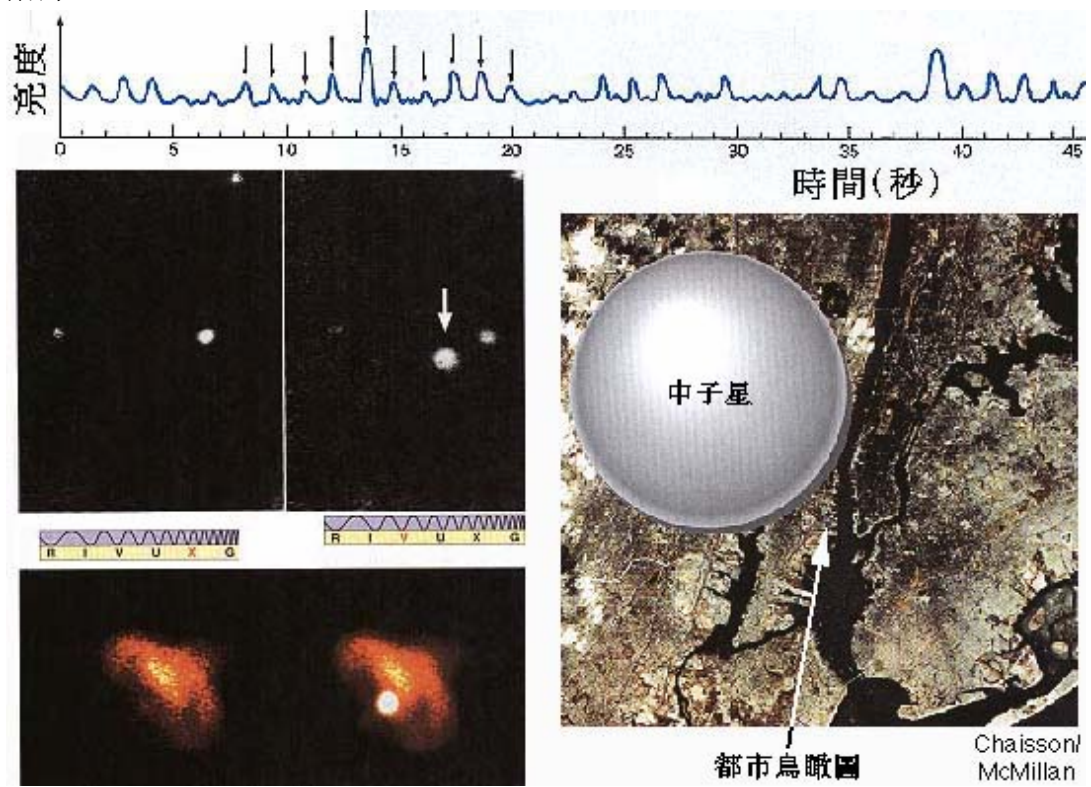
First-Known Double Pulsar Opens Up New Astrophysics

中央研究院天文及天文物理研究所

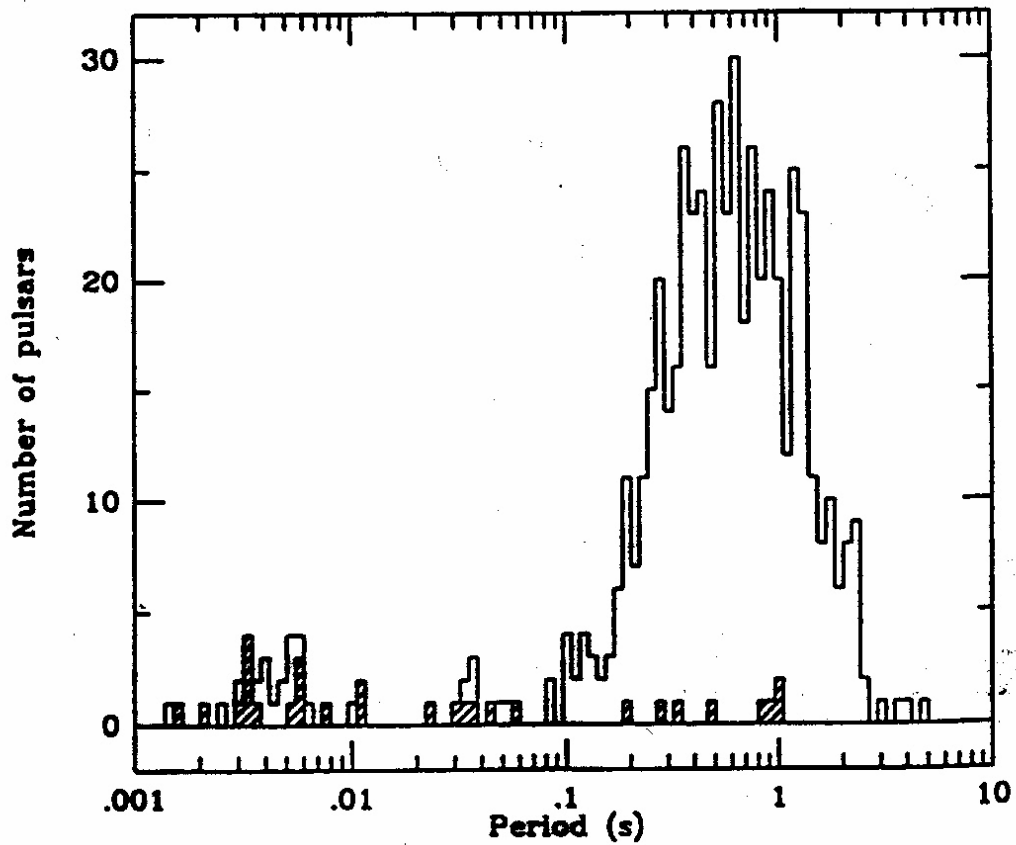
附錄 1：



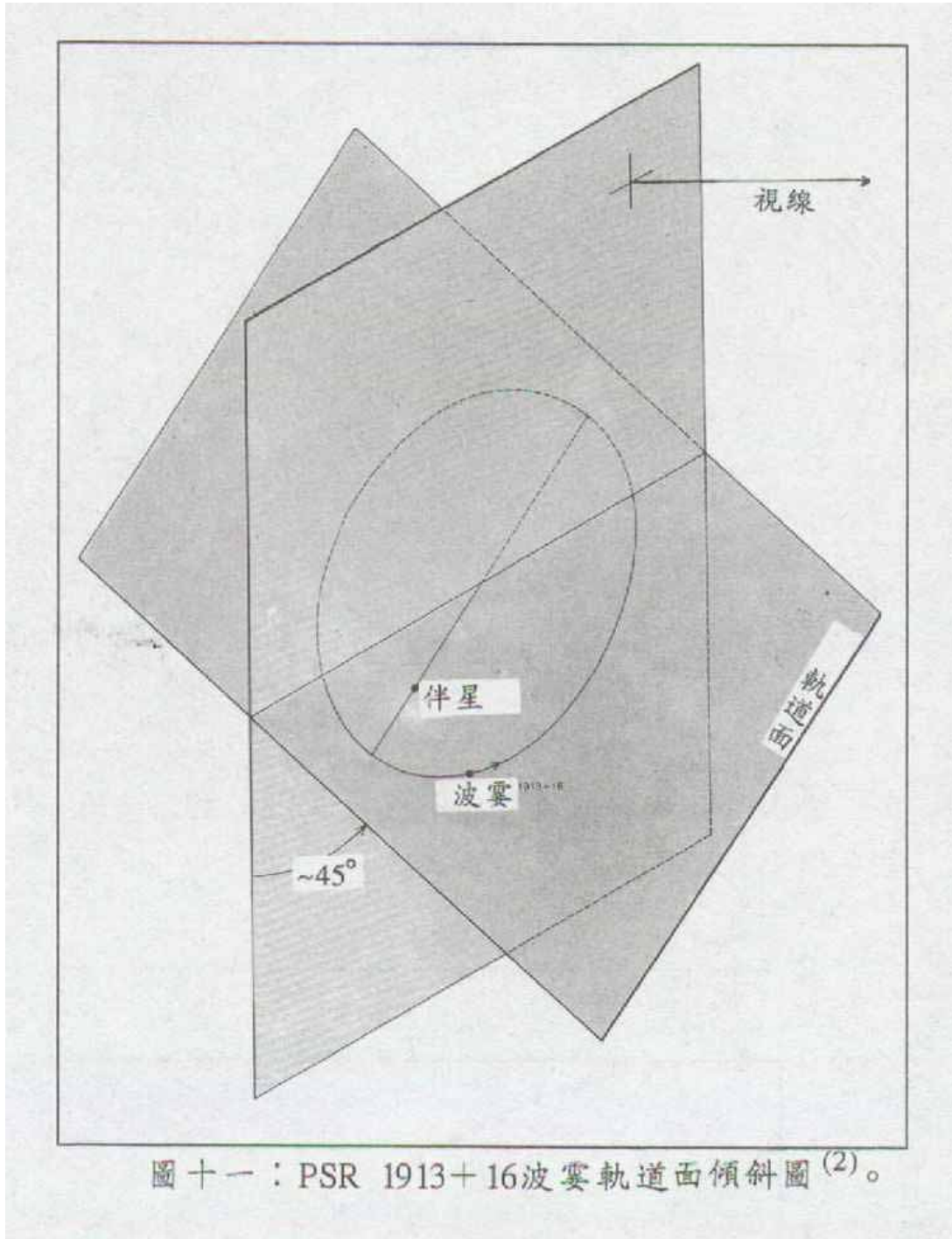
附錄 2



附錄 3



附錄 4



天文攝影



固定攝影

- 把相機固定著進行曝光的一種攝影法
- B 快門的相機即可進行
- 相機裝上底片→把相機鎖上三腳架→取景構圖→曝光→曝光完成
- 注意星跡的方向,預設背景

- 曝光時間愈久,星跡就愈長
- 但,“相同的曝光時間”:長焦距的星跡較長;短焦距的星跡則較短
- 光圈值跟星跡粗細有關,光圈愈小(光圈的數字愈大),星跡就愈細
- 但如果光圈太小,很多暗星拍不出來



直焦攝影

- 好的赤道儀(省力氣去導星)
- 直焦攝影只能拍到天空上一個很小的範圍,主要對像是星雲、星團和星系
- 做好赤經、赤緯軸的平衡
- 校正極軸

- 導星(相當重要)
- CCD
缺點:貴,而且感光面積也比不上傳統的底片那麼大
優點:感度高,不用沖洗立即可看、可重複使用、可任意修改拍攝到的畫面

放大攝影

- 曝光時間比直焦攝影短
- 不用導星
- 需放大攝影用的接筒
- 拍攝行星及太陽、月球表面上的局部

- 先放入低倍目鏡，找到要拍的天體後，再換上高倍目鏡
- 缺陷1:天氣影響相當大
空氣的擾動會使得星點搖晃...(1)
焦距長的看的範圍窄...(2)
由(1)和(2)=>
只要有一點點的空氣擾動，在望遠鏡內就會很明顯

- 缺陷2:赤道儀的追蹤精度的問題
焦距大=>如果赤道儀的極軸對的不准
或赤道儀追蹤精度不夠，
會影響到拍攝天體的清晰度
(也就是解像力)
- 缺陷3:對焦困難
高倍 =>視野變暗
Solution: 經驗

總整理

- 固定攝影:
器材:相機、快門線、三角架
適用範圍:星座、星跡、流星、太陽、
月球、日食、月食、
明亮的彗星、
肉眼可見的各種天象

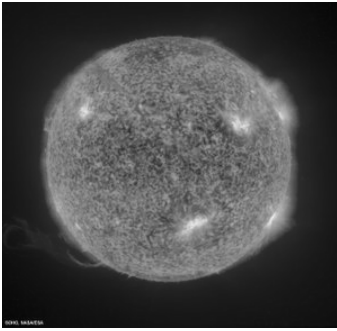
總整理拍免

- 直焦攝影
器材:相機、快門線、赤道儀、望遠鏡
適用範圍: 太陽、月球、日食、月食、
行星、雙星彗星、星團、星系

總整理part 3

- 放大攝影
器材:相機、快門線、望遠鏡
赤道儀、接環
適用範圍:太陽、月球、
日食、月食、
行星

太陽



copyright@wikipedia.org

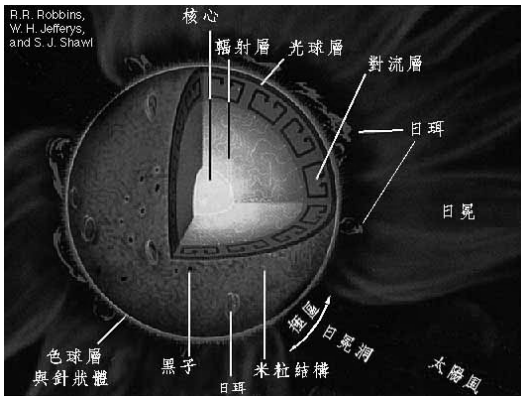
太陽的結構

內部結構：

- 核心(core)
- 輻射層(radiation zone)
- 對流層(convection zone)

大氣結構：

- 光球層(photosphere)
- 色球層(chromosphere)
- 日冕(Corona)
- 太陽風(solar wind)



copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

核心的核反應

質子-質子鏈(proton-proton chain)
碳氮氧循環(CNO cycle)

4個氫→1個氦+能量+ 2個微中子

輻射層能量以輻射的形式傳出

從核心向外到半徑75%的區域稱為輻射層

輻射區內也光所攜帶的能量大約需經過一百萬年才能抵達太陽表面

對流層靠近表面處以對流形式將能量傳出

因物質透明度下降，且上下溫差很大，形成了以湍流為主的強烈對流層

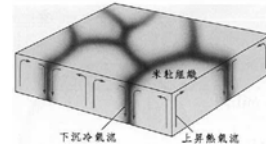
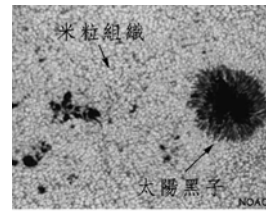
光球層

米粒組織

太陽黑子

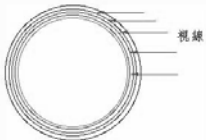
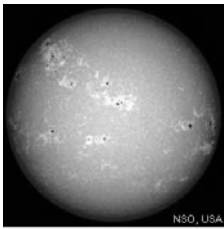
臨邊昏暗現象

米粒組織與太陽黑子



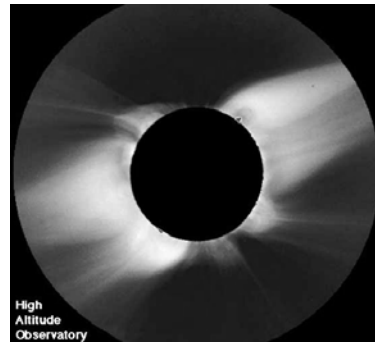
copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

臨邊昏暗



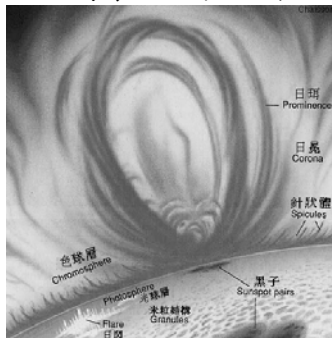
copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

日冕



copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

太陽表面的活動



copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

太陽黑子的一些特性

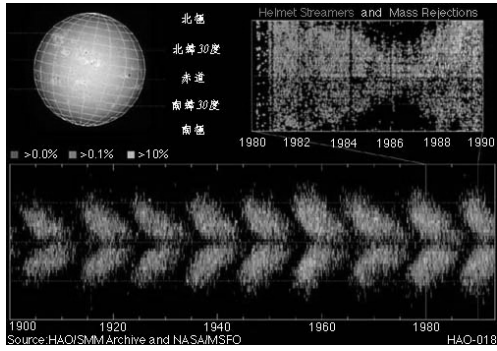
黑子在日面上的運動

黑子週期為11年

太陽週期為22年

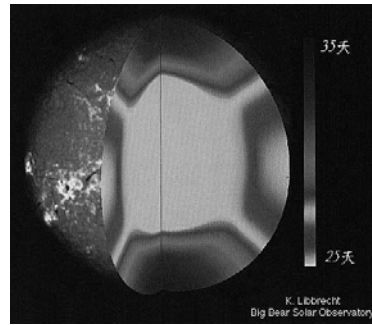
Maunder蝴蝶圖

Maunder蝴蝶圖



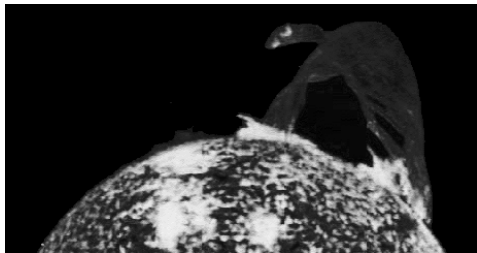
copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

Babcock理論



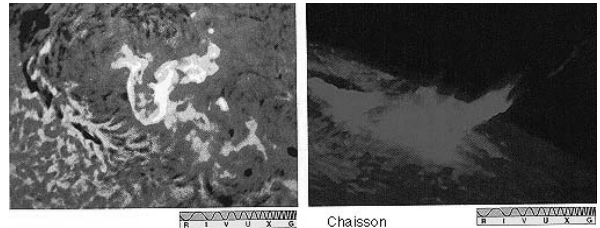
copyrigh@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

日珥



copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/

日閃



copyright@www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/