

發現范艾倫輻射帶的探險者1號衛星及促使衛星成功發射的3位科學家。左邊是負責建造及操作衛星的JPL主任William Pickering，中間是設計和製造科學儀器的Van Allen，而右邊是建造攜帶衛星升空Jupiter-C火箭的Wernher von Braun。圖片來源：NASA

上篇介紹了影響太空天氣的主角之一太陽風，本篇將介紹環繞地球的范艾倫輻射帶以及來自星際間的宇宙射線。

范艾倫輻射帶

自從發現來自星際的宇宙射線以來，科學家對於宇宙射線是否會和大氣作用產生新的粒子一直沒有定論。為蒐集證據，范艾倫（Van Allen）計畫在美國第一個人造衛星探險者1號

（Explorer1）上，放入可偵測游離輻射（高能量的質子和電子）的蓋格計數器，來測量宇宙射線。卻意外的，在遠高於地球大氣上方，以為幾乎沒有粒子之處，發現環繞地球的輻射帶。科學家雖然認為地球磁場會捕捉帶電粒子，但只會在磁爆發生時短

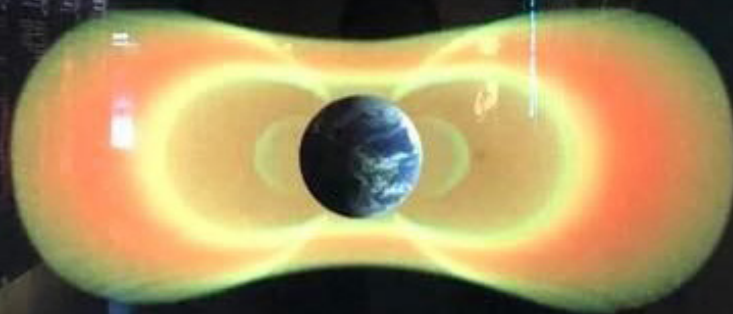
暫出現。

輻射帶的發現來自於一群不合理的數據，數據顯示探險者1號衛星偵測到的宇宙射線數量遠低於預期。在排除儀器故障後，范艾倫認為是儀器接受到，由地球磁場捕獲的帶電粒子群（輻射帶）所產生

太陽風展項的影片中介紹范艾倫輻射帶及范艾倫探測器。

太空也要報天氣（下）

文/ 陳姝蓉



的強烈輻射而達到飽和，並出現極低的讀值。這個推論被繼任的探險者3號衛星證實。搭配後繼的先鋒3號（Pioneer 3）和探險者4號衛星的觀測資料，科學家發現地球磁層內，兩個甜甜圈狀環繞的輻射帶。其強烈的輻射，讓科學家一度懷疑記錄到蘇聯的核彈試驗。

太陽風展頂的影片中可見到，輻射帶中的粒子會以螺旋的方式一邊繞著地球磁場旋轉，一邊沿著磁場南北來回移動，時而在不同磁力線間遊走，偶爾會有

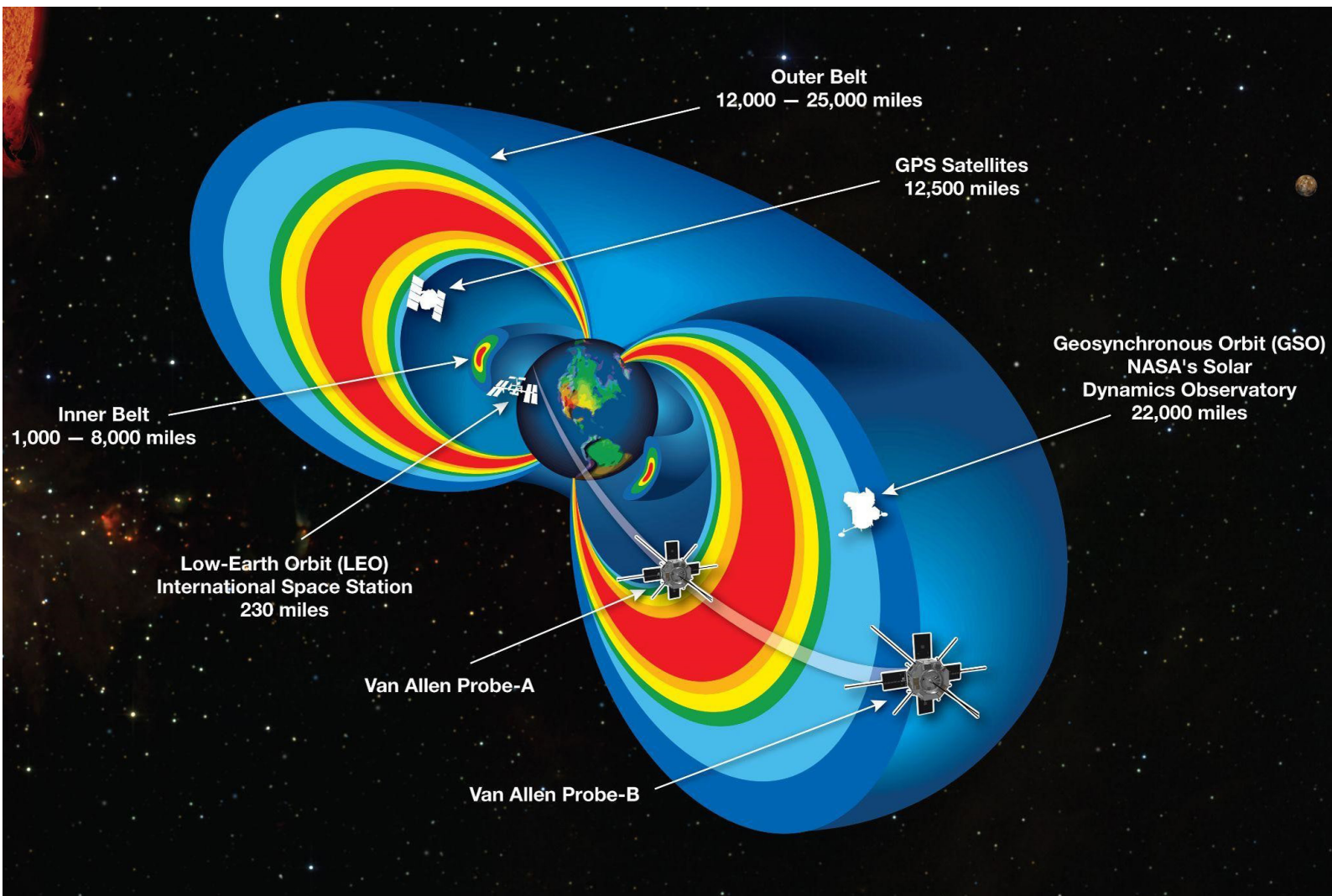
粒子逃逸進入大氣或太空。其中，內帶分布穩定，主要由高能量質子（宇宙射線撞擊大氣的產物）和電子組成；外帶較容易受到太陽活動影響，因此變動較頻繁且變動幅度也較大，由來自太陽和電離層的高能量電子組成。

由於帶中強烈的輻射，會損壞太陽能板、記憶體或使電子設備短路等。低地球軌道衛星、哈伯望遠鏡和國際太空站都運行在內帶下方；而GPS和地球同步衛星則位於較容易屏蔽的外帶。太

陽活動較劇烈時，會使輻射帶的粒子增加、能量變高並擴張其範圍，影響原本位於下方的國際太空站和衛星。

范艾倫探測器於2012年升空，任務持續到2019年燃料用罄。探測器幫助科學家了解，輻射帶中的粒子如何來去、其加速的機制，以及太陽風和太陽活動對輻射帶的影響。在發射升空的頭幾天，探測器就目擊到，太陽閃焰爆發讓內外帶間的空隙，出現第三條輻射帶，雖僅維持一個月，但不斷地在太陽活

內外兩個甜甜圈狀的范艾倫輻射帶（剖面圖）是由地球磁場捕獲的質子和電子所形成，圖上還顯示繞行其中的范艾倫探測器（A、B）與低地球軌道的國際太空站、全球定位衛星和地球同步軌道的太陽動力學天文臺彼此間的相對位置。圖片來源：NASA



躍時出現。有趣的是，探測器也發現，輻射帶會反過來受人類活動影響。用來與潛水艇溝通的特低頻電波訊號，會在地球周圍形成防護罩，阻擋高能量粒子入侵。對輻射帶有更多了解，可以幫助我們找到適合的防護方式。例如阿波羅登月任務時，太空人也曾穿越范艾倫輻射帶，由於停留的時間短，加上多數路徑選擇穿過輻射帶較薄的區域，大幅降低接受到的輻射劑量。

假如留意NASA控制室的全球地圖，會見到特別標註的南大西洋異常區（South Atlantic Anomaly），這是太空中的百慕達三角洲。這是因為地球的磁軸與自轉軸有約11度的夾角，且兩者中心稍有偏移，導致此區域的磁場較弱，也讓內范艾倫輻射帶向下延伸至離地200公里處。此處高能量的粒子會使觀測資料錯誤、電子元件失靈，也讓太空人眼底出現閃光。因此靈敏的哈伯太空望遠鏡在經過此區時，會關閉感測器來避風頭。

宇宙射線

科學家發現驗電器裡儲存的電荷會隨時間流失，而降低瓶中氣壓可以減緩流失速度，因此猜想電荷流失與空氣有關。1896年貝克勒發現放射性物質——鈾。居里夫人觀察到，放射性物質會使驗電器裡的電荷衰減變得更快，並將此作為放射性強弱的指標，這個發現為後續的研究開了一扇窗。由於放射性物質會讓空氣游離產生許多正負電荷，來抵銷掉儲存的電荷，造成電荷流失。由於放射性物質主要存在岩石、泥土中，因此當時的科學家認為空氣游離程度會隨高度下降，



物理學家Victor Hess搭乘熱氣球尋找造成空氣游離的來源，發現了來自太空的高能量粒子——宇宙射線。

驗電器的電荷衰減會變慢下降。1912年物理學家Victor Hess乘坐熱氣球到高空測量空氣的游離程度，初期在離地約1,000公尺的高度，量得的游離程度與地表沒有顯著差異。當他一路飛到離地5,300公尺時，卻發現空氣的游離程度是地表的3倍，推測造成游離的射線來自天上。那可能是來自太陽嗎？因在日全食時量得的游離程度沒有顯著的下降，推論不是源自太陽。Victor Hess的發現了來自太空的高能量粒子，宇宙射線。

宇宙射線是來自太空以接近光速移動的高能量粒子，其中約90%是氫原子核、9%是氦原子核，而其他元素約占1%。宇宙射線會和大氣碰撞產生更多粒子，主要為介子，而粒子繼續會再次衰變或碰撞，產生如渺子、微中子、中子、正子、電子等次級宇宙射線，

這些粒子會沿著原方向前進。其中渺子和微中子幾乎不跟物質作用，將一路穿透大氣直到地面下。如同地球磁場抵擋太陽風一樣，太陽磁場也能阻擋部分宇宙射線。航海家號在離開太陽磁場的勢力範圍後，偵測到的宇宙射線增加了30%。當太陽處在較活躍、黑子數量較多的極大期時，我們接受到的宇宙射線也會變少。

如此高能量的宇宙射線是來自哪裡呢？身為帶電粒子的宇宙射線，會受到星際間及太陽的磁場影響而改變行進方向，無法追溯源頭。科學家嘗試由物質組成（特別是比鐵重的元素），或不易受影響的伽瑪射線（宇宙射線撞擊周圍的分子雲氣，會產生伽瑪射線）和微中子來推斷來源。其中一個來源是超新星殘骸（例如蟹狀星雲），爆炸拋出的氣體



閃光箱中的火花，描繪出宇宙射線走過的路徑，可以將手放在開口處，體驗宇宙射線穿過手的感覺。

會帶著磁場迅速向外擴張，並在前緣形成震波，部分粒子會被磁場和震波加速，形成宇宙射線。然而，科學家也發現能量超過超新星殘骸所能供給的宇宙射線，推測可能來自星系合併、活躍星系核或伽瑪射線暴等宇宙中最強的天然加速器。2017年位於南極的冰立方微中子天文台偵測到高能量的微中子，由軌跡回推其源自獵戶座天區。幸運地，費米伽瑪射線太空望遠鏡觀測到，此天區的蝮虎座BL天體（Blazar）的伽瑪射線亮度增加。推測星系核心的超大質量黑洞，就是產生高能量的宇宙射線的宇宙加速器。

閃光箱是用來觀察宇宙射線的裝置。密封的箱中是稀薄氦氣，當宇宙射線經過時會游離路徑上的氣體，因加在上下電板的電壓，讓軌跡形成如閃電般的火花。電板的電壓只在上下方偵測器被粒子觸發後才施加，以避免持續放電的危險，因此粒子的軌跡皆為上下方向。

太空天氣 對地球的影響

太空天氣是夜空美麗極光的來源，但它也可能會干擾衛星運作、導致電力中斷、GPS定位失準等，對依賴科技設施的我們造成威脅。例如在閃焰或日冕巨量噴發朝向地球時會加熱電離層使高層大氣膨脹，增加低軌道衛星的阻力。也會提高大氣的電離程度，造成局部電子濃度的不均勻，影響電波訊號傳播路徑。這會影響長距離電波訊號傳播和增加衛星定位誤差，影響飛航和漁船作業。而地磁的劇烈變化，會在長的金屬管線或電流迴路中產生感應電流，使輸油管線和電力輸送中斷。在1989年加拿大魁北克省，就因為日冕巨量噴發造成地磁改變，使電力網路因感應電流而瓦解，在寒冷的冬天停電長達9小時。

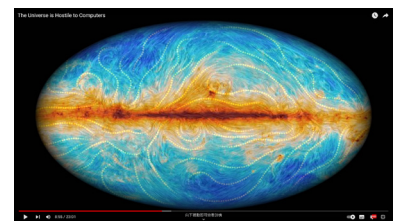
黑子數量11年的週期變化就像長期的太空氣候預報，可藉此

評估太陽活動的程度。太陽風暴影響可能在幾分鐘內抵達地球，科學家使用一系列的儀器來監測太陽和太空天氣，例如飛入太陽日冕研究太陽風和磁場的帕克太陽探測器、SOHO觀察日冕巨量噴發的太陽和太陽圈探測器（Solar and Heliospheric Observatory, SOHO）、觀測太陽內部、大氣、磁場變化的太陽動力學天文臺（Solar Dynamics Observatory, SDO）、偵測太陽風暴和太陽風變化的同步氣象衛星（Geostationary Operational Environmental Satellite, GOES），都有助於科學家在太陽風暴來臨前提供警報。

參考資料：

NASA (About space radiation、The radiation belt storm probes、Scientists Recreate Earth's Northern Lights、NASA's Fermi Traces Source of Cosmic Neutrino to Monster Black Hole)、SDO & SpaceWeather、SDO Guide、Cern (Cosmic rays discovered 100 years ago、Cosmic rays: particles from outer space)、一探太空中的風火雷電 李奕德、太空教室學習資料庫 呂凌霄

YouTube相關影片：



The Universe is Hostile to Computers
https://www.youtube.com/watch?v=AaZ_RSt0KP8

陳姝蓉：臺北市立天文科學教育館