

Lecture C1. Introduction

1. 太空探測簡介：

- 觀測技術上的發展：

state-of-the-art的儀器（電腦記憶體與傳輸頻寬、光電儀器、電池與發電設備、...）

高能粒子的探測：了解什麼是帶有relativistic energy的粒子

低頻到高频波的探測：（各會碰到什麼困難？）

高解析度的影像：（如何解決資料下傳的問題）

- 觀測的方式：

- Remote sensing measurement（遙感探測）：

主動式：雷達觀測

被動式：大地遙測、太陽遙測

- *in situ* measurement（現場探測）：透過火箭（rocket）、人造衛星（satellite）、太空船（spacecraft）直接到現場蒐集電漿與電場、磁場的資料。

-

- 太空發展歷史：

- 有人將德國在二次世界大戰時發射火箭，作為Space era（太空時代）的肇始。

- 一般人將蘇聯發射第一枚人造衛星Sputnik 1（友伴一號）作為Space era 的開始時間。

- 西元2007年將為Sputnik 1 (October 4, 1957) 五十週年紀念

Voyager 1 and Voyager 2 (1977) 三十週年紀念

- 西元1958 年英國牛津大學退休教授Chapmann 博士在阿拉斯加大學提倡IGY (international geophysical year)。希望結合全球coordinate observations，增進我們對地球物理現象的了解。

- 為了紀念IGY五十週年，科學家正在發起有IHY(international heliospheric year) 與

IPY(international polar year)等國際太空物理研究活動。

順應1958 IGY(international geophysical year)，中央大學在台復校，戴運軌院長選擇成立地球物理研究所，作為中大發展的特色。同時也促成了兩位優秀的華人太空物理學家：趙寄昆教授與孟慶一教授，選擇到阿拉斯加大學研讀太空物理。趙寄昆教授在台灣中大與在阿拉斯加大學的經歷，也向磁鐵一般吸引了更多的華人太空物理學家到阿拉斯加大學與台灣中大進行太空物理相關研究。

- 其他名詞解析

- The vicinity of Earth (地球附近)

因為太陽風的特性（電漿平均密度、平均速度、平均溫度、磁場平均方向、亂流與波動的分佈特性、等等），會隨著距太陽的距離，以及日磁層緯度的不同而改變。因此我們常用vicinity of Earth來表示地球所在處（也就是日磁層赤道附近距離太陽1AU處）的太陽風環境。

- Collisionless plasma (無碰撞電漿)

因為太陽風在地球附近（vicinity of Earth）的電漿密度相當低，以致於電漿粒子平均大約要走1AU才會發生一次碰撞。也就是說，地球附近（vicinity of Earth）電漿的mean free path（平均自由路徑）約為1AU。因此人造衛星與太空船觀測到的太陽風可視為無碰撞電漿（Collisionless plasma）。地球磁層前方的Bow Shock（船震波）可視為一種無碰撞激震波（Collisionless Shock）。

2. 太陽風 (Solar Wind) :

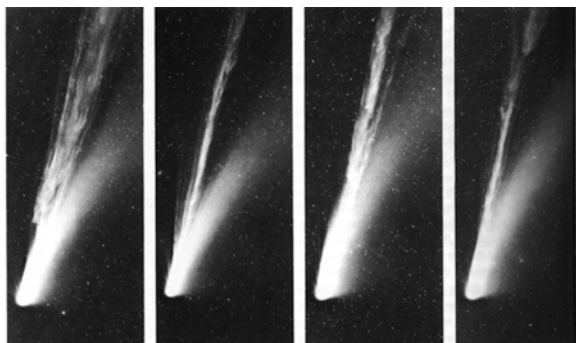
古時候西方的科學家很厲害，由彗星的彗尾得知行星際空間中有太陽風，由月蝕知道地球是圓的！（相形之下，中國人以為天是圓的、地是方的。所以圓的和氏璧是拜天的禮器。方的玉琮是拜地的禮器。）

- 歐特彗星雲帶的可能成因
- 彗尾有兩條：塵埃尾與電漿尾（或稱離子尾）
- 了解塵埃尾的成因。
- 了解離子尾的成因。
- 了解離子尾會因為太陽風中磁場不連續面掃過它而呈現斷裂或轉折結構。
- 以後有時間要教ion-pickup process in the comet tail

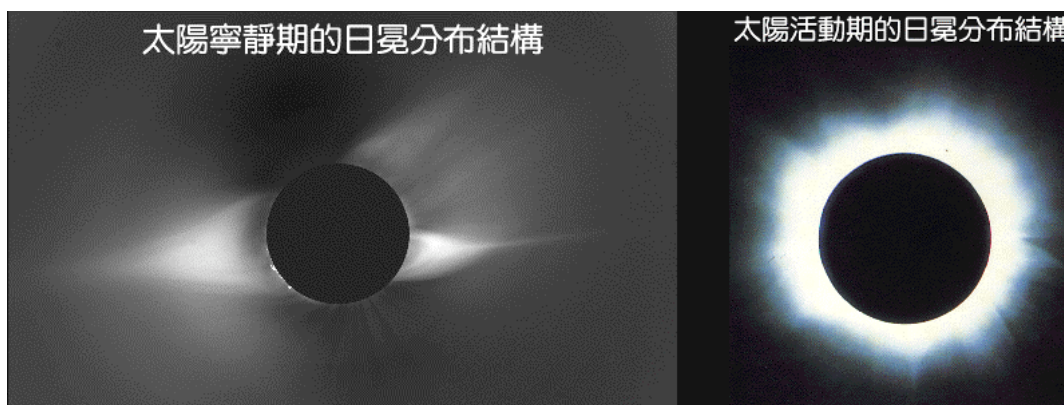
了解太陽表面有日冕與日冕洞區域。由古文明中描繪太陽的方式，就可以知道這個古文明的人們是否見過日蝕。通常他們會把日蝕時所看到的日冕結構，畫在太陽圖案四周或兩側。了解日冕的分布情形會隨太陽週期不同而改變。日冕與太陽風都是太陽大氣的延伸。



Comet West



Magnetic disturbances in the solar wind can lead to perturbations on the plasma tail or even lead to broken and detachment of the plasma tail.



3. 太陽風的成因：

- 了解什麼是【不可壓縮流體】、什麼是【可壓縮流體】
- 了解 $(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla)T(x,t)$ 的物理意義
- 了解為何不可壓縮流體流線密集處流速比較快。同理磁場線密集處磁場比較強。
- 了解為何不可壓縮流體，流線截面積減少時，流速會增加。(水管中的水流)
- 由高速公路的車流情況了解：可壓縮流體，流線截面積增加，流速反而增加。
- 日冕附近的太陽磁場為dipole field可以抓住很多太陽表面浮上來的電漿。故比較明亮。
- 沒有日冕的區域叫做日冕洞。日冕洞所cover的區域隨著太陽活動cover的區域增加而減少。
- 日冕洞附近的太陽磁場延伸到浩瀚的行星際空間。太陽表面浮上來的電漿因此可以恣意的向外擴張。由於由日冕洞出來的流線截面積增加，因此流速也會增加。(當然還有其他的加速機制，以後再慢慢談。)
- 由日冕洞出來的電漿為平均密度低(約 $<1\#/c.c.$)的高速太陽風(約 $600\sim 800\text{km/s}$)。
- 由日冕溢出來的電漿為平均密度高(約 $>10\#/c.c.$)的低速太陽風(約 $300\sim 200\text{km/s}$)。

4. 太陽風中的低頻電場：

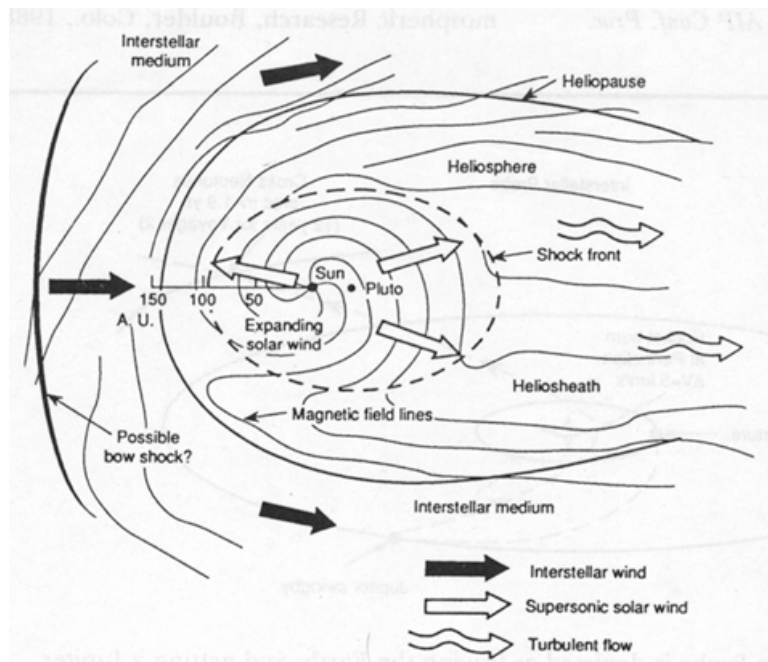
- 了解若不考慮相對論效應，則以不同速度移動的慣性系上，所觀測到的磁場都相同，但是電場不同。也就是 $\mathbf{E}^* = \mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B}$ ，其中
 \mathbf{E}^* 表示跟著被觀測者一起動的moving frame 上所看到的電場，
 \mathbf{V} 表示觀測者看被觀測者的運動速度，
 \mathbf{E} 表示在觀測者的moving frame 上所看到的電場，
 \mathbf{B} 表示觀測者與被觀測者所看到的磁場。
- 低頻磁流體（magnetohydrodynamics, MHD）現象中的歐姆定律為 $\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} = 0$ ，故在Solar wind moving frame所觀測到的太陽風中的低頻電場為 $\mathbf{E}^{SW*} = 0$
在Earth moving frame所觀測到的太陽風中的低頻電場為 $\mathbf{E}^{SW} = -\mathbf{V}^{SW} \times \mathbf{B}^{IMF}$

5. 太陽風中的低頻磁場（平均磁場）：行星際磁場Interplanetary Magnetic Field (IMF)

- 了解磁場單位Tesla (T), Gauss (G), gamma(γ), nanoTesla(nT)之間的換算
- 太陽表面大部分區域的磁場強度約10G~100G。太陽黑子附近的磁場強度約數千高斯。
- 太陽黑子附近的磁場很像一個dipole field。（將要仔細學dipole field的各種特性）
- dipole field的磁場強度隨距離三次方遞減（與 $1/r^3$ 成正比）。
- 可是地球附近的IMF磁場強度顯示太陽表面的磁場向外遞減情形約與 $1/r^2$ 成正比，為什麼？
- 原來地球附近所觀測到的行星際磁場（IMF）主要的generating source並不是在太陽表面，而是太陽風中的電流片！
- 太陽風中的電流片呈現波動結構，像鼓面上的波動。當它掃過地球時，地球會一陣子位在電流片上方的磁場，一陣子又位在電流片下方。因此地球附近的行星際磁場（IMF）呈現電風扇葉似的 sector 結構。通常一塊sector中的磁場朝向太陽，下一塊sector中的磁場就遠離太陽。兩個sector的邊界就是太陽風中的電流片。
- 要了解太陽風中電流片的成因，不如先來了解地球磁層中電流片的成因。

6. 太陽風中的激震波

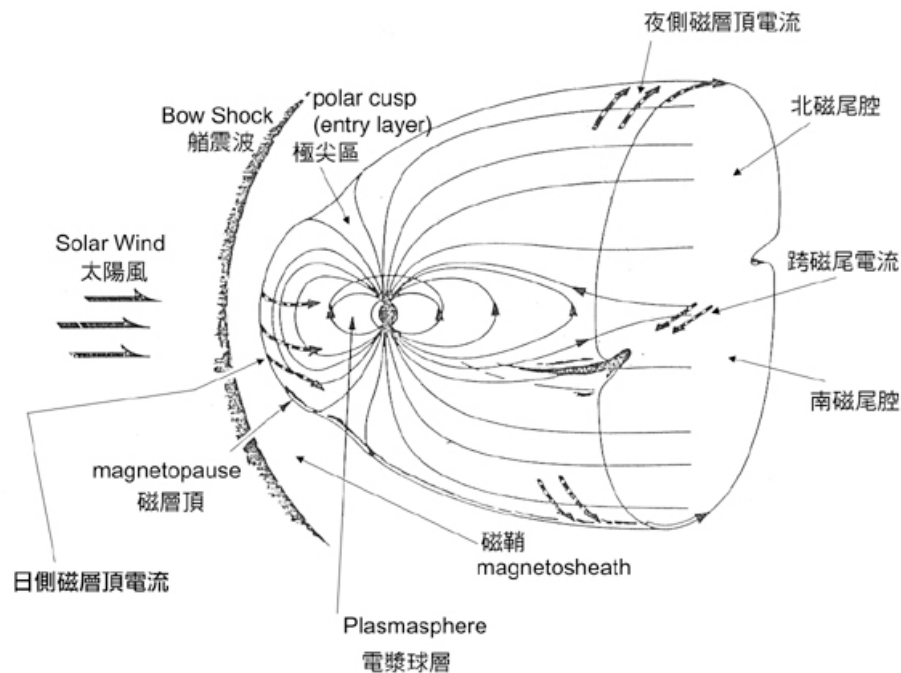
- 了解什麼是激震波Shock wave
- 了解什麼是馬赫數Mach number
- 了解什麼是Mach cone
- 認識日磁層（heliomagnetosphere或簡稱heliosphere）
- 認識日磁層頂（heliomagnetopause或簡稱heliopause）
- 認識太陽風的終止震波Termination shock。（Voyager 1 being passed by the solar wind termination shock at 94AU on December 16, 2004.）
- 太陽風的終止震波Termination shock的成因。
- 了解（疾風）wind and （徐風）breath之間的不同。
- Solar wind turns into solar breath after it cross the termination shock.
- 了解跨越激震波時流體的密度、速度、溫度、熵的變化情形。
- 了解太陽風中有很多種激震波以及形成激震波的機制（以後再慢慢仔細的談）。



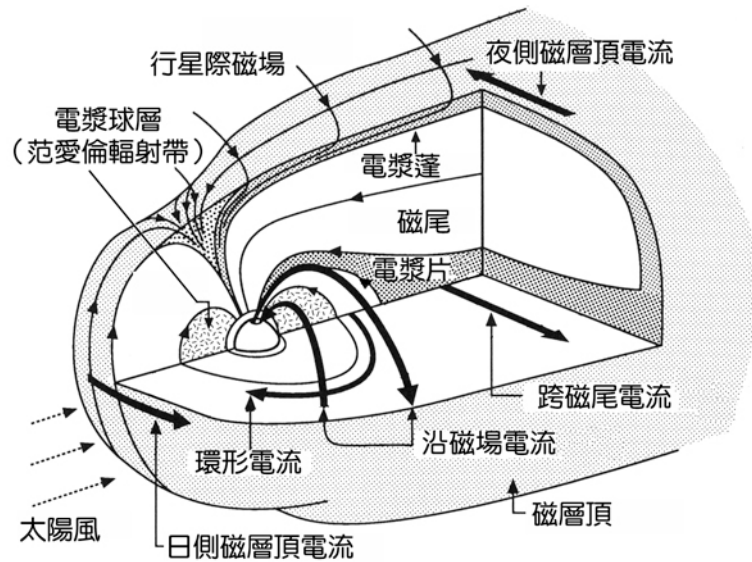
圖一、太陽日磁層之黃道面上的剖面圖。虛線表終止震波的可能位置。太陽風穿過終止震波後，速度降為次磁音速。

7. 地球磁層基本結構

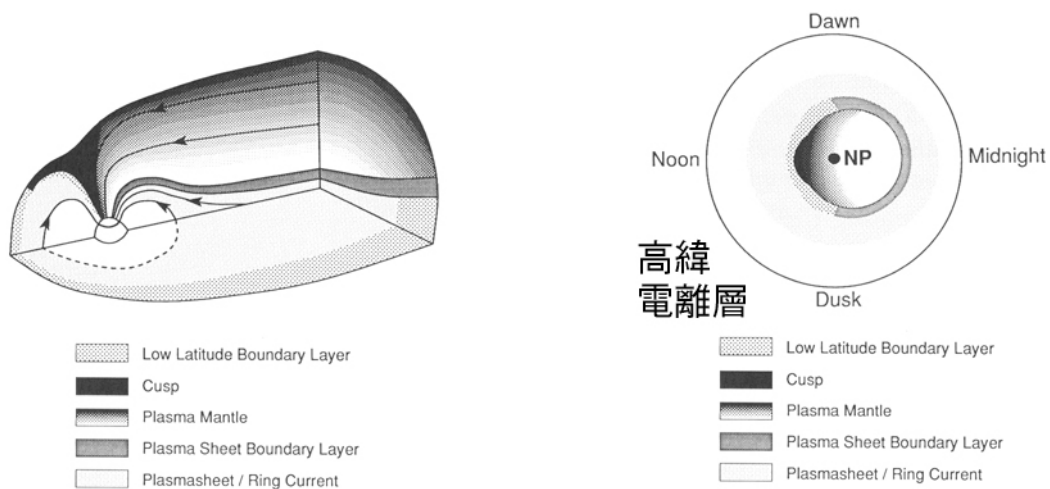
- 了解描述地球磁層常用的座標系(GSM coordinates and SM coordinates)
- Magnetosphere 磁層
Magnetotail 磁尾
plasma sheet 磁尾電漿片
tail lobe (north lobe, south lobe) (北、南)磁尾腔
plasmasphere 電漿球層, plasmapause電漿球層頂,
Van Allen radiation belt (inner radiation belt, outerradiation belt) 范愛倫輻射帶
PSBL (plasma sheet boundary layer) 電漿片邊界層、
LLBL (low latitude boundary layer) 低緯邊界層、
HLBL (high latitude boundary layer) 高緯邊界層、 cusp or cleft極尖區
- Magnetopause磁層頂、 Magnetosheath磁鞘、 and Bow Shock船震波
- ring current環型電流、 diffuse aurora擴散極光、 discrete aurora分立極光



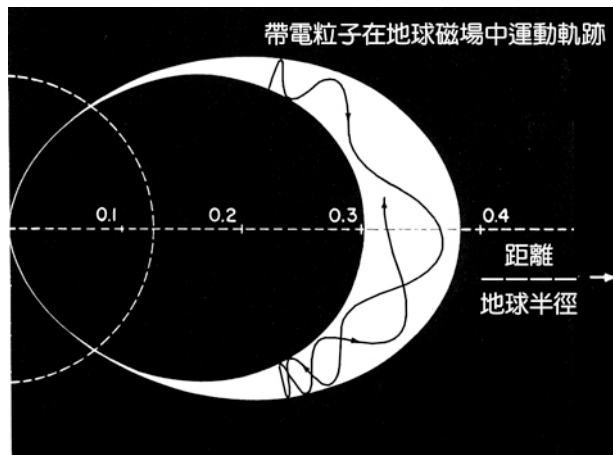
圖二、地球磁層、磁鞘、與船震波之分布。



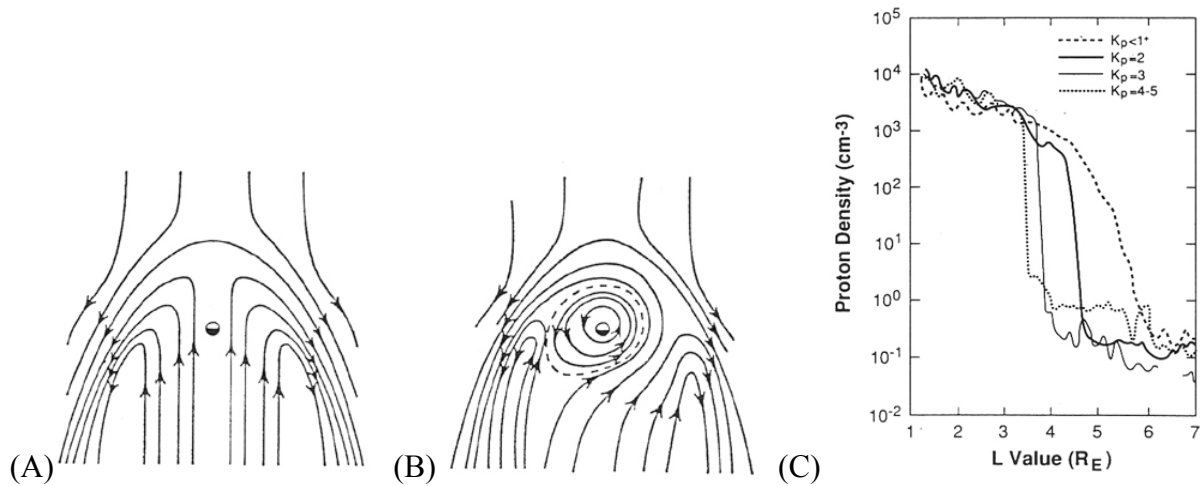
圖三、地球磁層頂內部的磁層結構。



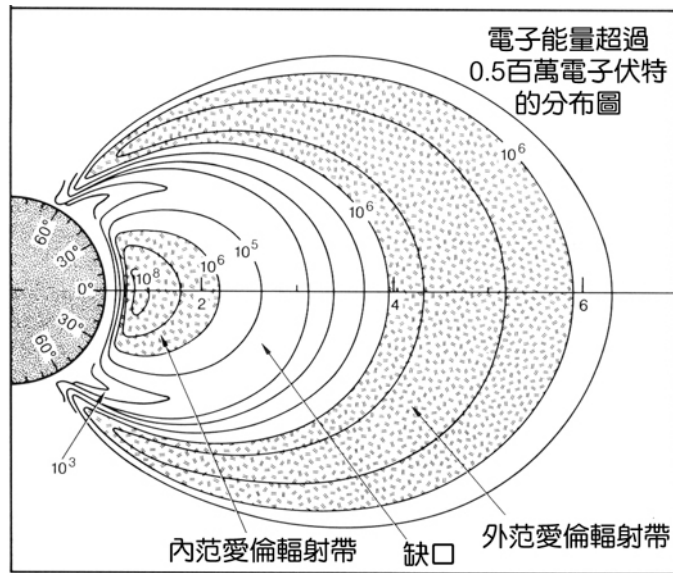
圖四、(左圖) 地球磁層中的各種邊界層。(右圖) 磁層中的各種邊界層，沿磁場線，在高緯電離層的投影位置與分布情形示意圖。太空科學家，可以像中醫把脈一樣，藉著在地面觀測沿磁場線，傳來的各種訊息，設法了解整個磁層，尤其是各個邊界層中的變化。



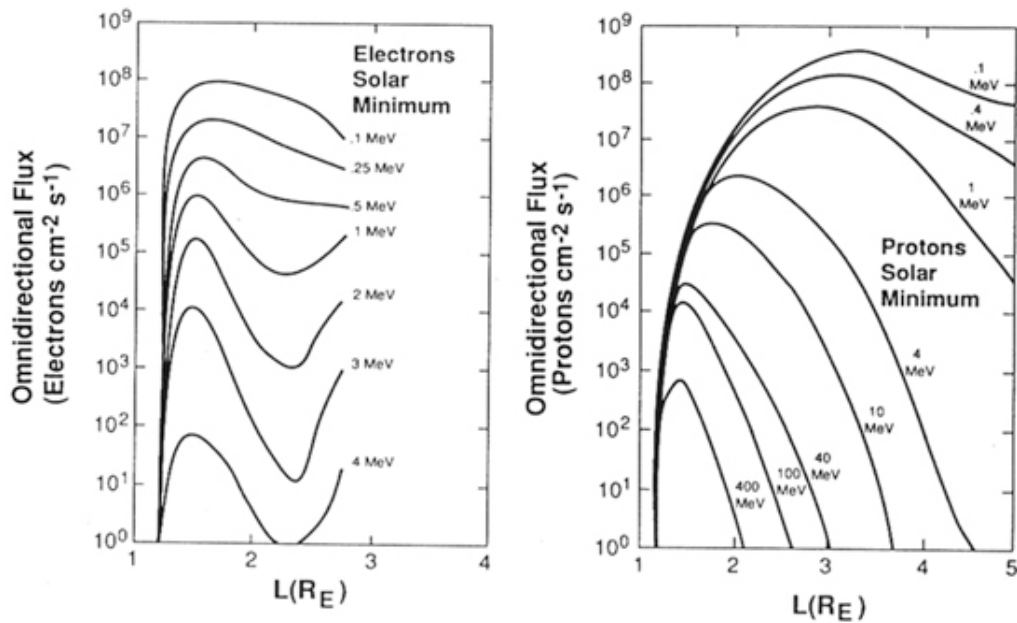
圖五、Bounce motion (or mirror motion)



圖六、(A) 表示不考慮地球自轉效應，只考慮太陽風吹過磁尾兩側，在磁層赤道面上造成的環流結構。(B) 表示若加上地球自轉效應，則在靠近地球附近的磁層赤道面上，會產生一圈電漿環流，繞著地球兜圈子，而不會流失到廣大的磁尾空間中。圖中虛線圈內的區域，即為電漿球層在赤道面上的投影。(C) 顯示在不同 K_p 值時，電漿球層內外電漿密度分布情形。密度梯度最大處為電漿球層頂。圖中顯示電漿球層頂的位置，隨著 K_p 值增加而內移，梯度也增加。



圖七、內、外范愛倫輻射帶的空間分布情形。



圖八、范愛倫輻射帶中的高能電子與高能質子，在不同L值的磁場線上的分布情形。內、外范愛倫輻射帶的分野可由高能電子的分布圖看出來。其中， $L = 4$ 的磁場線，表示該磁場線通過磁赤道時，距離地心4個地球半徑。