

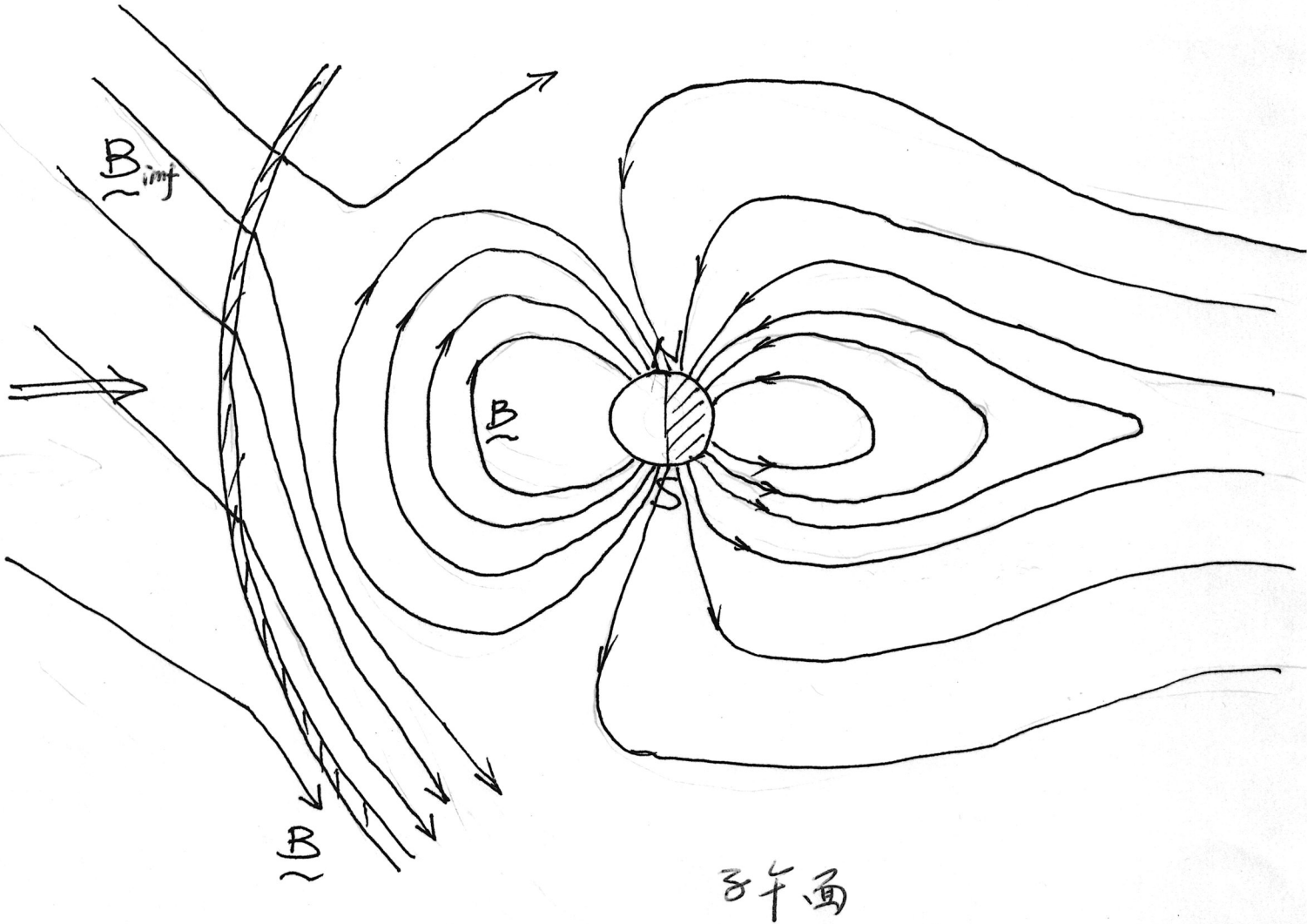
## 太空科學簡介

### A. Space Science (太空科學, 空間科學)

1. 觀測、研究地球外太空的現象。
2. 利用外太空微重力條件，執行物理、化學、生物、醫學等實驗。

### B. 地球外太空的內涵

1. 恆星、行星、小行星、彗星、隕石、碎片。
2. 電漿(等離子物質)、宇宙線、高能粒子。
3. 磁場(磁力線)。
4. 最主要的研究地區：太陽系內的現象。



### C. 早期觀測

1. 中國文獻有記載 2000B.C.前，觀測日蝕、彗星、北極光的現象，11 世紀時已知道指南針的指向。
2. 西洋文獻的記載，則是在 1570 年間的北極光的記載。Edmund Halley 也在 1776 年才看到北極光後，提出北極光是沿地磁力線發生。
3. 地球是磁石，是 William Gilbert 在 1600 年出書描述的。其後 Henry Gellibrand 及 Edmund Halley 有觀測出地磁方向是有變化的。
4. 1722 年 George Graham 及其後的 Anders Celsius 及 O. Hiorter 執行有系統的地磁的日夜變化的觀測。
5. Galileo Galilei 在發明望遠鏡後，就開始觀測太陽黑子的變化。到 1851 年才確認 11 年週期的變化。
6. 1859 年 Richard Carrington 觀測到太陽磁暴及地磁變化的關聯，開始有日、地太空科學的研究。雖然 1882 年 Lord Kelvin 極力否認太陽磁暴與地磁變化的關係。
7. 地磁的變化，在 1882 年被 Baltoun Stewart 認為是因為在大氣層外有電流通過。
8. 在 1902 年，A. E. Kennelly 及 O. Heaviside 各自發表地表外有導電層的存在。結果在 1925 年，才由 E. V. Appleton 與 M. A. F. Barnett 在英國以及其後 G. Breit 與 M. A. Tuve 在美國以電波反射方法共同驗證 Kennelly-Heaviside 層的存在。
9. 在 1912 年，Victor F. Hess 在高空氣球上以 electroscope 驗證帶電的宇宙射線的存在。依據挪威科學家 Carl Stormer 的理論推算，地球外太空應有大量的帶電粒子的存在。
10. James A. Van Allen 在 1958 年的 Explorer I 的 Geiger-Muller tube 中證實外太空高能帶電粒子的存在，後來命名為 Van Allen Belt。

### D. 太空電漿 (Space Plasma)

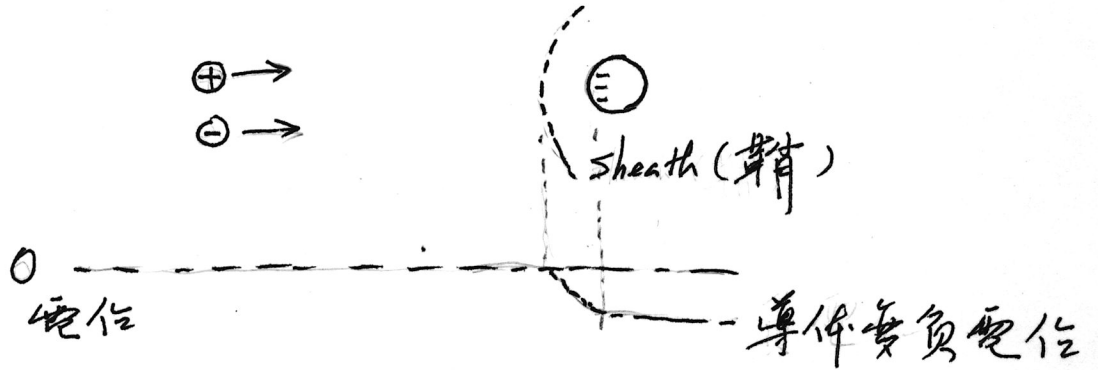
1. 定義：由一大群帶正、負電的粒子(正離子 ion，負電子 electron)組成。
2. 特性：要符合三大要點
  - (a) 電性中和： $n_i \approx n_e$
  - (b) 變化尺度要大： $L \gg \lambda_D$

$$\lambda_D (\text{Deby 尺度}) \equiv \left( \frac{k T_e \epsilon_0}{n_e e^2} \right)^{1/2}$$
$$= 11.95 \sqrt{\frac{T(k)}{n (1/cm^3)}} \text{ cm}$$

$$\approx 2 \text{ cm } (T = 1600 \text{ k}, n = 10^5 / \text{cm}^3)$$

(c) 電漿是具有非常高介電係數( $\epsilon \gg \epsilon_0$ )的物質，電漿中不會因有帶電物體而產生電場  $E$ 。電場只能存在帶電體距離  $\lambda_D$  內。

假如有一人造衛星突然進入電漿區，則



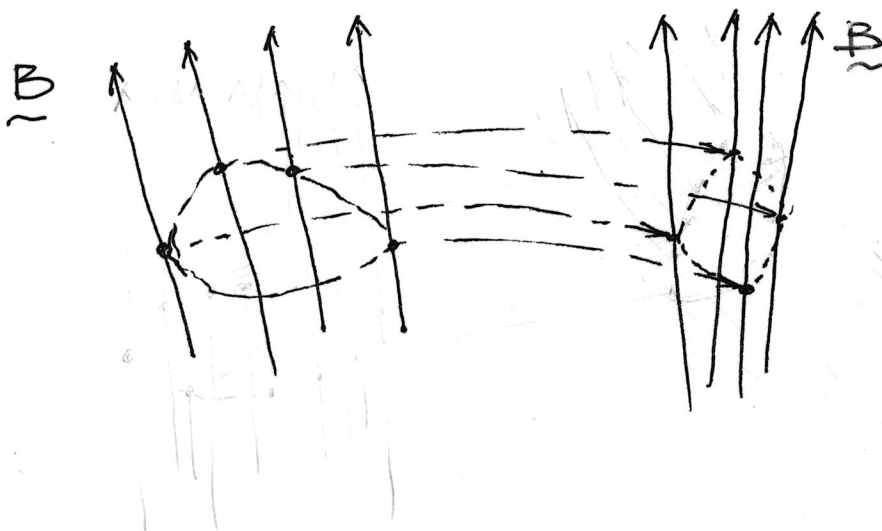
$$KT = \frac{1}{2}mv^2$$

電漿電位能的變化

(d) 有集合性的運動(collective motion)。電漿的整體運動為

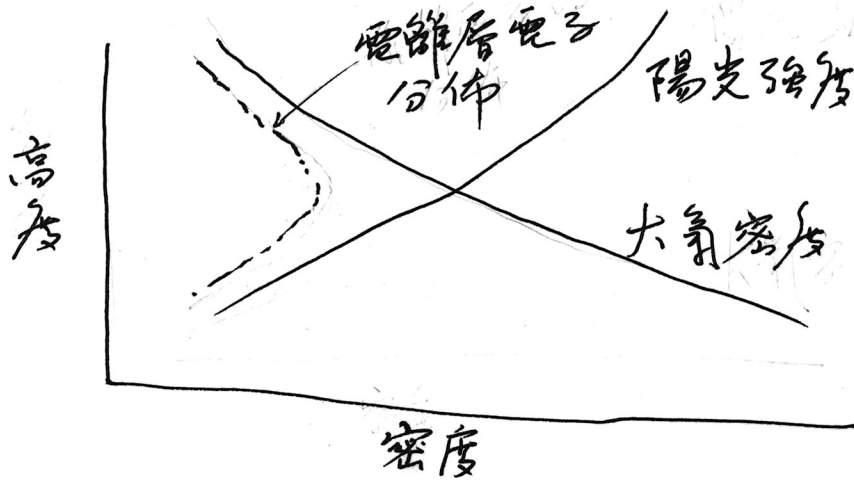
$$V = E/B$$

即所謂的凝凍(frozen-in)現象，也就是電漿附著在磁力線上一同運動。

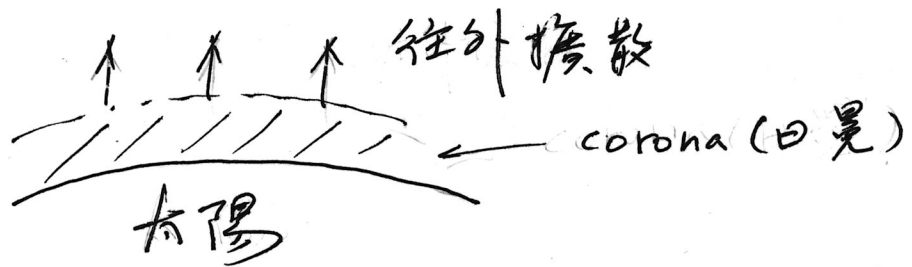


3. 產生方式：

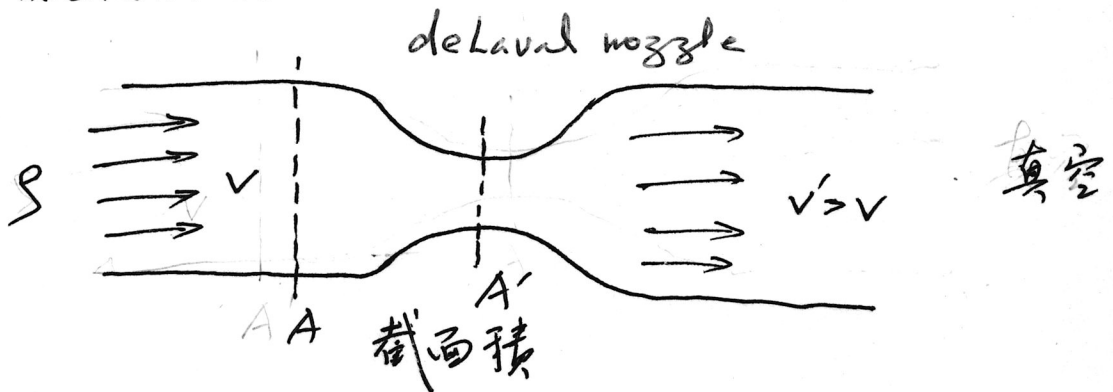
(a) 受光照 (電離層的產生)



(b) 受熱能 (太陽風的形成)



太陽風 (太陽電漿) 從太陽的大氣層 (corona, 日冕) 往外擴展，從低速變成超高速的原因是



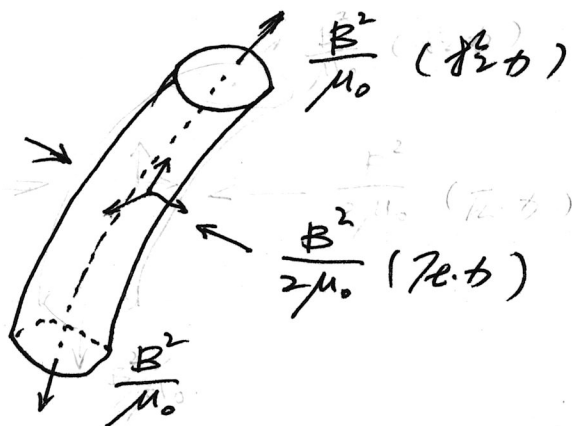
質量守恆： $\rho A v = \text{常數}$

Bernoulli 原理： $\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{常數}, (z=0)$

$$\Rightarrow \frac{\Delta A}{A} = \left( \frac{v^2}{C_s^2} - 1 \right) \frac{dv}{v}, \quad C_s = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta \rho}}$$

4. 與磁場的交互作用

(a) 磁場的特性 (B, 又稱為磁力線)



(i) 磁通量守恆 ( $\nabla \cdot \underline{B} = 0$ )

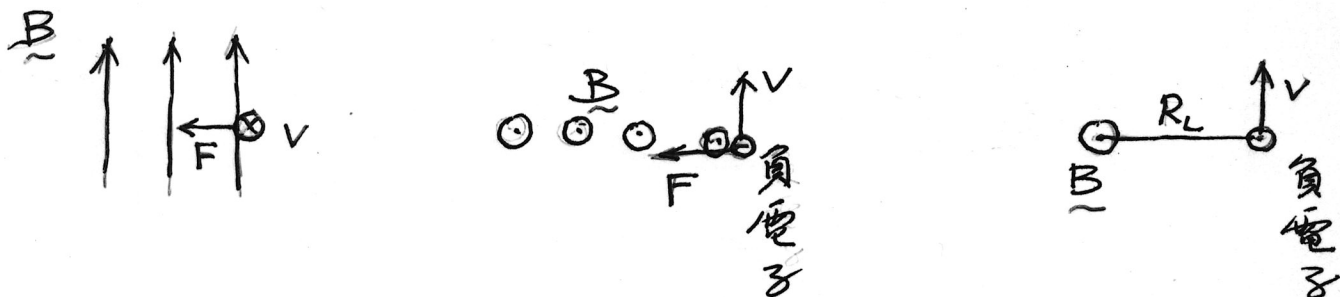
(ii) 磁壓 =  $\frac{B^2}{2\mu_0}$  (單位壓力)

(iii) 磁力線在空間的扭曲是由電流造成的。反之亦然。

$$\nabla \times \underline{B} = \mu_0 \underline{j}$$



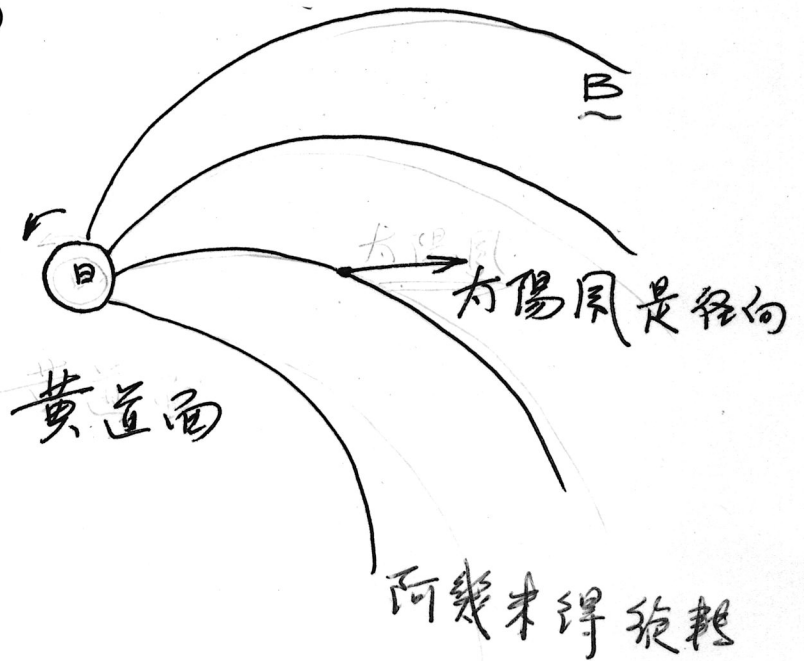
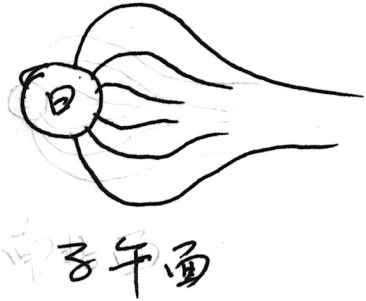
(b) 帶電粒子與磁場的交互作用



$$R_L = \frac{mv_{\perp}}{|e|B}$$

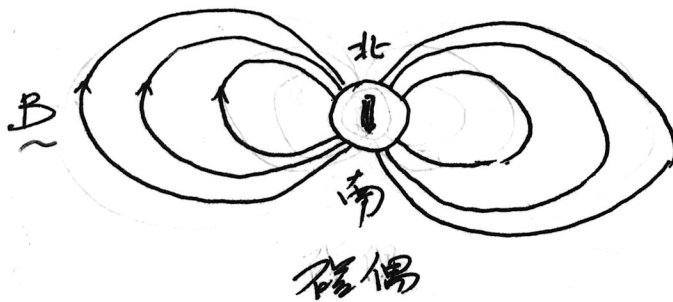
$$\Omega = \frac{|e|B}{m}$$

E. 太陽磁場的延伸(行星際間的磁場)



F. 地球磁層(magnetosphere)的產生

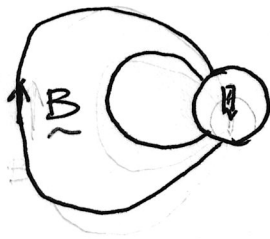
1. 地球磁力線在真空



在真空中可以無限延伸

2. 受太陽風的擠壓

太陽風  
 $\Rightarrow$   
 $\frac{1}{2} \rho v^2$   
 $\frac{1}{2} \rho v^2$

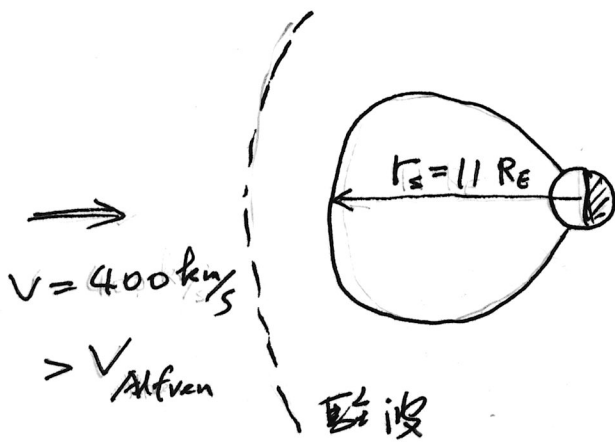


$$2 \cdot \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = \frac{2B^2}{\mu_0}$$

$$B \propto \frac{1}{r^3} \Rightarrow r_s = \left( \frac{2B_E^2}{\mu_0 n m v^2} \right)^{1/6}, R_E$$

$$r_s = 10.8 R_E, \text{ when } n = 10 \text{ protons/cm}^3, v = 400 \text{ km/s}$$

### 3. 駐波的形成 (standing shock)

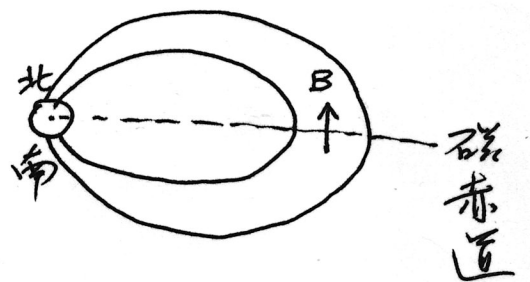


$r_s \gg$  特微長

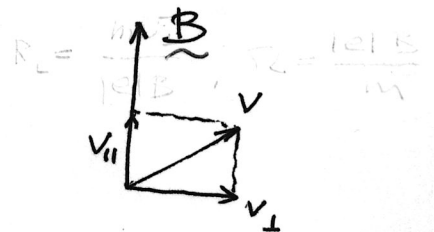
### G. 單一帶電高能粒子在磁層內的運動 (Van Allen Belt, Ring Current)

磁場類似靜態的地球磁場，無電場的存在，所以粒子動能守恆，

$$v^2 = v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2 = \text{常數}$$

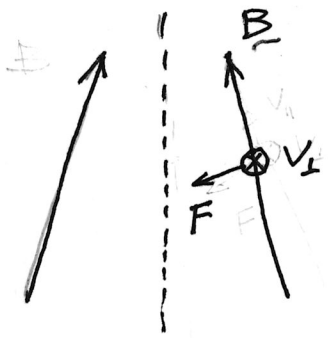


### 1. 繞磁力線的運動 (gyro motion)

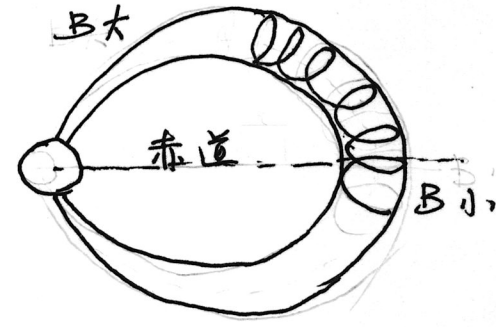


2. 沿磁力線上下來回運動(bounce motion)

$$B \propto \frac{1}{r^3}$$



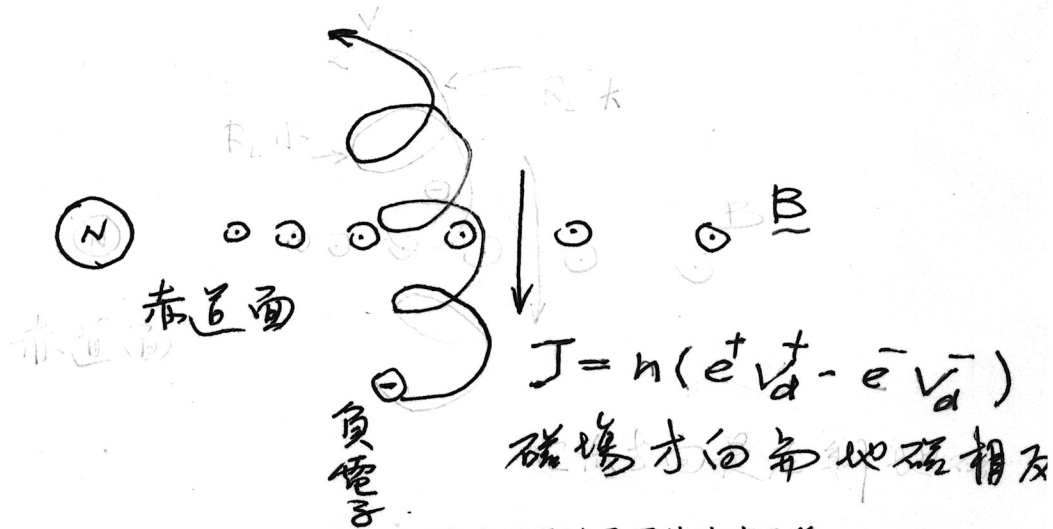
負電子為例  
 $F \perp B$   
 $F_{\parallel}$  與  $v_{\parallel}$  方向相反  
 $v_{\parallel}$  減少,  $v_{\perp}$  增加



$v_{\parallel}$  最後變零, 負電子反彈回來

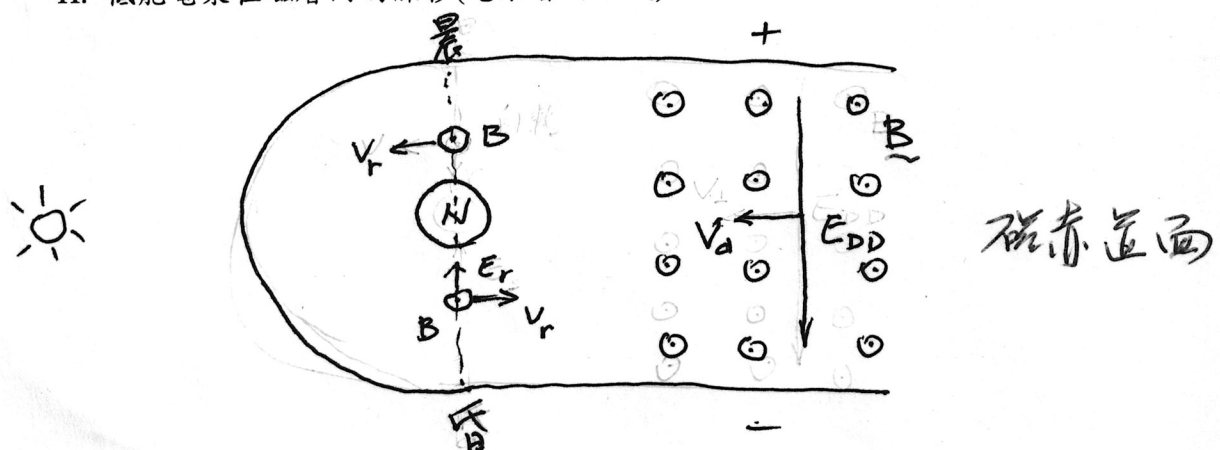
$\therefore v_{\parallel}$  越來越小, 最後變零。但  $F_{\parallel}$  還存在, 所以粒子就迴轉。

3. 繞地球作東、西向的漂移(drift motion)



1+2+3 就是 Van Allen 量測到的 Van Allen belt, 所產生的電流是環繞地球又稱為 ring current。

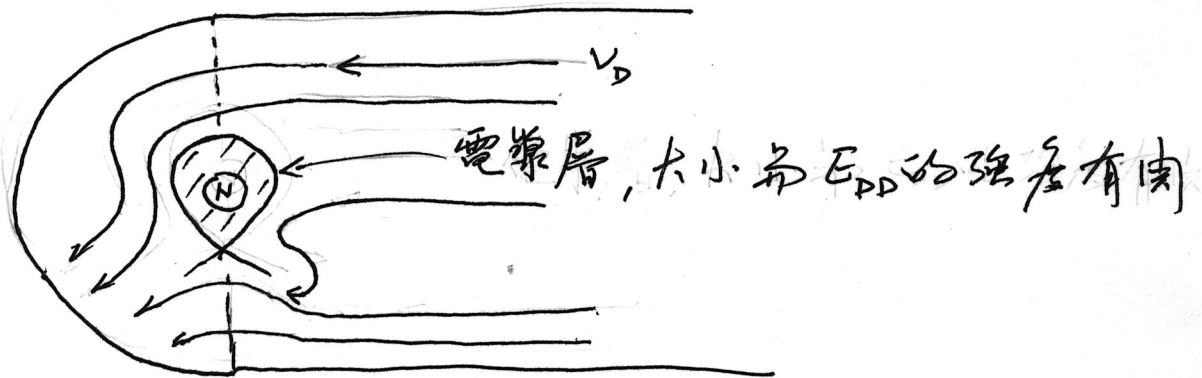
H. 低能電漿在磁層內的漂移(電漿層的形成)





$v_D = E_{DD} B$ , 方向垂直  $E_{DD}$  及  $B$  (不分電子或質子)

$v_{\perp}$  的漂移就是等電壓線。靠近地球處， $E$  場可由地球自轉，帶動電漿而產生近地電場。結果是低能電漿的漂移產生下圖

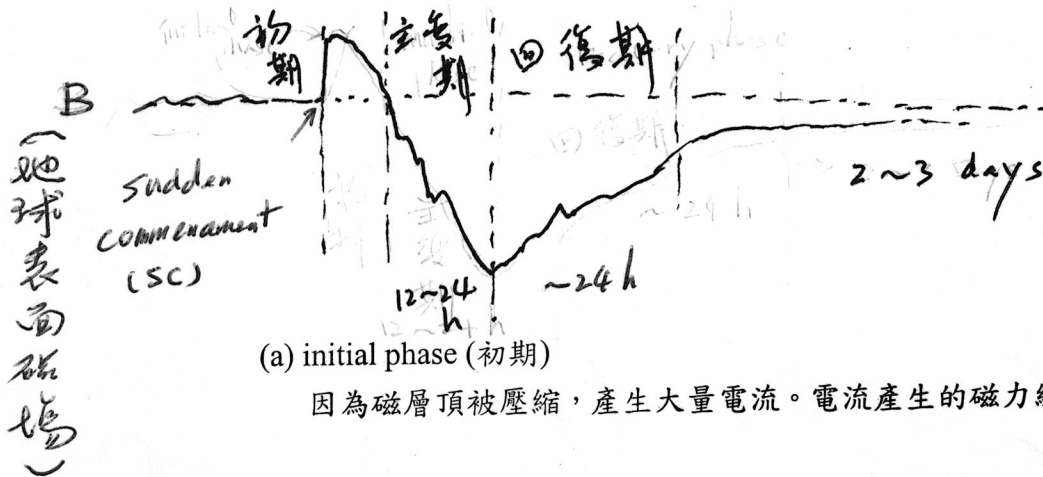


I. 日地關係(磁暴的產生及觀測)

1. 太陽閃爍(solar flare)、日冕拋射物(corona mass ejection, CME)  
太陽噴出大量電漿，太陽風變強，動能大增。
2. 磁層被壓縮，磁層頂靠近地球。



3. 赤道附近的磁量計，量測磁通量的變化。



(a) initial phase (初期)

因為磁層頂被壓縮，產生大量電流。電流產生的磁力線是向北。所以有

initial phase 的產生。

(b) main phase (主變期)

磁暴初期後，產生大量的環繞地球的高能粒子，這些粒子產生 ring current，所以有磁暴主變期的產生。

(c) recovery phase (回復期)

高等粒子逐漸進入大氣層，所以隨著 ring current 的消失，磁暴的地磁變化逐漸回復正常。

4. 電漿層的變化

電漿層因為  $E_{DD}$  的增強，也變小。