

極光(Aurora)

一、極光的分類

甲、依照出現位置分類

極光如同天使頭上的光環般套在地球的南北極《如圖一 A》。又稱為極光橢圓圈，我們可由一年中，出現極光的平均天數的分布圖，看得出極光橢圓圈的分布情形《如圖一 B》。位在北極的極光稱為「北極光」。位在南極的稱為「南極光」。北極光與南極光有時可如同鏡中的影像一般成對出現《如圖一 C》。

乙、依照性質分類

極光依其性質可分為**連續一片**的「**擴散極光**」，以及不連續的「**分立極光**」。「擴散極光」如同氣輝般，光度暗淡且均勻的分布在中、高緯度的夜空中。「**分立極光**」則由許多**極光弧**，如皇冠般戴在高緯區的夜空電離層上。

二、極光的形成原因

極光的產生過程與霓虹燈管發光的原理相似。

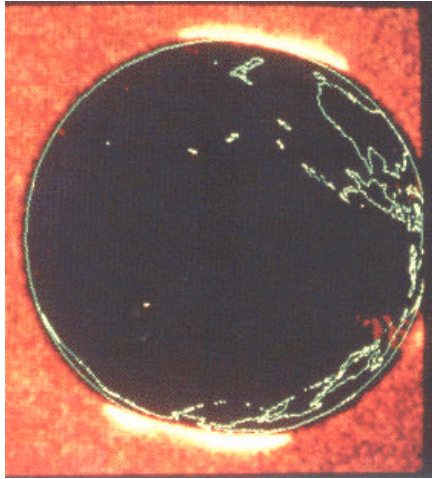
霓虹燈管內，藉著兩極的電壓差將電子加速，然後將管內稀薄氣體撞擊而發光。

來自上空的高速電子撞擊電離層中的原子、分子、或離子，把它們打成激發態（通常必須是一個高能階的準穩定態），等一段時間後（**【生命期】**），它們會自動的跳回基礎態（或較低能階的準穩定態），放出一定波長的光，這就是極光。

造成極光的的高速電子，打哪兒來的呢？

造成**擴散極光**的高速電子來自內磁層：

內磁層中，原來沿磁場線來回彈跳的高能電子《如圖一 D》，被擾動的電場與磁場散射後，無法繼續來回彈跳而落入電離層中，並與電離層中的氫原子碰撞發出紅光。由於這些電子一個一個落下來，好像下毛毛雨一般。因此所產生的極光也像毛毛雨弄溼地面一般，呈現相當均勻的分布。



圖一 A、地球南北極的極光光環。

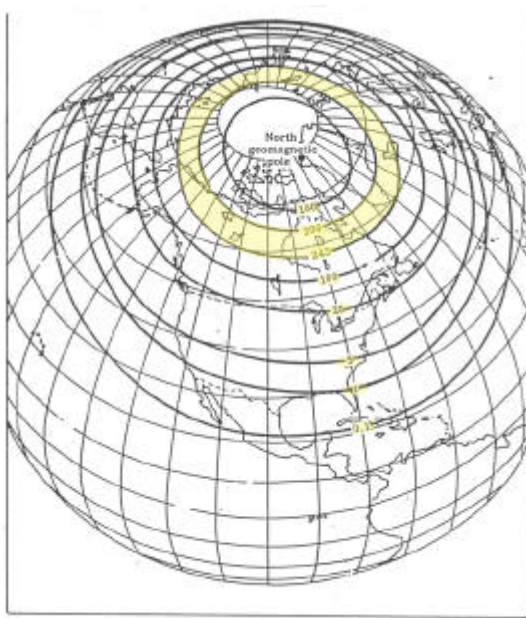
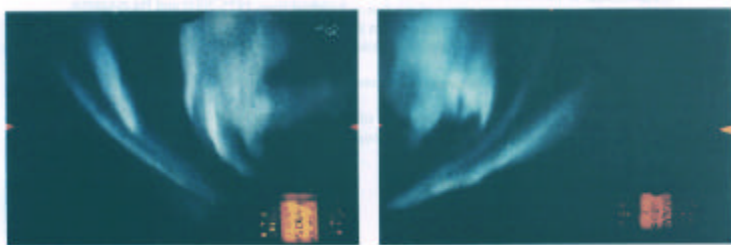
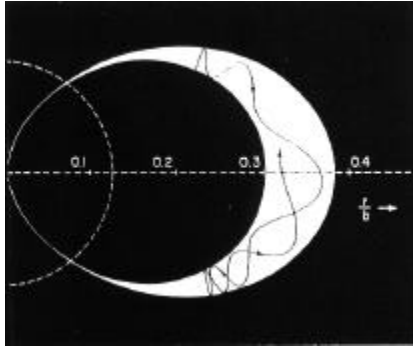


FIG. 6.9. Average distribution of annual frequency of auroral sightings if visibility.

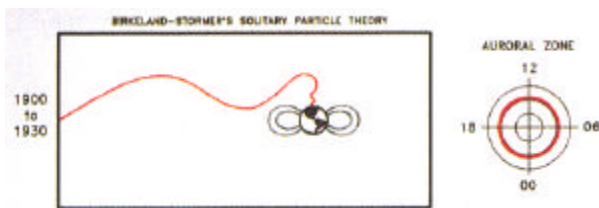
圖一 B、極光橢圓圈的分布情形。



圖一 C、北極光與南極光有時可如同鏡中的影像一般成對出現。



圖一 D、帶電粒子在磁偶極場中，來回的彈跳運動。



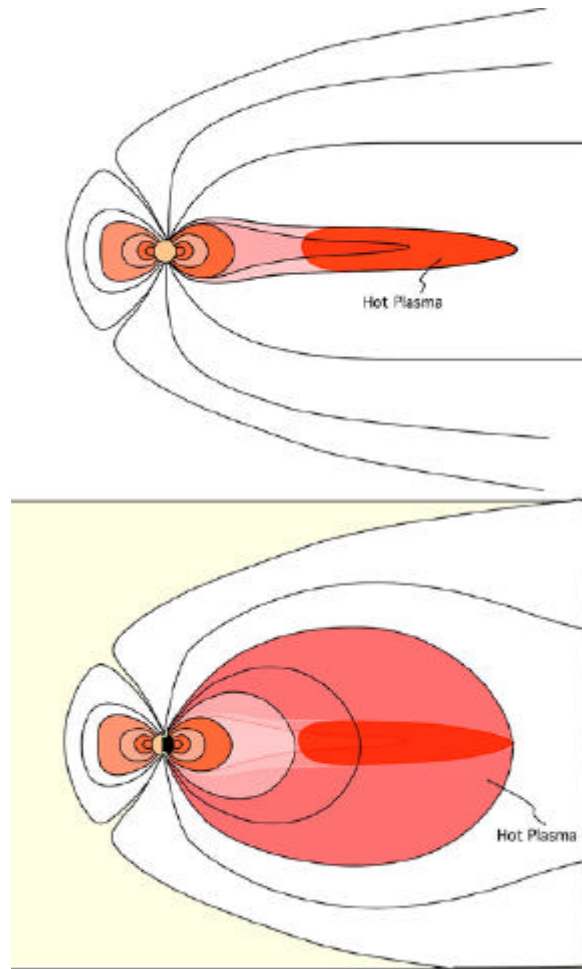
圖一 E、早期錯誤的看法以為造成**分立極光**的高速電子是直接由太陽表面打出來的。

造成**分立極光**的高速電子來自磁尾電漿片或磁層頂：

早期錯誤的看法以為造成**分立極光**的高速電子是直接由太陽表面打出來的《如圖一 E》。但是有人質疑，能夠產生明亮**分立極光**的高速電子濃度一定很高，怎麼可能一路由太陽表面跑出來，而不散掉呢？（電子們都帶負電，彼此相斥！）後來科學家提出電漿的概念，才把這個謎題解開來了。原來正離子與電子是一路結伴來到電離層上空，直到最後，然後才被一個電場加速，打入電離層，造成**分立極光**。

現在科學家知道，造成**分立極光**的高速電子成因可能不只一種，以下只是提出其中一種，做進一步的說明。

磁副暴是一種強烈的磁場擾動。主要的擾動發生在磁尾、以及高緯的電離層與地表。當**磁副暴**發生時，磁尾的磁場發生變形，會將電漿片中的熱電漿擠出來，灌入電離層《如圖二》。



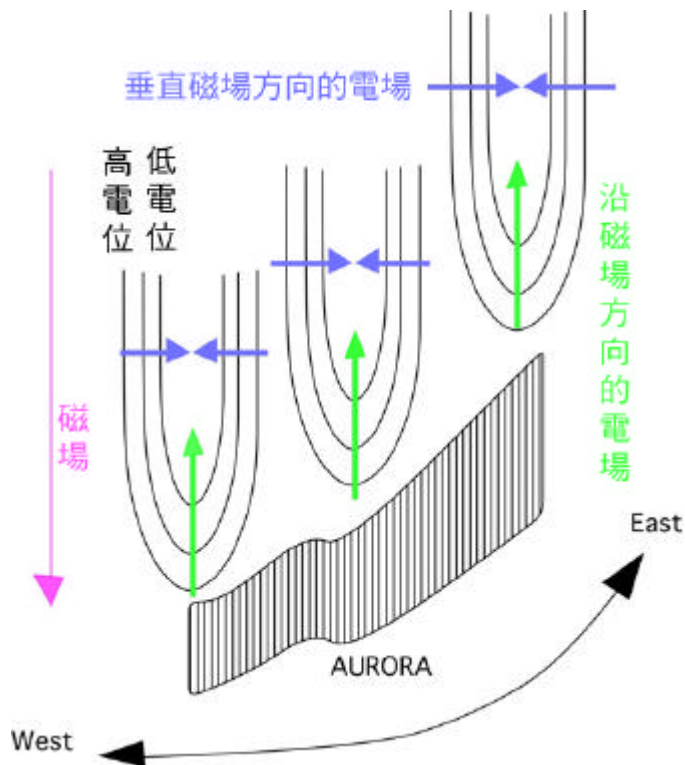
圖二、當磁副暴發生時，磁尾的磁場發生變形，會將電漿片中的熱電漿擠出來，灌入電離層，將可造成極光。

當來自磁尾電漿片的熱電漿，到達電離層上空時，會自行形成一組U型的等電位分布，其中，越內層的U型等電位面，電位越低《如圖三》。也就是說：

在U型結構的中央處，形成了一個沿磁場方向，方向向上的「場向電場」。

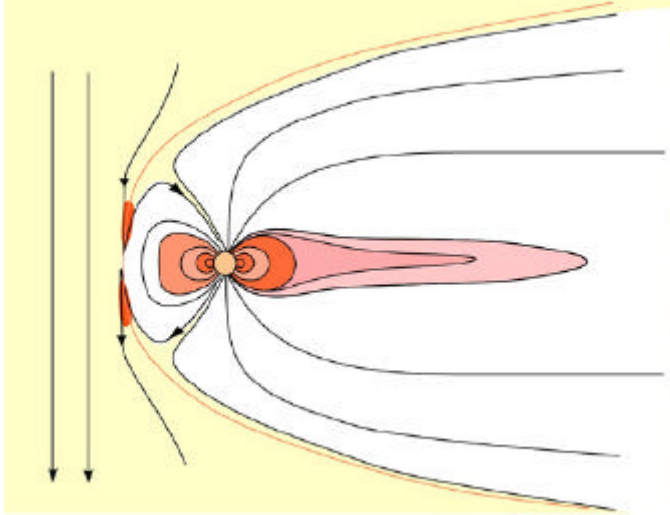
在U型結構的兩側，形成了一個垂直磁場方向輻合形式的電場分布。

因此，位在U型結構中央處的電漿中的電子，就會被此向上的「場向電場」所加速，高速的打入電離層。



圖三、當來自磁尾電漿片的熱電漿，到達電離層上空時，會自行形成一組U型的等電位分布，其中，越內層的U型等電位面，電位越低。圖中「沿磁場方向電場」可加速電子，打入電離層，造成極光弧。

當地球磁層外面太陽風中的磁場方向，具有南向分量時（與地球磁場方向相反時），地球的磁層頂，也成了一個帶有很強電流的電漿片。這樣的磁場與電流分布，很不穩定，也會造成強烈的磁場擾動（例如：「磁場線重聯」）《如圖四》。當來自磁層頂電漿片的熱電漿，到達電離層上空時，也會造成「場向電場」，並加速電子。



圖四、日側磁層頂發生「磁場線重聯」時，磁層頂電漿片會產生熱電漿，當它們流到達電離層上空時，會形成日側極光。

三、極光弧的運動

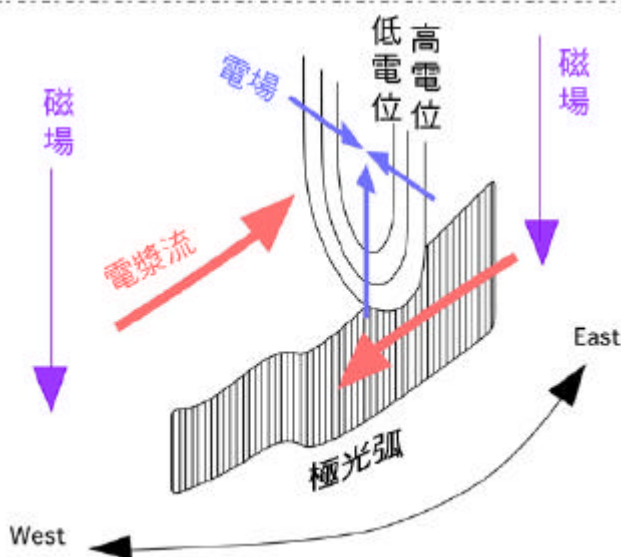
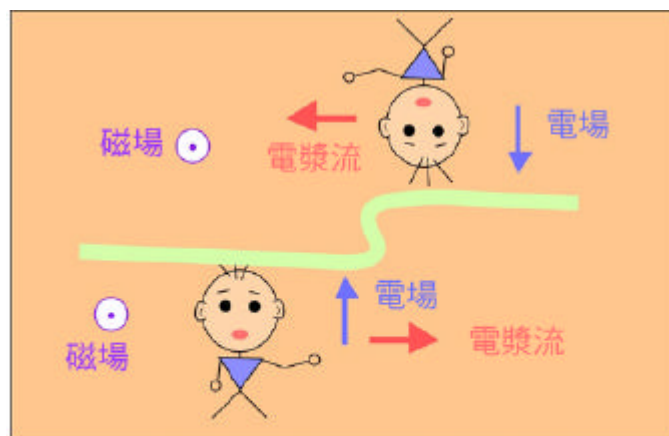
分立極光為什麼會盤旋飛舞呢？原來極光兩側那些不發光的電漿，會沿著 $E \times B$ 的方向運動。（至於詳細原因，只要學過電磁學的同學，就可以從帶電粒子在電場與磁場中的運動軌跡中，看出來！）

什麼是 $E \times B$ 的方向呢？

在U型電位兩側，各有一個朝向極光的輻合電場。

假想有個玩偶，頭頂沿著電場方向。眼睛向前正視，沿著磁場方向，則 $E \times B$ 的方向，就是左手方向《如圖五上圖》。

由於極光兩側的電場反向，所以兩側的電漿流也反向運動，柔搓的結果，逐漸形成渦流《如圖五下圖》。這就是分立極光會盤旋飛舞的主因。科學家可以根據這項原則，分辨出地面或太空梭上所拍攝的極光照片，是南極光還是北極光！



圖五、分立極光會盤旋飛舞的原因。

研究一下，看看以下這張圖六中，太空梭上所拍到的極光，是南極光還是北極光？



圖六、太空梭上所拍到的極光

四、極光的光譜

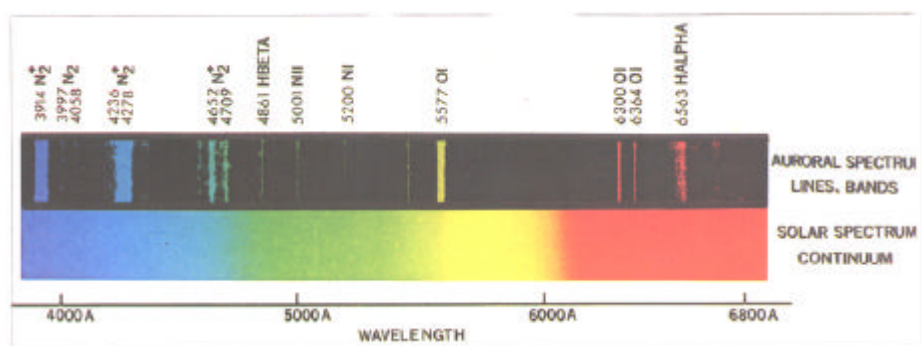
極光光譜可由紫外線到紅外線。在可見光範圍的極光《如圖七》的成因，可由打入之電子能量及大氣成分（重的沈在下，輕的浮在上）而得。

當打入之電子能量不太高時，可將高層氧原子打成激發態氧原子 O(1S)。此激發態氧原子 O(1S)回到基礎態氧原子 O(3P)便發出白綠色的光（波長 557.7 奈米），此即最常見的白綠色彩帶般的極光《如圖八 A》。

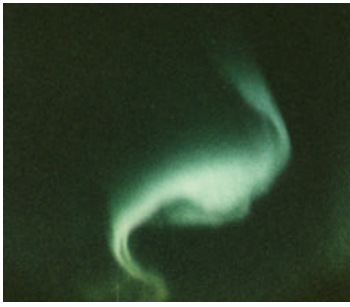
當一般強度的磁層副暴發生時，打入電離層的電子能量較高，可將較下層氮分子打至不穩定的游離態氮分子離子。當此激發態氮分子離子回到基礎態氮分子離子便放出青藍色的光，波長 427.8 奈米。因此在一般強度的磁層副暴時，可見北極光如青龍般在極區（約北緯 70-80 度左右）夜空盤旋飛舞《如圖八 B》。

當打入的電子能量非常高時（少有之超強磁副暴），電子得以深入低層電離層，將下層之氧分子打成兩個激態的氧原子，其中一個 O(1D)可放出紅光 630 奈米，而另一激態的氧原子可為 O(1D)或 O(1S)，故可放出紅光或綠光。因此在超強磁副暴時，可能見到血紅色的極光《如圖八 C》或紅綠相間的極光《如圖八 D》。

太空梭由上往下所拍攝的極光，多呈淺紅色，這是氫所發的紅光《如圖六》。地面上不容易看到此種氫所發出來的紅光極光弧，是因為氫所發出的紅光，相對應的【生命期】較長之故。在較低空的大氣中，空氣不夠稀薄，碰撞太頻繁，如果高能階激發態的【生命期】太長，往往來不及大家一同由高能階跳回低能階發光，就個別與另一個粒子發生碰撞，把光給放出來了。所以只能產生類似擴散極光的現象，無法造成明亮的極光弧！



圖七、在可見光範圍的極光光譜。



圖八A、白綠色彩帶般的極光。



圖八B、極光如青龍般在極區夜空盤旋飛舞。



圖八C、血紅色的極光。



圖八D、紅綠相間的極光。