

超導體太空器具防護網

林柏青* 蘇長慶 張皓媛 余振愷 黃俊傑 江哲安

臺北市私立復興實驗高級中學

壹、前言

超導體的應用非常廣泛，我們想將超導體中的磁場特性應用在太空器具防護上面。此篇論文得到了成功大學所主辦的 2011 全國高中生超導體論文競賽的金牌獎，我們希望將超導體的創意發想在更多的相關領域中，本篇論文就是將超導體應用在保護太空中的器具。

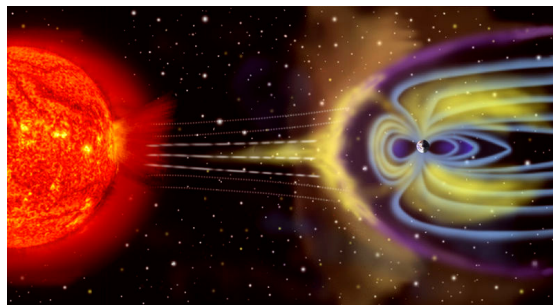


以上兩幅照片是在會場與頒獎中與吳茂昆院士合影留念

*為本文通訊作者

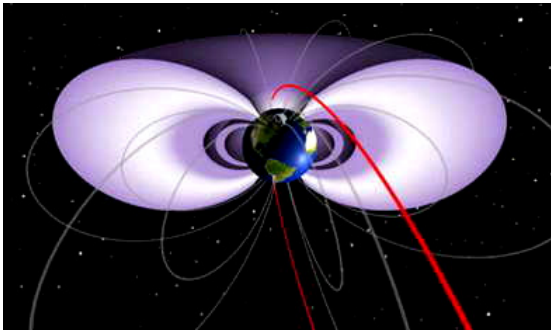
貳、研究動機

「太陽會向外噴吐一波波的電磁輻射，並會噴發日冕物質拋射（CNE）。其衝擊波抵達時，它們會引發靜電放電與地磁風暴，干擾或甚至中斷電子器件的操作。」這將是 2013 年太陽極大期太空器具會受到的影響。得知這個比賽時，正好是科學家宣布將有太陽風暴來襲的時期，我們因而有了太空防護裝置的想法，當時新聞紛紛報導，若太陽風暴真的來襲，有可能造成通訊全面中斷，將會是人類文明的一場浩劫，我們不禁思考如果改變將原本穿過太空器具的電離子的運動軌跡，將其引導至其他處。再加上太空中的溫度有機會使超導體進入超導狀態。超導體可以產生比地球磁場更大的磁場，強制引導離子遠離原本的運動軌跡，也許能讓太空器具免於受到電離子的傷害。



太陽風簡介:太空中的氫氣和氦氣在日冕的高溫下，大多會游離成帶正電的

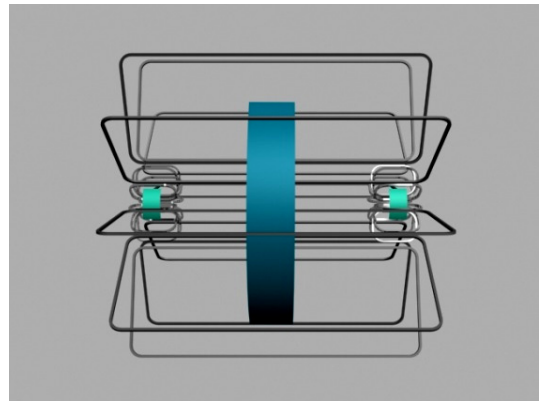
氫、氦原子核和自由電子。有些帶電粒子會脫離太陽引力束縛而以極快速度衝向地球，造成地球磁層遭到擠壓，影響到地球上的通訊；在太陽極大期，太陽風的規模較大，爆發帶電粒子的次數也較多。太陽風主要是由 75% 的氫和 25% 的氦組成，會帶來大量輻射，范艾倫輻射帶能擋下大部分被地球磁場俘虜的粒子，但還是有部分粒子未被阻擋而直接襲擊地球，進入太陽極大期時，地球上的電子儀器將有可能會被破壞。



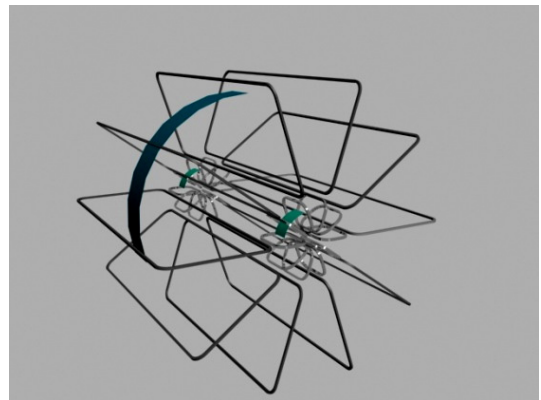
參、研究裝置簡介

我們在太空器具外面設置三個大小不同的超導線圈環(圖一)。三個超導線圈環分別都是用超導線圈圍成圓形，形成封閉磁場(圖二)。在超導線圈上加裝太陽能板，以便供給線圈形成磁場的電力。最大的超導線圈環將太空器具整個包裹住，但是如此一來，頭尾兩端便會形成空洞，電離子有可能從洞中穿越。因此，我們在頭尾各加裝一相同大小的超導線圈環，使得太空器具將被磁場包覆。超導線圈被固定在太空器具上。因此，磁力防護網將跟隨著太空器具移動，達到無時無刻、隨時隨

地防護的目的。



圖一



圖二

肆、研究原理

超導狀態是指「導體的電阻為零」的現象，雖然超導體得在低溫才可作用而使其發展受限，但其高能量密度、省能源、低發熱、高靈敏度等特性仍是其他材料無法比擬的。當溫度低於其超導轉變溫度(或稱臨界溫度 T_c)時，它具有以下兩種特性：零電阻以及反磁性。

一、零電阻

是指電流通時無阻力的現象，也就是產生永久電流(persistent current)，但在超導體內引發的電流，有其上限(稱臨界電流)，超過此上限，超導態立即消失。當溫度高於其 T_c 時，超導體表現出一般導體或半導體之特性，此時仍有電阻產生；但溫度降至 T_c 以下時，電子在結構中運動完全不會受到晶格之影響，亦即電阻完全消失，此種現象即稱為零電阻。

二、反磁性

是將進入超導態的超導體放入磁場中，會將其內部的磁場完全排除，其內部磁通量(magnetic flux)保持為零。因此，若將一超導體放在一個普通的磁體上方，則會因排斥作用而懸浮在空中。超導體在溫度高於其 T_c 時，其外加磁場可自由穿過其內部，亦即超導體內部可有磁場存在；但溫度低於 T_c 時，則超導體內之磁場便全被排出其內部，成為一零磁場狀態，即為反磁性(Diamagnetism)。

伍、考慮因素

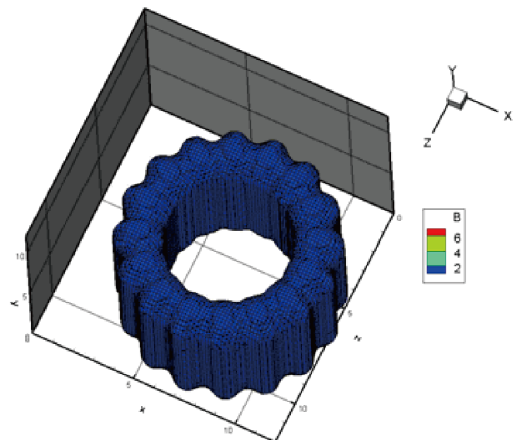
一、溫度

其實太空中物體的溫度要取決於它所吸收的輻射熱，例如，把一個既能吸收輻射，又能散發輻射的物體放在相當於地球到太陽的距離，其溫度將達到 280K (約 7°C)，如果擋住太陽對這個物體的輻射，該物體的溫度大約為 5K (約零下 268°C)，如果遠離一切恆星和星系的能量源，這個物體溫度約為 2.7K (約零下 270°C)。宇宙

飛船和宇宙飛行器的外表溫度往往會略高於 280K (約 7°C)，這是因為有太陽的輻射和它們內部產生熱能的緣故。故我們在超導體外增設一管線，管線內放置液態氦，並設置回收裝置，以維持超導體臨界溫度。

二、磁場形狀

我們採用圓形線圈的而不用方型的原因，是因為圓形和方形若要產生相同大小、形狀的磁場，圓形所需的圈數可以遠小於方形，且向外透出的磁力線能夠大幅降低，能夠將外露磁力線影響到太空器具的風險降到最低，形成一完整的封閉磁場。



三、控制裝置

我們之所以要裝設開關裝置，不使它永久開啟，是因一旦啟動裝置，超導的磁場可能會產生強大干擾，造成通訊中斷，而我們的目的只是防護太空粒子撞擊，因此只要在特定時間啟動超導防護裝置即可。



四、如何固定

太空器具包含太空梭、人造衛星、太空站...等等。如果需要固定在太空梭上，仍然需要先行放置在貨艙內，待發射後在行於太空中展開。在太空梭上採用絕緣且強韌的線綁在兩翼。若要固定在人造衛星上，則只要於發射時放置於與人造衛星運行相同軌道，即可與人造衛星同步運行，達到保護人造衛星的效果。



五、太陽能蓄電池

由於人造衛星運行時會有向陽面和背陽面，我們想利用當人造衛星運行到向陽面時，裝設的太陽能電池能儲存這些能量，用於啟動電流和超導裝置。另一方面，使用太陽能做為能源，也可維持穩定的供應，省去運行一段時間後可能供電不足的問題。



六、實驗驗證

實驗目的：利用電子的電荷與質量比實驗儀，了解電離子受到磁場影響後，運動軌跡是否會偏折而產生改變。

實驗器材：電子的電荷與質量比實驗儀

實驗步驟：

1. 將儀器的加速極電壓加至氬氣產生之藍色電子束明顯可辨。
2. 開啟偏轉板電壓，觀察並記錄電子束偏折方向。
3. 關閉偏轉板電壓，開啟亥姆霍茲電壓值，使亥姆霍茲線圈(圖中白色圓圈)產生磁場。
4. 旋轉玻璃球，觀察並記錄電子束在固定磁場中不同射出角度的運動情形。

實驗結果：(圖三～圖九)



圖三、未開啟偏轉板電壓，電子束正常未偏折



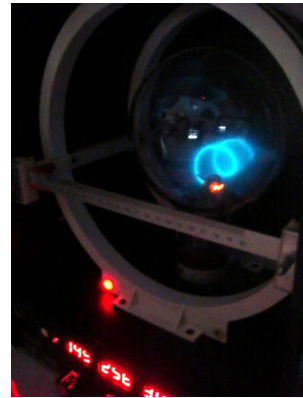
圖四、開啟偏轉板電壓產生一磁場，電子束向上偏折



圖五、開啟亥姆霍茲電壓，產生磁場，當磁場方向與電子束方向垂直，電子束成圓周運動



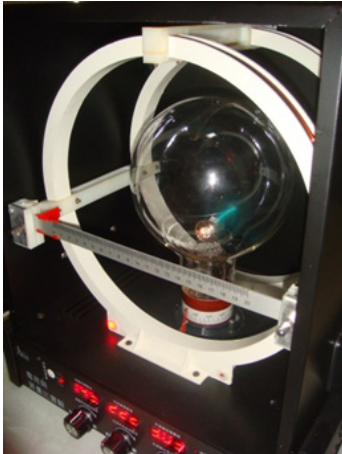
圖六、增強亥姆霍茲電壓，產生的磁場變大，當磁場方向與電子束方向垂直，電子束因偏折程度增加，圓周運動的半徑縮小



圖七、開啟亥姆霍茲電壓，產生磁場，當磁場方向與電子束方向不為 90 度，電子束受到磁力的兩向分力影響，呈螺旋型運動



圖八、開啟亥姆霍茲電壓，產生磁場，當磁場方向與電子束方向不為 90 度，且電子束強度減弱時，磁場強度相對較大，電子束仍呈現螺旋型運動，但偏折程度增加，螺旋半徑變小



圖九、開啟亥姆霍茲電壓，產生磁場，當磁場方向與電子束方向互相平行時，電子束不產生偏折

陸、結論

綜合以上分析討論及實驗驗證，我們的研究結論：

- 一、利用磁場來控制電離子的運動軌跡是可行的。
- 二、磁場的強弱、與電子的交角將影響到電子的運動軌跡。
- 三、只要太空溫度可到達臨界溫度，配合穩定的溫度控制產生出強大磁場的建立將是可行的，防護電離子並非難事。

因此，只要太空器具上裝設本裝置，即可防護大部分穿越太空器具的電離子，

由此一來我們就不必擔心太空器具遭到太陽磁暴破壞的情形。

參考文獻

- 曾煥華（編譯）（1984）。超導體的世界。銀禾文化事業有限公司。
- 歐陽鐘仁（編譯）（1987）。超導體的震撼。禮記出版社。
- 林振輝（編譯）（1987）。超導體革命。牛頓文庫。
- 何建民（編著）（1996）。低溫、超導、磁浮。台灣書局。
- American Rocket Society (1962). LEVY,; REPLY TO WILLINSKIS COMMENT ON RADIATION SHIELDING OF SPACE VEHICLES BY MEANS OF SUPERCONDUCTING COLIS.ARS journal,32,787.
- J. Christopher Sussingham& Seth A. Watkins & F. Hadley Cocks(1999). Sussingham,: Forty Years of Development of Active Systems for Radiation Protection of Spacecraft. The Journal of the astronautical sciences, 47 (3-4),165-175
- Robert A. English, Kelsey-Seybold Clinic, Richard E. Benson,J. Vernon Bailev, and Charles M. Barnes. MSC(1973). “Apollo Experience Report— Protection AgainstRadiation.”NASA, Washington DC, NASA TND-7080, p.2
- Fisher, P., J. Hoffman, F. Zhou, O. Bataishchev (2004), Superconducting Magnet Shielding of Astronauts from Cosmic Rays”, APS Bulletin, 49 (8),261
- Fisher, P., J. Hoffman, F. Zhou, O. Bataishchev(2005), “Use of Superconducting Magnet Technology for Astronaut Radiation Protection”