

主持人：黃榮俊

我們今天很高興能夠請到中央研究院李太楓院士來到我們當中，我個人稍微介紹我是誰，大部份的人都不認識我 我姓黃，叫黃榮俊，我是高雄大學新設的，靠楠梓、右昌那邊，高雄大學我是應用物理系的教授，我現在也是兼那邊的理學院院長，我是從成功大學接交過去的，進入我們的主題，我們來介紹李太楓院士，他是曾任中央研究院的地球科學研究所的所長，現在是中央研究院地球科學研究員，他也曾經籌劃在中央研究院在天文跟天文物理研究所籌備處的時候當過主任，也是曾任美國加州大學博克來校區天文系的客座教授跟加州理工學院地質跟行星科學系的客座教授，李院士拿過很多榮譽獎項，包括 2000 年的中央研究院院士，拿過 Outstanding Scholarship Award 1998-2003, Foundation for the Advancement of Outstanding Scholarship 就是傑出學者獎，拿過中山學術獎，教育部的一個獎項，拿過國科會傑出獎、中華民國工程師學會傑出工程教授獎…等等。我就不一一介紹了…我們把寶貴的時間一起鼓掌來歡迎我們的李太楓李院士。

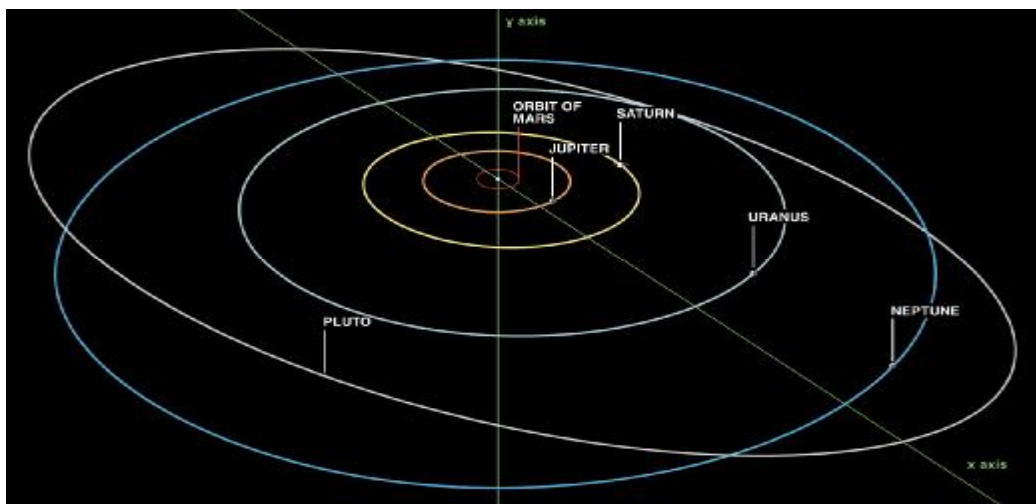
演講者：李太楓院士

很抱歉讓大家久等了，禮拜天早上很少來高雄，平常坐的飛機好像是八點半左右的飛機，事實上沒有很多的班機是禮拜天飛的，我想我就不擔誤各位的時間講這些，直接進入我們的今天的題目，我們要談的是說在太陽系的邊緣在那裡，有什麼新的現象在那邊，其實我們想想看說太陽系到底它的邊界在什麼地方，一般的人會想說也許是在距離我們最遠的行星，也就是說太陽系的行星大家知道最遠的是冥王星，冥王星和海王星事實上是有爭議，因為冥王星它有一部份的軌道在海王星之內，大部分的軌道在海王星之外，距離有多遠呢？差不多距離太陽的距離是我們地球的 30 幾倍，我們知道地球到太陽的距離叫做一個天文單位，基本上是 1 億 5 千萬公里，那海王星是 30 個天文單位，海王星在我們來說的話是最遠的行星，還有一個是冥王星，冥王星在我們太陽系來說，是很奇怪的，它是不屬於任何 4.50 我們太陽系是有規則的，內部有四顆行星，水星、金星、地球跟火星，這四個都有岩石的表面，金屬的合金，這四顆是所謂的內地行星，體積比較小，密度比較高，是由岩石跟金屬所構成的，有四個小的在內側，另外四個大的



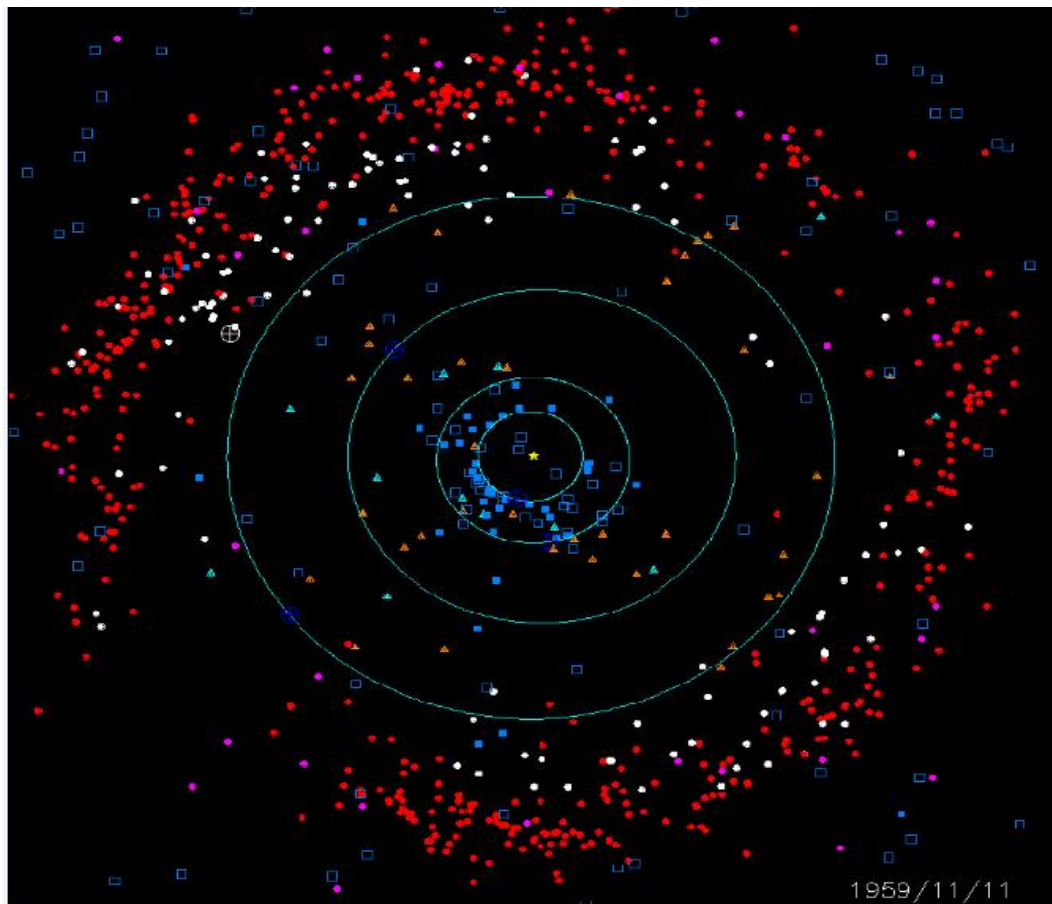
在外側，這些裡面以木星為最大，木星大概是地球的的一千倍那麼重，水星有好幾百倍，這四大裡面有兩個比較小兩個比較大土星跟木星比較大，天王星跟海王星大概 20 倍的地球質量，它們這四個都是很大的，比地球這些內地的大很多，它們層面也不一樣，它沒有固體的表面，可是氣體是由氫和氦所構成的，大部份的氣體，那這些行星是內木行星，以木星為標準，這四大四小是很合理的，高溫下會形成凝固的東西，會形成內地行星這個以外呢 恐怕是由水這種比較易於揮發性的物質在太陽系的外側比較容易形成，因為在內側的話，太陽的熱太強了，所以水沒辦法凝結下來，這個四大四小兩組，冥王星當初發現時是很奇怪的，現在我們的邊界也許是劃在這裡，冥王星平均來說它的軌道大概有 40 個天文單位，現在我們會發現說這個想法事實上是不太對的，第一步，我們可以走更遠一點的地方去看，因為我們並不知道更外面是否還有沒有東西；冥王星發現是 1930 年代，所以過了 7-80 年，在這個地方是非常熱鬧的，過去我們只知道一個冥王星，冥王星真的是冰山一角，有幾千個天體會發現它的大小跟冥王星差不多，冥王星它很小，

行星裡面它非常小，它比我們的月亮還小，可是這裡附近有很多像冥王星大小一樣的行星，這裡是很熱鬧的，熱鬧的程度跟什麼相比呢？跟我們內地行星跟內木行星之間的小行星在裡面，都是比較小的，成千上萬，越小的個數越多，那這裡有類似小行星在的東西只不過它是由彗星構成，我們現在了解這附近有很多彗星存在，這個地方由人類發射的太空船已經達到 100 個天文單位，它已經觀測到一個現象就是說我們的太陽會不斷的噴出太陽風，有一些帶著游離子的氣體向外跑，在太陽系裡面是充滿的太陽風的，彗星有兩個尾巴，一個尾巴是由太陽風造成的，彗星的物質被太陽風吹游離的，彗星的尾巴永遠是背著太陽的；另外一個想法是當你被太陽風吹多遠，距離太陽越遠就停下來了，因為它把原來這星際介質推開，太陽它自己噴出來的東西把旁邊的東西推開，它推開到什麼地步呢？推到最遠這點是可以說它是星際空間的開始，在這以內是由我們的太陽風來控制，這邊界大概是 100 個天文單位，現在已經看到說太陽風從這裡出發很快，到了 100 天文單位它已經很慢，最後應該會停掉，外面的物質就不屬於太陽風的範圍之內，可以把太陽風想像成太陽系的防護罩一樣，在星際空間內相當於 100 個天文單位半徑的區域，別的星際空間的物質進不來，被太陽風擋在外面事實上我們另外一個想法牽涉到更遠的地方，假設我們這太陽系有一個天體繞著太陽在走，我們可以問一個問題就是說在最遠的星體拿到越來越遠的話，最後它位置在某個鄰近的恆星之間，到某個距離之後，我們太陽的動力沒法維繫住，這就是另外一個邊界，我們



太陽能夠在它領導的這群天體都受太陽系的重力所控制，太陽系的重力控制範圍大概是在 5 萬到 10 萬個天文單位，在這以內所有的天體會隨著太陽在銀河系裡面運作，這個邊界叫做 Oort Cloud 是一位荷蘭的天文學家所發現的，這個邊界將近 10 萬個天文單位，差不多等於我們到跟我們最近的恆星 1/3 的距離，假如說我們鄰居的恆星它也有一個像這樣的行星系統結構的話，假如它也有一個彗星包在外面，我們要克服的地方是中間健行的有一半被彗星佔據，也就是說，將來那一天也我們人類要去別的行星探險，過去來說，從一個行星到另一個行星大約要 4 個光年的時間，以光速來走的話也要 4 年，以現在的火箭來說的話，還不到

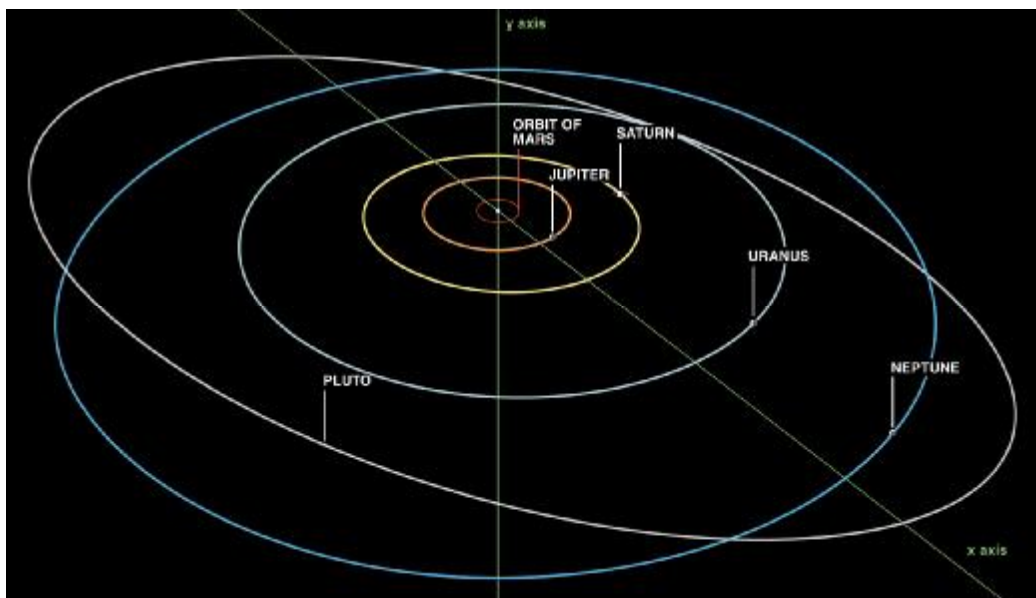
百分之一的光速，所以要幾百年才能夠到達，因為距離很大，不太容易到，因為我們的火箭做不了那麼大，攜帶的燃料太多，現在我們知道太陽系的邊界大概是10萬個天文單位的地方，這十萬天文單位的地方以內有許多彗星的存在，可以想像彗星就跟我們的綠洲一樣，想像中我們的行星系統跟鄰居的行星系統之間像沙漠一樣，你要去渡過的話，那各自的行星系統的邊界有1/4的路程有綠洲的存在，我們可以把它們當作跳板，因為在彗星的物質來說主要是由水、有機物質存在比較多，在彗星來說，我們太陽系的邊界，它是一個相當多彗星存在，在這以內我們的太陽可以控制它，帶著它跑，也使它門存在了幾十億年，在這以外的地方，與別的行星遭遇的時候會被別的行星拉走，為什麼我們知道十萬天文單位有個邊界？這十萬天文單位跟四十萬天文單位之間又存在著什麼關係？這是現在非常熱鬧的題目，有多熱鬧呢？我先開個動畫給大家看看也許比較清楚。現在我們把目前發現在太陽系的外側，海王星、天王星、土星、木星它的四個圓形軌道這裡面充滿了各種天體，將近1000個，大小都在幾百公里以上，最大的有像冥王



星一樣1000多公里，這是現在的狀況，在海王星以外，這些東西大部分跟冥王星相像，它的運動方式跟軌道都跟冥王星很接近，裡面有1/3跟冥王星是同樣歷史的，也就是它可以被稱作是行星，類似冥王星的行星，冥王星是這堆天體的頭頭，假如我們認為這堆都是彗星的話，我可以說冥王星是代表彗星裡面最大的，而不是行星裡面最小的，我想這個在天文學家都認為是正確的，冥王星是美國的

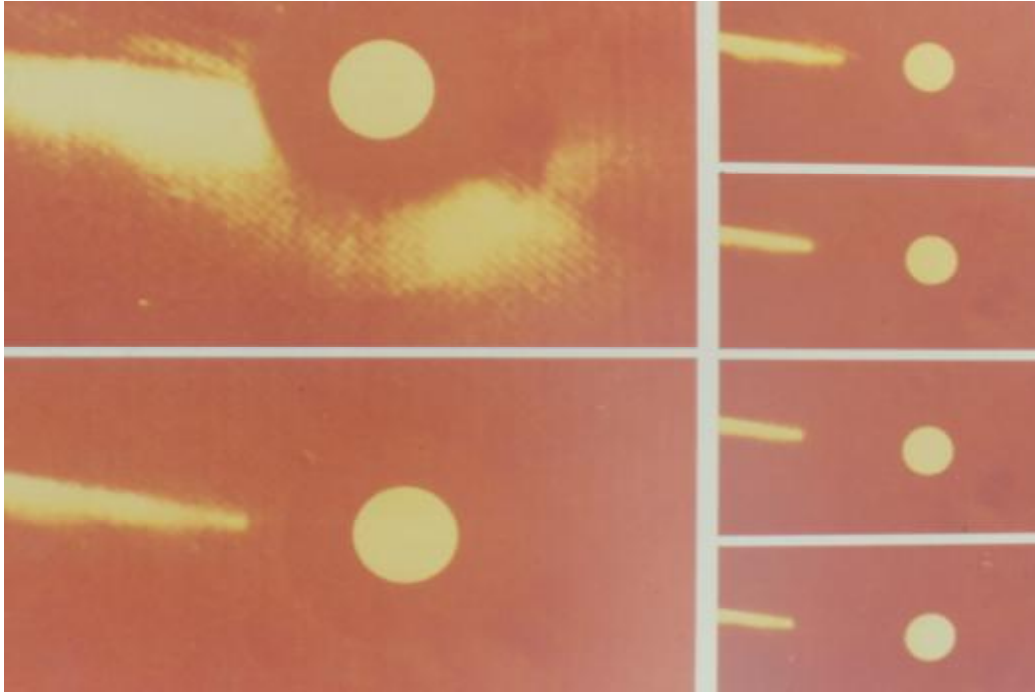
18.14 roll 所發現的，有些人覺得不該把已經認為是行星的地方改成為彗星，不過我想大勢所趨，將來這個區域會被稱為彗星，而冥王星是裡面最大的一顆；我們可以看到在海王星之內這些類似的天體少很多，這些天體我們稱作為琥珀帶的天體，是另外一位荷蘭天文學家所想像、推測出來的，他是認為說在海王星以外有一些剩下來的彗星，太靠近海王星以內的都會被海王星擾動，最後結果有些會向外跑有些會向內跑，我們現在看到這些藍色區域，這些原來在琥珀帶的彗星被外部大的行星所擾動，海王星可以把它像傳球一樣，把這些彗星傳給天王星，天王星把它傳給土星，土星再把它傳給木星，木星是這裡面質量最大，重力也最強，到木星以後，就像一個橄欖球隊或足球隊一樣，最後接到球的人就一腳把它踢的很遠的地方或丟到太陽系的內部去，木星之後有一部份彗星被木星抓走，這兩者之間基本上在過渡期間正在由琥珀帶把它變成木星組的彗星，這些琥珀帶的原始彗星可以說是在太陽系形成時候的在這裡形成的彗星，這些彗星有 99%不知道被踢到那裡去了，基本上只剩 1%的彗星還存留在這裡，有一大部份受到冥王星的保護，不被海王星趕到內部去，不被木星踢出來，這裡面可以看到說在大的行星區域裡沒有彗星存在，它有的是一些過渡的，從外面的彗星故鄉到內部裡面被木星抓住的，這裡的東西基本上會在未來幾百萬年以內會消失掉。在這之外呢？我們看到很多剩餘下來的彗星，在更外面的我們事實上看不到，因為彗星放到那麼遠的時候它不會長尾巴出來，因為太冷了，至於彗星的表面溫度大概不到絕對溫 50 度(零下兩百多度)，非常冷，它不會蒸發，就看不見，看不見的話，我們這個地方大概一百公里以上才有希望看見，在遠一點，彗星在大也看不見，從這個地方最遠看的到 100 個天文單位，這個地方大概 30 個天文單位，我們現在看到很熱鬧的狀況也許只是整個彗星族群的很小很小的一部份，剛好它走到離我們比較近的地方，到遠一點就看不見，不管多大，望遠鏡也看不見，我們等等會講一個我們現在觀測的方法，來看看這個在琥珀帶圓環到 Oort Cloud 最遠十萬個天文單位之間，到底有沒有彗星的存在，這是現在太陽系外部最大的特點，到底這中間彗星是怎麼分布，從這裡我們知道我們看到的東西只是冰山一角，有很多很多的彗星存在，所以我們應該把觀念稍微改變一下，過去我們也許對海王星以外的區域只曉得只有一顆冥王星，現在大家很熱衷要看看有沒有第二顆冥王星，希望把我們太陽系多加幾顆行星，這實際上沒有太大的意義，現在我們已經照了幾百顆小行星跟彗星，跟冥王星一樣，所以我想冥王星基本上會從行星中除名，變成彗星的最大一顆，大家也可以看到說，冥王星在過去有怎樣的不同，這個是海王星的軌道，其他行星都相當一致落在圓盤裡面，軌道都很重疊，跟地球繞太陽的軌道(所謂的黃道面)，其他行星基本上都落在黃道面之內，7 顆行星與黃道面的夾角只有 2-3 度而已，基本上是同一個平面，冥王星它的軌道就比較傾斜，它的軌道面與黃道面夾角大約 17 度左右，最近大家有聽說有找到比冥王星大一點的行星，並不是說過去都沒找到，很多人花了幾十年的功夫去研究說要看看外面還有沒有別的行星，找了很久都找不到，並不是說那些人的望遠鏡不好，只是找的方向不對，現在發現跟冥王星大小差不多的這顆，事實上它跟黃道面的夾角

大概有 44 度，它形成的軌道面是很奇怪的，假如當初我們形成太陽系的時候，應該所有行星都是在這圓盤裡面，它現在會跑到有夾角 44 度，表示被人家撞了一下，問題是誰撞它？現在的想法是說有一個可能性是類似冥王星的天體有很多個，彼此之間有很近的遭遇，可把軌道改變成 44 度夾角，把整個踢出黃道面，



另外一個想法是說我們太陽系誕生的時候，我們跟鄰居行星的距離是比現在小的多，我們知道現在星球的形成大部分是成群結隊，一次形成一堆星球，意思是說它彼此之間的距離是比現在經過幾十億年以後大家跑散掉了，在跑散之前，剛剛形成的行星系統它應該跟鄰居的距離要比現在小很多，也有一個可能性是說有一些鄰居的行星在當時距離我們太陽系不是像今天一樣幾十萬天文單位、幾光年那麼遠，可能比現在還近一百倍，這種情形的話，別的行星即使在冥王星區域裡面，也可以使冥王星大小般的天體給擾動掉，讓它跑到很傾斜的軌道，所以我們研究這些天體很熱鬧的地方，希望知道的事情是關於太陽系剛形成的時候，它跟鄰居的距離，跟鄰居遭遇的頻率，這些事情是我們很希望知道的；當然也有實際的想法；大家知道最近有很多微言聳聽的電影：「彗星要撞到地球」，彗星要撞到地球的話，你必須要去了解說它出現的頻率是怎樣的，現在新找到的彗星出現的話，已經來不及了，假如發現它對著地球來的話，來不及去把它改道，因為彗星進來的時候，相對速度很大，我們要改道彗星是很困難的；不過最近美國曾經發射一個叫做 28.33，它去找到一個彗星，登入到彗星上，用炸藥的方法去改變它，從內部去了解彗星是怎樣的，假如那一天我們需要防衛地球的話，要把彗星怎樣去改道，這事實上機率不是那麼小，彗星掉下來地球的機率是很大的，所謂很大是說每一億年左右也許有一顆十公里大的彗星掉下來，這效果也很大，因為六千五百萬年前恐龍的消失，甚至地球大概有 90% 的生物從此消失，那個很有可能由於小行星或彗星所造成的，我們的生物演化的歷史上一定有很多次是由十公里大的彗星砸到地球的話，使全球性的環境會有巨變，在這種情況下，彗星對地球上生

命的演化是很重要的，否則的話，今天可能是恐龍的世界而不是我們人類，人類也就沒有辦法說成為萬物之靈，我們希望了解這些彗星，事實上是要了解說對我們的威脅有多大？它除了威脅以外，在最早的時候，彗星事實上是把水分跟有機物帶到地球裡面來，所以內地行星剛形成時太熱，水分跟有機物不能存留，我們今天能夠在這邊生存，整個海洋都是靠彗星融化冰雪而來的，這證據是很確鑿的。至少海洋上至少有 50% 的水分是由彗星掉進來的；一但進入太陽系內部的彗星，最後的命運是掉進太陽面去，現在有很多研究太陽的觀測者都有在監視著，這是一個觀測太陽的衛星所拍攝到的，就是說很多彗星都掉到太陽裡面去，這是

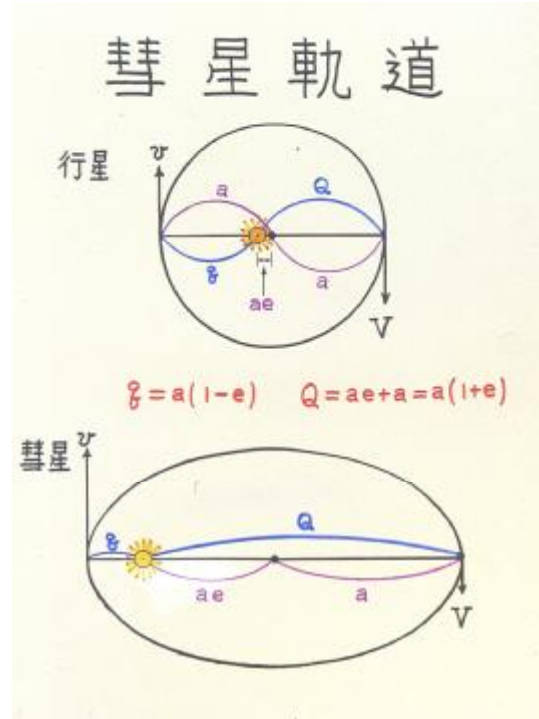


撞在地球上的彗星，這個撞擊坑在加拿大的北部好幾百公里，這個半徑有 100



公里，這個跟台灣來比較的話，台灣北部整個臺北市區大概就這麼大，這個撞擊

坑大概是掉下來的天體的 10 倍那麼大，這是幾十億年前所發生的事情，所以它做了什麼事情我們也不知道，因為我們知道在五億七千兩百年以前，古生物很難找到存留下來的東西，對生物有什麼影響我們也不知道，由這個地點我們可以知道這彗星是在二十一年前撞上它，我們需要一些彗星的了解，說到歷史的話，我們第一個要感謝的人是哈雷，因為哈雷彗星，他是牛頓的朋友，他鼓勵牛頓把最



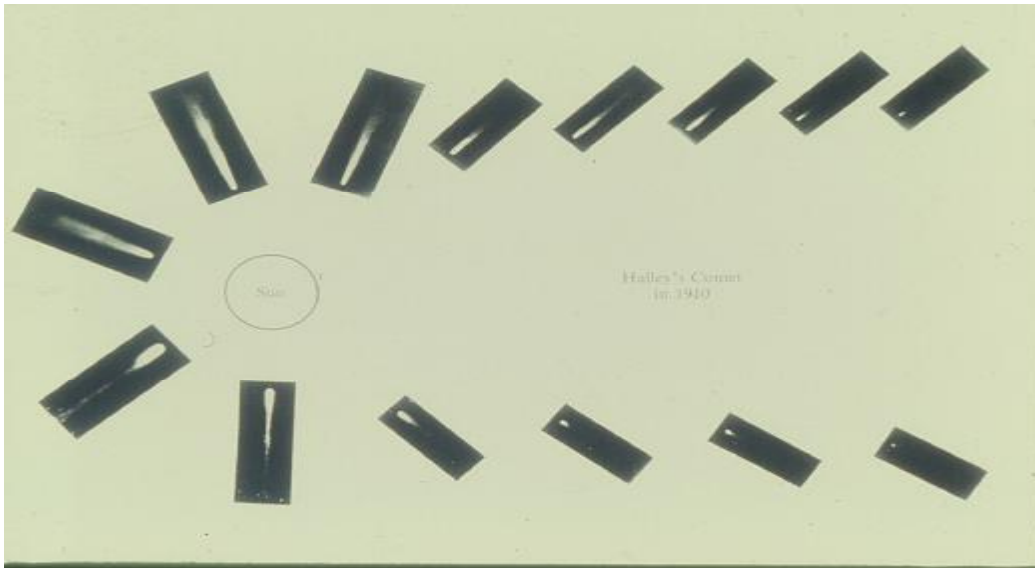
重要的書出版，他是第一個懂牛頓力學的天文學家，他首先發現哈雷彗星每七十六年會來一次，哈雷彗星到現在要了解它還是比較困難的，不過它是一顆比較新的彗星，所以比較亮，哈雷第一個貢獻是讓我們了解到牛頓力學不但能夠用在行星的軌道運作外，在彗星上也可以用，只不過彗星是橢圓的比較厲害，離心力比較大，我們描述它的方式跟行星的運動一樣，行星軌道比較接近正圓，太陽幾乎在圓心附近，彗星離心率很大的意思是它的焦點離中心點距離很大，有多大？叫做離心率，假如這半徑叫 a ，離心率 $Q = a - ae$ ，我們會知道像彗星的 Q 很接近 1，接近 1 的話，它幾乎是扁扁的，在距離越遠的地方，走的越慢，所以我們的彗星要在很接近太陽的地方才看的到，因為引力的關係，所以距離太陽越近跑的越快，否則它會掉到太陽裡面去，你在這裡看到的都是跑的最快的，換句話說，在軌道上停留最久的，它在這地方經過的時間很短，大部分的時間，它在軌道上是不見的，最近發現這顆跟冥王星大小差不多的彗星，它的遠距點差不多一千個天文單位，近距點差不多八十個天文單位，在近距點附近跑的非常快的，看到的機會很小，換句話說，你在這軌道上看見一顆，實際軌道上附近有幾千顆的可能性，這的確是冰山一角的情況，你現在看到的一顆，更遠的地方會有更多的個數，這就是我們為什麼覺得還有很多看不見的，在幾百幾千個天文單位內。第二個重要人物是 whipple，whipple 他首先研究出來說彗星的本質是什麼東西，他



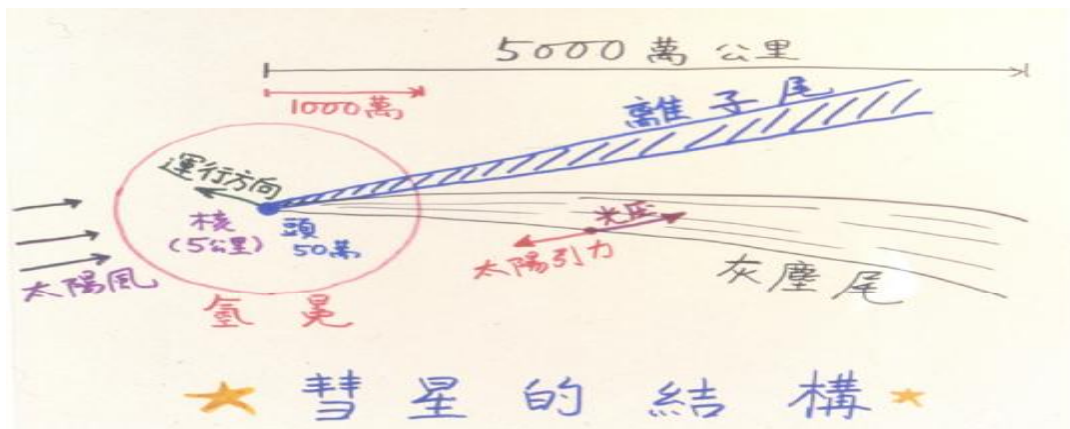
是哈佛天文系系主任，做了很多年彗星的研究，他告訴我們說，彗星的本身是一個核心，以哈雷彗星為例，核心大小約 50 公里，有一個圓形的它頭部的區域大約有五十萬公里，比地球到月球的距離還要遠，它有兩條長的尾巴，它是一條灰塵的尾巴，從彗星的核心噴出來的東西有很多灰塵，灰塵它會受到光壓和太陽引力的平衡，隨著顆粒大小來分別，灰塵尾等於一面跑一面把東西丟出來，每次我們地球軌道通過彗星尾巴的時候，留下來的東西，我們就稱流星雨，大家也許很有興趣看流星雨，我們看到的每一個流星，基本上是由彗星跑出來的，才能遺留在軌道上；另外一個尾巴叫離子尾，它是游離的氣體，是由水的分子，或是水把它遊離氫跟氫氧層，剩下氫，這些游離後的東西，受到太陽風壓而行成離子尾，離子尾它是帶電的，太陽風本身夾帶著太陽的磁場向外跑，所以會把離子尾壓迫到這個範圍，事實上，這是我們現在發現太陽風的存在，在還沒發射人造衛星前，我們還不知道太陽風的存在，當初會發現太陽風是由離子尾存在而推論出來的，



所以太空裡面的天文現象過去是屬於天文觀測的範疇，現在是屬於太空探測，在太陽系的內部來說，彗星是非常壯觀的，有幾千萬公里這麼長，可是他真正的到太陽系的外部時，沒有物質噴出來的時候，它真正的大小才幾公里左右，whipple他發展這所謂的「張雪球」，這是剛剛講的兩個尾巴，一個是灰塵的尾巴，一個是反射太陽光，看起來顏色比較淡黃色，這邊是離子尾，離子尾是藍色的，由游離的氦所構成的，可以看出很明顯的兩條尾巴，我們知道這尾巴是消長的，哈雷彗星 1910 年來的時候，它的尾巴是越靠近太陽越長，尾巴的來源是由本身揮發

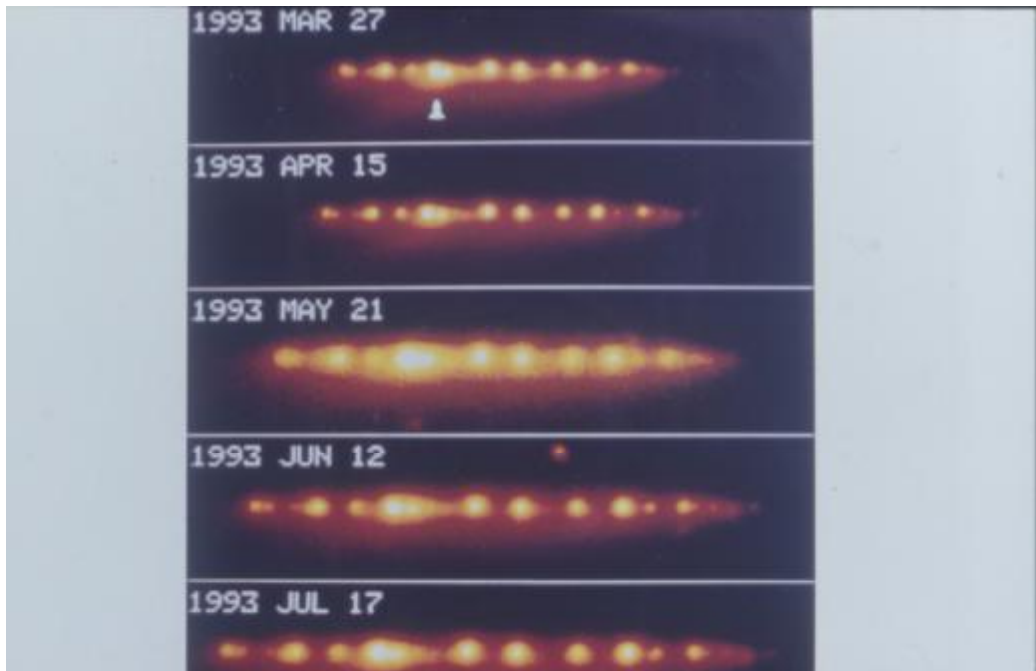


物質受熱的結果，哈雷彗星是第一個人類用太空船去探測的，也就多學了一些東西，另外一個彗星它結構很鬆散的，在 1993 年的時候有一顆彗星掉到木星裡面



去，可以看到它還沒掉進去之前，已經被木星的引力撕成很多顆，因為木星對它有潮汐，本來很小一顆，分裂的話，則有幾顆會掉到木星裡面去，它原本是鬆散分裂的；哈雷彗星來的時候，國際上有非常多的國家發出太空船跑去觀測哈雷彗星，去了以後就發現說「張雪球」的想法是很正確的，哈雷彗星本身的樣子全是黑的，反射率非常低，大概跟我們平時常見的不太會反光的東西，像是我們用來貼相機內部黑色的絨布一樣，這個的反射率大概只有 4~5%，95%的光都會被它吸

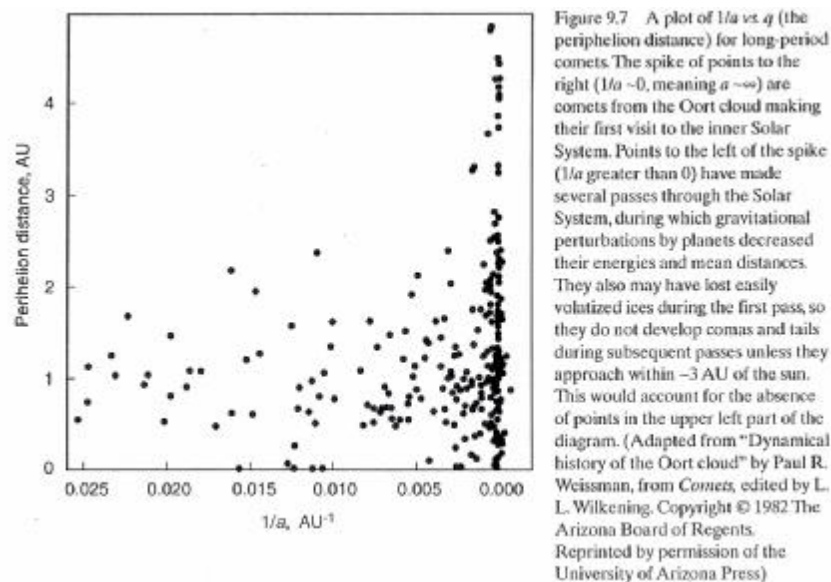
收掉，哈雷彗星的表面主要是這種物質，這種物質我們想起它主要像是柏油路一樣的有機物質，它已經把揮發性的東西都丟掉了，殘留下不揮發的，顏色非常暗淡的，這些亮點是它的噴口，是由黑色外殼裂縫裡面顯然還有揮發性的物質跟氣體跑出來，氣體跑出來又夾帶著灰塵，這是最大的兩個尾巴之來源，這裡面基本



上應該有幾十個噴口，這會自轉的，轉到面對太陽的方時，噴口就會破裂，噴出很多氣體，這個是我們直接可以觀測到的，whipple 在 1950 年代就提出來「張雪球」，他的論點是根據他觀測很多的彗星在行進中有噴氣的行為，跟它的分裂的行為跟尾巴的消長，實在的告訴我們他是個「張雪球」，只不過我們現在唯一要修正的是它可能不是一個雪糕的樣子，它比較接近我們的紫血糕，外面有一層很黑的比較脆的，裡面則是冰雪狀；這位是 j.ar.ourt 我們剛講說在十萬個天

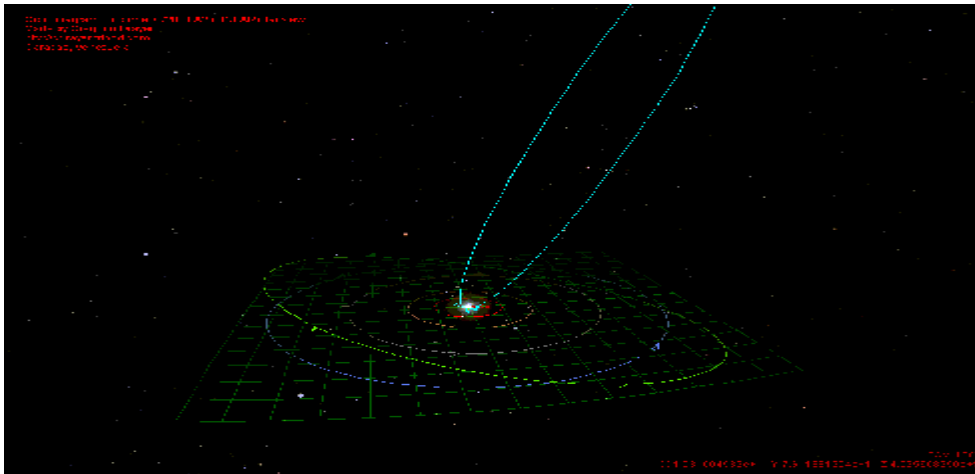


文單位的地方有彗星雲，這是 Oort 他推出來的，彗星雲這東西是很奇怪的，我們人類幾乎沒辦法觀測到它，唯一的機會是將來你在太空旅行時，經過這個區域也許會找到，它的確太遠，像我們剛剛講的幾公里彗星，放到大概距離我們十萬個天文單位，它所反射的太陽光極其微弱，是沒有機會看到的，可是我們對它們的存在是很有把握，因為牛頓力學在天體上的運作，所有宇宙都受它控制，有絕對的信心我們知道說牛頓力學是正確的，在推測大部分的天體軌道，我們是經由軌道方面去推出，Oort 他會發現這些事情是他把我們剛剛看到這些橢圓軌道，凡是有新出現的彗星，看起來非常亮的彗星，把它的軌道半長徑拿來做圖，在這邊的話，這軌道半長徑是倒數，軌道半長徑你把它做圖的話會不太好做，因為這個方向要是幾萬個天文單位的話會很難畫，最遠的話是無窮遠，它軌道會跑到非常遠去，我們把它倒過來畫，倒過來畫的意思是說，假如是零的話，零分之一就會變成無窮大，當軌道非常大的時候，它會告訴我們很接近於零，這裡是個數，在軌道半長徑是這個值的時候，它有這麼多個，你們看它有一個集中的區域，Oort

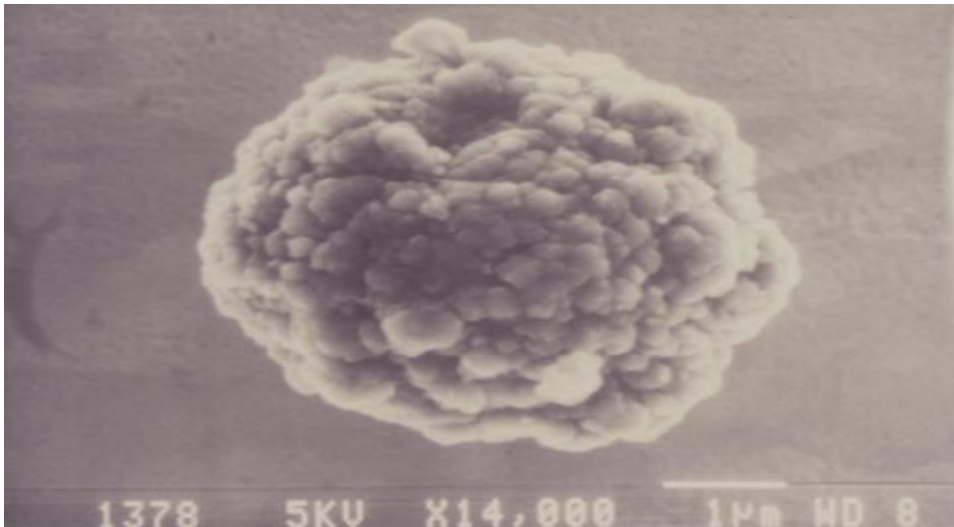


它發現有幾十顆彗星大部份集中在這層，大概在兩百個天文單位，在幾千個天文單位以外有許多彗星存在，雖然我們只有量到它很靠近我們附近的軌道，我們可用牛頓力學的方式來推出它軌道的樣子，推出來的結果發現遠日點都在幾萬個天文單位，這個推論是完全有把握的，所以我們這物理得到的結果是非常可信的，但可能永遠沒辦法看到，Oort 的存在，我們知道它是一個四面八方分布是個球形，不像我們太陽系內部的黃道面內是盤狀，Oort 的東西看起來是個球形的圓弧，它進來的軌道傾斜角非常大，接近 90 度，哈雷彗星事實上也很接近這個角度；過去很多人在新發現彗星，現在比較沒什麼希望，現在天文學家已經把全天的監視網做的很好，現在新的彗星都是被自動偵測彗星系統所發現的，所以假如希望找到一顆彗星且命名為自己的名字的話，這個機會已經沒有了，彗星在過去是個以發現者來命名的，現在這個機會已經很小了，為什麼我們太陽系的外

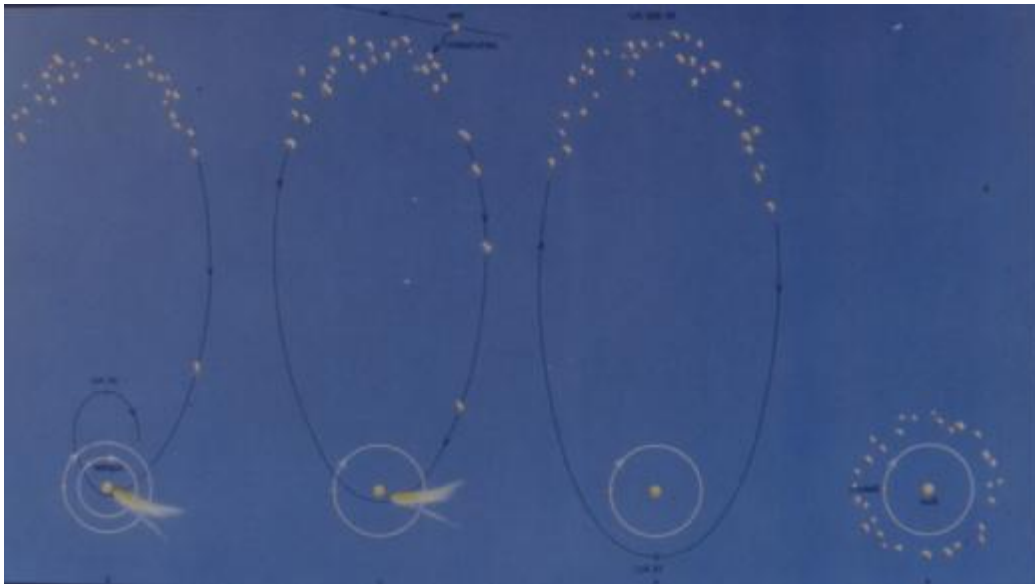
在星際空間凝結而來的，這些東西都可以由太陽系開始的微塵來判斷，我們今天能夠有了解行星，是由於對現在形成新的行星形成區，這是獵戶座星，由太空望遠鏡來照相，我們看到獵戶座裡面有很多區域在形成之中，在形成之中有些問題是說，有些小的星球被大的星球剝奪掉該進去它裡面的物質，不准它掉進去，旁邊的物質清掉後，它就露出這些形成之中的行星，所以這是很好的機會讓我們看到，一般來說像剛剛講的過程之中，大部分行星系統外面包著濃密的氣體使我們看不見，這可以說是大的行星把小的行星控制著，等於形成一半就夭折，它給我們一個解剖這些屍體的機會，那我們由這個去知道行星怎麼去形成，大家現在看到很漂亮的圖這個地方事實上是有很濃密的氣體，後面你可以看到這些星球，它有很強烈類似太陽風的東西，比太陽風強烈很多，這個地方可能正在成新行星的地方只不過它的物質，你可



以想像它風的方向要是這樣跑的話，類似我們拔牙一樣，旁邊的東西都吹掉，久了後，這行星就沒有物質的來源就停止成長，等到外面都剝光了以後，會看到中間的行星外面有個圓盤，圓盤裡面是行星在行走，所以我們相當的了解行星的確是這樣形成，為什麼有黑暗的東西呢？，大部分是由微塵，這



是在隕石裡面找到一些灰塵，這灰塵由紅綠星來造成的，這灰塵有百萬分之一米長，電子顯微鏡上看到的，這每一顆顆粒都比百萬分之一米還要小，這裡面有很多顆粒，每一顆粒都由不同的星球來的，它有很多記憶，它形成的環境組成跟物理狀況，都記住在這邊，這是我們想要研究的對象，彗星裡面有一半的元素是以這種方式存在，而事實上我們整個星際空間的化學元素大部分都是存在固體裡面，我們有 90 幾種自然的元素，大概有 7~80 個在星際空間裡面以灰塵的形態存在，那些非常揮發性的，像氫、氦、氖，這種氣體的東西總是以氣體存在，我們現在對剛剛這個 Oort Cloud 的存在有非常的瞭解，比方說剛剛講的那些行星系統的形成，等於做一個彗星形成的舞台，而我們又由剛剛那個想法，我們看彗星系統跟行星系統形成時，怎麼樣在這種背景的狀況下，怎麼形成 Oort Cloud，

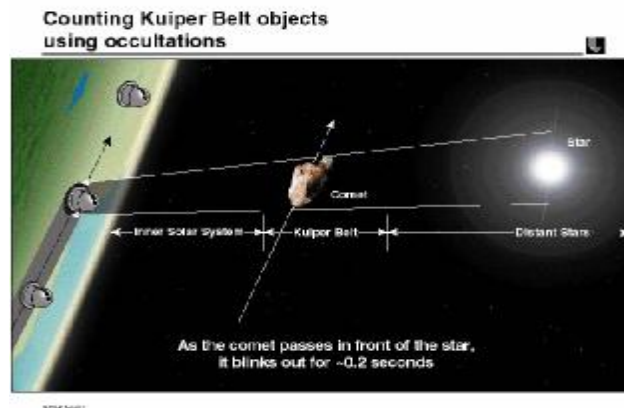


Oort Cloud 當初想法是說，我們不能在十萬個天文單位去形成彗星，因為那個地方的物質密度非常稀薄，沒有機會形成，在那個地方星際空間的密度只有一個 cc 只有一個圓，剩下形成星球的地方恐怕是在土星以外，也許在天王星附近區域，這個地方的密度比較高，而且它的溫度很低，冰雪可以凝固，所以我們想像中彗星的形成是在土星到海王星的範圍之內，現在內木行星的區域在冰點以下的地方可以形成冰雪，它在這個地方形成以後，它就有一部分會形成巨型的內木行星，內木行星形成以後，它就會把其他還沒有推積起來的小傢伙給踢出去，遭遇到行星的話，它會被踢走，有機會進入這樣的軌道，近日點在太陽系內部，可是遠日點在距離太陽很遠的地方，因為它在這個地方停留的時間很長，當你在這邊時，因為離太陽很遠，會受到鄰近的行星重力的影響，有時候就會跑掉，有時候會稍微加速，並沒有跑掉，跑掉的結果就是近日點會翻的很遠，當近日點不落在行星系統裡面的時候，它就跑到很遠的地方，也就不會受到太陽系其他行星的擾動，也就是有兩件事，其中一件是小傢伙被踢出去，還須要一個鄰近的行星來改變它的軌道，近日點把它稍微移遠一點，不要落在這個地方，它就沒有機會被其他行星影響，壽命也就會長一點，等到這種不進入太陽系軌道的時候，可能就是

我們現在 Oort Cloud 的來源，那為什麼我們現在又可以看到它呢？當另外一個鄰近的行星過來的時候，把它的軌道又改變了，改變成它會通過這個行星系統裡面，跑來的話，它會很快的消失掉，像哈雷彗星每經過太陽一次會損失掉十公分大小的氣體物質，每次都少十公分，它只有幾公里大小，過幾千年後它就會全部的氣體就會跑光，跑光以後它就會變成一個沒氣的彗星，沒氣的彗星是非常黑暗的，我們地球附近有很多氣體跑光的彗星，這些彗星將來也是很有機會撞到我們，這些是基本上我們對彗星的瞭解，應該是太陽系形成時一起形成的，它是被大的內木行星把它踢到太陽系的外側，距太陽系很遠的地方，會被鄰近的行星所擾動使它近日點改變就變成 Oort Cloud，當然也有一些是留在附近殘餘的，沒有被大行星清掉的，它也可能是古剝帶，我們現在是遠處有一堆，中間怎樣我們不知道，因為它距離太陽夠近，不會受到其他行星的影響，距離行星又很遠，不會受到行星的擾動，不過中間的彗星基本上沒有辦法出現在我們附近，所以我們沒辦法觀測到中間來的部分，所以有沒有呢？想起來應該是有的，中間沒有什麼道理說這種機制使中間都看不見，都沒有東西，不過現在有少數幾顆被發現，最近發現的這顆號稱有機會變成第十號行星的天體，基本上這是我們剛剛講的落在中間帶的，這個是冥王星的軌道，這個地方放大一點來看的話，這是我們的太陽，這個是 Oort Cloud，它現在這個第十號行星的近日點大概 100 個天文單位左右，冥王星大概 40 個天文單位左右，所以在這個距離兩倍的地方是它的近日點，在這個地方已不太受到海王星的影響，遠日點大概是在 1000 天文單位左右，遠日點已經是 Oort Cloud 的千分之一-的地方，應該還有很多類似的天體存在，這個天體可以說是我們現在看不見的這個區域，唯一看到的這一顆，假如說按照我們剛剛的講法，它在我們太陽附近的時候跑很快，離太陽遠的時候跑很慢，跑很快的地方我們能看到一顆的話，由機率來說的話，落在這個軌道其他地方的機會更大，會有很多很多顆，這是我們希望知道的訊息，在 Oort Cloud 跟 XXX 之間的彗星有沒有分布在這裡，是我們現在研究的很重要的重點，我們在玉山上有一個台灣跟美國一起合作的天文台，專門來研究這個課題，這是一個比較圖可是讓大家來瞭解一下，這是地球，這是我們的月球，這是冥王星，你們看它只有月球的三分之二的半徑，跟冥王星差不多大小的有好幾顆，直徑一千五百公里左右，現在找到好幾顆這樣子的行星，也會繼續再增加，冥王星是比我們的彗星還要小；



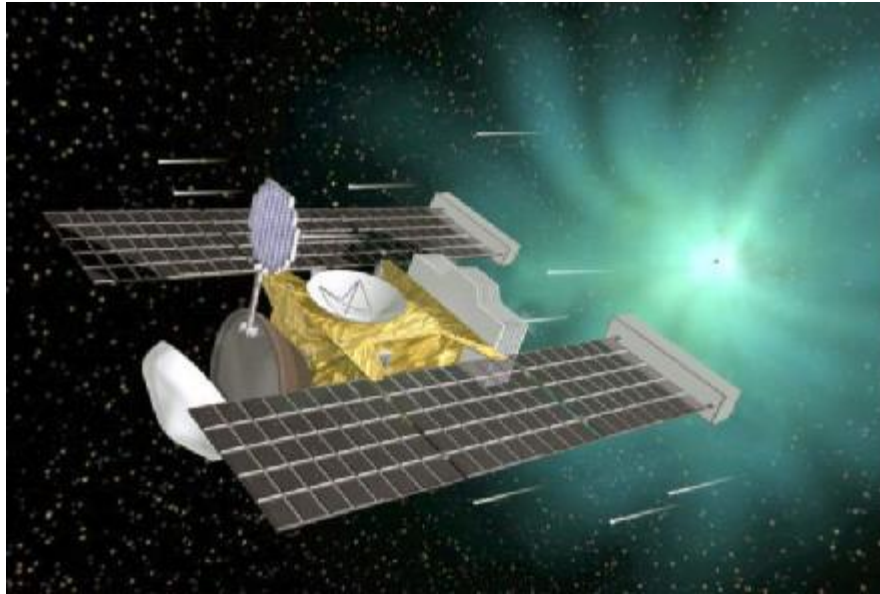
這個先生現在是哈佛大學天文系系主任，他是我念博士班的同學，他就跑來跟我講說，我們來用個新方法來觀測彗星是不是存在著在幾平方單位的地方，我們就帶他去玉山上附近的鹿林的天文台，左邊這位是中央大學陳文明教授，他的想法很簡單，他說，我們彗星在很遠的地方看不見，什麼原因呢？因為陽光到這裡就會減弱了，跟距離的平方成反比，陽光分布在那麼遠的時候，是分布在很大的球面上，所以它受到的陽光很少，它在反射陽光回去，又要分布在距離平方的球面上，基本上太陽照到彗星的光已經是隨著距離的平方來下降，反射光也是一樣，基本上反射光是與距離的四次方成反比，因為這個原因，譬如說 50 天文單位跟 100 天文單位比較，把它拿到 100 天文單位去，它要變成它的 1/16 的光度，很快的，我們彗星到遠處亮度會隨著距離下降的非常快，所以這就是看不見的原因，因為它反射光太微弱了，那該怎麼辦呢？假如我們想像成在玩皮影戲一樣，假如有一個背景，後面有一個毛玻璃，讓彗星從前面通過的話，看到一個影子，影子所遮蔽的，擋住後面的光，這影子的出現不是跟天體的反射光有關，而是它的亮度受到背景的控制，背景夠亮的話，影子就看的見，背景太暗的話，影子就看不見，我們要探測天文時有沒有彗星的存在基本上是利用這種原理，也就是看它有沒有影子，可惜的是我們太空裡沒有很大的毛玻璃讓我們演出，後面的背景是什麼東西呢？就是星球比較密集的地方，拿銀河系來做為一個背景，裡面有很



多星，當平常是暗的彗星通過它的前面，它的影子就跟日蝕一樣，星光被彗星的影子遮蔽，就跟日蝕一樣，彗星的影子投影在地球表面，剛好在天文台的上空，你就可以看到遠處的星球會突然稍微閃一下，光會消失，時間大約 0.2 秒這假如是幾公里大小的彗星，運動速率大概是 30 幾公里，說穿了就是以這種方法來看，這方法為什麼過去沒有使用呢？因為這機率太小了，現在看起來的話這一顆彗星假如位在 100 天文單位左右，它遮蔽到後面新的行星的機會是一年內一兆分之一，也就是一年量一兆次的話，只有一次會看到，眨一下眼的時間，你會很難看到它，看到它也是眨一下眼睛，你也會不知道什麼原因使它星光突然變暗，當第一步我們就要多設幾個天文望遠鏡，因為望遠鏡要是給錯誤的訊息的話，另外會有單獨的望遠鏡有機會得到正確的訊息，玉山上現在有放四台望遠鏡，這四台望遠鏡你不能夠用人工去照，因為照一兆次，人工會來不及，所以交由電腦去做，



望遠鏡全都是電腦遙控的，我們不需要去山上，壞掉才需要去山上，這每一個大小像檳榔攤一樣，這裡有兩台是很近的，另外兩台大概有 50~200 公尺遠，這四台的背景是玉山，大概三千公尺的高度，我想詳細我們不就講它；我們花了大概七~八年的時間把這弄起來，這是由韓國、美國各出一台望遠鏡，我們台灣出兩台望遠鏡，共有四台望遠鏡，中央大學出一台，中央研究院出一台，這個計劃叫中美眼睛的計劃，現在有三個望遠鏡同時觀測，資料很多，要處理上都來不及，我們現在大概進行了 10^9 次的觀測，這是我們國家目前對彗星的故鄉所做的研究，另外一個研究是有一個太空船去了彗星，他們在 1999 年發射，2004 年到達彗星，這顆叫做 war2，彗星在兩百公里的附近經過彗星核的附近，它收集了彗星的微塵，現在在回來的路上，須要四年來加速到跟彗星的速度相同的時候要很久，火箭事實上沒有那麼大的力氣，靠地球把它甩來甩去到彗星，回來的時候，我們也沒有辦法把它停住，它掠過我們地球附近，我們要的東西是它要收集的微塵，收集到多少個微塵呢？大概有百萬分之一克，整個器具上大概花了 5000 萬美金，收集到百萬分之一克微塵，總共重量大概有 100 萬克，也就是每一克微塵大概是一兆分之一顆，現在的目標就是把這一兆分之一顆的微塵拿來分析看看裡面的同位素、化學組織來判斷它是從那裡來的，這是很難做到的事情，要做一個非常靈敏的儀器，當然世界上有很多國家在做這種，我們中央研究院也在做這種儀器，就是對我們的王局長去要錢來做，我們想跟美國的 Oort Cloud 實驗室合作做個質譜儀來研究彗星灰塵的組成，它什麼時候回來呢？下個月的 16 號 (01.16, 2006)，我們的儀器在加緊把它完成之中，彗星回來的時候，他把他收集到的微塵丟下來，丟到地球裡，怎麼丟？這個方法他不能告訴我們，這是過去在 70 年代間諜衛星下來的同樣方法，丟在一個軍事管制區裡，希望他能成功的丟下來，事實上丟下來降落傘沒有打開，整個東西會撞落在地面上，花了好幾年的



功夫，整個實驗就有一部分不能完成，這個是藝術家想像的空間，的確已經跟觀測到的事實相符合，現在彗星上他弄一個像網球拍一樣的形狀，這東西是灰塵打在上面，遭遇完後它會折下來然後蓋起，中間這個盒子它在經過地球時就把它丟下來，他們很怕挨打的，因為過去太空船都被哈雷彗星打的很慘，打下去就整個飛歪掉了，它前面有很多盾牌，這盾牌的名字叫 whipple 盾牌，這兩件事情是我們現在正在進行的研究，一方面研究彗星在幾百天文單位以上是不是存在，另一方面是直接來分析取回來的灰塵，所以大家可以瞭解我們現在對很熱鬧的太陽系外部有很大的期望，透過它來瞭解太陽系的起緣和物質從那裡來，我想我今天大概講到這裡差不多了，謝謝各位。

Q&A

Q1:請問一下「光壓」是什麼？

A1:大家知道光事實上可以看作是粒子，當粒子打到牆壁上，它就造成牆壁上的壓力，所以我們在太陽系裡面的時候，從彗星跑出來的微塵，被光打中的時候，就把一部分動量交給光，也就對這微塵造成壓力，這叫做光壓，由光粒子所造成的壓力，距離太陽越近光壓越大。

Q2:請問一下「第十顆行星」已經被命名了嗎？有沒有被承認？

A2:第十顆行星目前沒有命名，因為大家還不知道要不要叫它為行星，它有一個編號的方法，譬如 199 幾阿、2005、2003 年就有最早的戰爭的名字，跟目錄號碼一樣，都有它的意義，取名字的話，一般來說，彗星過去是用發現者的名字來命名，現在 cover 到天際，不知道為什麼，可能是跟冥王星這類的取法一樣，要求是從希臘神話來取，冥王星它是由希臘跟羅馬神話裡面，相當

於我們的閻羅王，那它的彗星命名就在閻羅王管轄的地府，跟人間之間有個橋樑，我們有走過奈河橋，西方的河是沒有橋的，只有渡船，冥王星它的彗星代表著渡船出來，將來命名也許由希臘、羅馬來命名，因為發現這個天體的先行他取的名字是美國印地安人的名字，它是美國人發現的，美國有很多印地安人血統，發現的人叫做 Michael Brown 是加州理工學院行星科學系的教授，他發現比冥王星還要大的行星，事實上來說，大小不一定比冥王星來的大，跟冥王星差不多，因為我們現在看到的亮度是它的大小乘上他的反射率來看的，假如它的反射率低的話，他就比較大一點，反射率高的話，它就比較小一點，它可能跟冥王星差不多，因為我們現在還不知道它反射率多少，太遠了測不太到，所以現在很多人的立場還會改變，Michael Brown 他以前是贊成說不要叫冥王星為行星，但他發現這顆以後，他就很有興趣把它變成第十顆行星發現人，因為這是在歷史上可以留名的，所以他現在主張把它變成第十顆行星，然後名字要取美國印地安人的名字，但這不一定會通過的，國際天文聯盟是全是界命名最高的機構，它要做什麼決定還沒有下文，可能還有一陣子好吵的，不過，名字不重要，事實上什麼東西它有什麼行為是比較重要的。

Q3: 負責冥王星琥珀帶天文探測的計畫細節是…?

A3: 細節是這樣的，我們所有的行星之中，只有冥王星沒有去過，所以有人就主張說要提早去，現在是有點優勢，因為木星現在的位置讓去冥王星有加速的機會，木星可以把你甩過去，甩的對的話，行星重力的加持，把你加速，還是可以跑掉，你的速度會提高，事實上我們把我們的太空船當作彗星一樣把它丟出去，一樣的做法，所以我們以人工的算法來計算說怎麼讓它跑進去，讓它剛好被丟過去，因為這個關係，我們未來幾年發射的話，有個窗口，讓它到達冥王星的時間減少一半以上，將來也許要 30 年才可以到達，現在只要 10 幾年就可以到達，它的目標本來是研究冥王星，可是 Michael Brown 發現的天體似乎更有趣，希望能很快的到它附近去觀測，冥王星它太大了，它裡面的地質的作用，把表面物質都改變，我們現在需要去看一個比較接近原始狀況的彗星，可是問題就是說，我們對它觀測，看它軌道繞太陽一圈的話，要 250 光年，等於觀測 1、2 年彗星的軌道再去推天體的軌道，似乎不夠準確，就是說我們沒辦法準確到讓我們的火箭很正確的攔截，這是目前的一個困難，就是說發射是會去發射，怎麼去達到探測彗星的目標，現在還沒有很好的解決方式，可能需要更精確的觀測，現在很矛盾的是說，計畫好發射以去後，就沒辦法改變軌道了，假設觀測的軌道不夠正確的話，也就沒有什麼用了，而現在美國的太空計畫是混亂的階段，他們總統 布希 造成很大的混亂，所以計畫會不會實施，我想是有點困難的。就像是台灣總統亂下命令，說要送人到火星去，這目標事實上是無法達成的，也沒有足夠的經費去做，他對現行的計畫造成很大的傷害，過去是決定要去的，現在去不去的成，還是有

存疑，去的時候要做什麼科學任務也還在討論中。

Q4:請問院士您用微塵做研究，那有沒有證據說那微塵具有生命的現象？

A4:現在從太空來的標本，從隕石裡面的標本，太空裡面有相當多的有機物存在，最常在星際空間裡面的有機物分子有 11 億個碳原子，已是相當複雜的程度，但其中也有最簡單的氨基酸被觀測到，隕石來的時候氨基酸更多，大概有好幾十種，其中有一半是地球上所沒有的，現在有相當大的證據說太空裡面有很多的有機物存在，也有相當基本的蛋白質單位，至於生命就很困難，有沒有生命過來的話很難說，因為新空間的距離非常遙遠，也有一些消毒的工具，也就是說新空間有相當強烈的紫外線跟宇宙射線，假如生命要存在的話，被這些東西打到的機會非常大，在太空裡面待的太久的話，可能無法生存，不過我們知道生命有很強烈的生存能力，希望生存下來，像也有人認為像孢子可以存活很久，百萬或千萬年前的孢子，我們可以挖出來在讓它發芽成長，把生命恢復起來，所以有沒有機會傳遞呢？我想是有這個機會的，因為所有被丟出去的彗星，有的丟的遠的就離開太陽系到別的行星系統，假如說這個裡面有生物的話，就有生存的機會，不過這時間要很長，平均來說也許幾十億年才會遭遇到一個，所以這個部分沒有證據說說是正面或反面的可能性，這還是一個研究的重要方向，因為美國前任總統柯林頓他下命令說要研究生命的起源，火星來的隕石裡面發現有新生命的現象，不過現在證明是錯的，不過那時候柯林頓很有錢，國會也很贊成這個，所以成立了 10 個生物天文學，研究半天沒什麼成果，沒有標本可以研究，所有研究大部分都針對生命起源來做研究，時間沒有到，你把研究經費投下去也沒有用，因為沒有很適當的標本去研究，這方面研究是有相當進步，可能沒有很具體的答案。