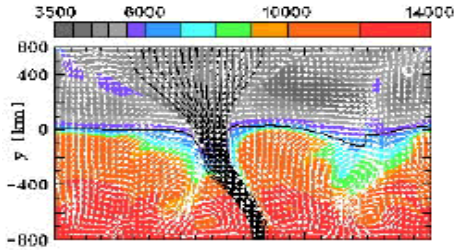


Manyetik Akı Tüpleri

Burcu Beygu

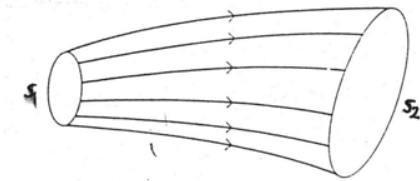
İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi
Fizik Bölümü

Güneş atmosferindeki olayların doğrudan gözlemlenmesine karşın, güneşin manyetik alanı ve bunun sonuçlarına ilişkin modeller, dolaylı gözlemler (örneğin gelen ışığın polarizasyonunun çözümlenmesi) ve bir takım varsayımlarla yapılmaktadır. Güneşin atmosfer tabakalarında plazmayı kontrol eden ve buna bağlı olarak çok çeşitli yapı ve olayların oluşumuna neden olan manyetik alan, fotosfer altındaki daha yoğun derin tabakalara (konveksiyon bölgesi) gömülüdür. Bu tabakalarda alan çizgileri plazmanın kontrolü altında hareket ederler (donmuş alan çizgileri). Burada şartlar manyetik alan etkisi dışındadır. Konveksiyon bölgesindeki türbülanslı hareketler manyetik alanı, manyetik akı tüpü olarak adlandırılan yapı blokları şeklinde yoğunlaştırırlar. Bu akı tüpleri etrafa konvektif hareketlerle taşınırlar. Akı tüpleri güneş yüzeyine, süpergranüllerin ve granüllerin arasına hücre sınırları boyunca yerleşecek şekilde çıkarlar ve güneş atmosferine yükselirler. (şekil 1) Fotosferde gözlediğimiz granüller arasında bulunan çok küçük, beyaz parlak noktalar yüzeye çıkmış akı tüplerinin ayak noktalarıdır. Yüzeyde gözlenen ağyapının yapı blokları akı tüpleridir. Fotosferdeki akının büyük kısmı şiddetli akı tüplerinin içine yerleşmiş olarak bulunur. Bunların alan şiddetleri yaklaşık 1500 - 2000 G, akıları 5×10^9 Wb' dir. Çaplarının da 100 - 300 km olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1

Basitçe bir manyetik akı tüpünü, basit bir kapalı eğriyle kesişen alan çizgileri topluluğunun çevrelediği bir hacim olarak düşünebiliriz. (Şekil 2)



Şekil 2

Bir akı tüpü oluştuğu tabakada etrafından daha hafif olduğu için dengede kalmaz ve manyetik kaldırma kuvveti vasıtasıyla parça parça yükselir. Güneş yüzeyini yardığı noktalarda ise güneş lekeleri oluşur (Tabiki belli bir şiddete ulaşıncaya). Çevresinden hafif oluşunu basitçe aşağıdaki gibi izah edebiliriz:

Manyetik basınç (p_m) ve gaz basıncı (p_g) sabit ve de tüp içindeki (T_i) ve dışındaki sıcaklık (T_d) aynı olmak üzere denge şartı:

$$p_g^i + p_m^i = p_g^d$$

$$\frac{k_B}{m} \rho_i T_i + \frac{B^2}{2\mu} = \frac{k_B}{m} \rho_d T_d$$

$$\rho_d = \rho_i + \frac{B^2}{2\mu} \frac{k}{mT}$$

$\rho_d > \rho_i \Rightarrow$ akı tüpü çevresine göre daha az yoğundur.

Tüp yükselirken yay şeklini aldığından, manyetik kaldırma kuvveti (F) yanında manyetik gerilime bağlı bir onarıcı kuvvete de maruz kalır. Fakat bu kuvvet manyetik kaldırma kuvvetinin etkisini yenemez:

$$F = (\rho_d - \rho_i) g$$

$$= \frac{B^2 mg}{2\mu k_B T} > \frac{B^2}{2\mu L}$$

Akı tüpünün yükselme süresi şu şekilde verilir:

$$\tau = \frac{4\Omega\Lambda^2}{v_A^2} \quad \Lambda(z) = \frac{k_B T(z) \rho}{mg} = \frac{B_0}{(\mu\rho_0)^{1/2}} : \text{Alfvén hızı}$$

Buna göre 100 G' luk bir alanın 30 000 km' lik derinlikten yukarı yükselmesi 10 yıl sürer aynı şekilde 1000 G' luk bir alanın 100 000 km' den yükselmesi yine 10 yıl sürer. Yani alanın derine gömülü olması yükselme süresini arttıran, alan şiddeti de yükselme süresini azlatan etkenlerdir. Akı tüpleri parçalara ayrılarak bozulurlar. Akılarında saniyelik 10 ' lik azalma meydana gelir. Bozulma süresi akı tüpünün çapının karesiyle orantılıdır; $t \sim d^2$

Şekil 2 deki gibi bir manyetik akı tüpünün kuvveti, S kesitini geçen akı miktarı olarak tanımlanabilir:

$$F = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.1) \quad d\mathbf{S} \text{ her zaman } \mathbf{B} \text{ ile aynı yönde alındığından } F \text{ her zaman pozitifdir}$$

Böyle bir tüpün genel özelliklerine basitçe değinelim:

1) Bir akı tüpünün manyetik akısı tüpün uzunluğu boyunca sabit kalır:

Maxwell' in ikinci denkleminde ($\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$) yararlanarak bu ifadeyi ispatlayabiliriz: F akısını V hacmini çevreleyen S yüzeyi üzerinden, S_1 ve S_2 kesitleri arasında integre edelim:

$$\int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_{S_1} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} + \int_{S_2} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Diverjans teoreminden:

$$\int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \nabla \cdot \mathbf{B} dV \Rightarrow \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

$$\rightarrow \int_{S_1} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = - \int_{S_2} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Diğer bir değişle

$$F \equiv \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad \text{akı tüpünün manyetik akısı tüp boyunca sabit kalır.}$$

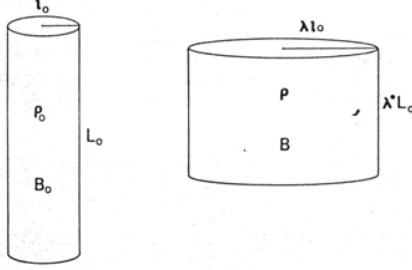
2) Akı tüpünün ortalama alan şiddeti tüp daraldıkça artar, genişledikçe azalır:

B. Beygu: Manyetik Akı Tüpleri

(1.1) denklemini, tüp boyunca ortalama alan terimi (\mathbf{B}) cinsinden yazalım: $F = \mathbf{B} A$, A enine kesit bölgesidir. Buna göre F sabit kaldığına göre, tüp daralırsa A küçülür ve de ortalama alan büyüklüğü artar. Eğer tüp genişlerse tersi olur.

3) Akı tüpünün sıkışması \mathbf{B} ve yoğunluğu (ρ) aynı oranda arttırır:

Boyutları l_0 ve L_0 ' dan λl_0 ve $\lambda^* L_0$ ' a değişen bir silindirik akı tüpü gözönüne alalım:



Şekil 3

Eğer başlangıçta düzgün yoğunluk ve alan kuvveti ρ_0 ve B_0 ise ve de alan çizgileri plazmaya göre donmuşsa, kütle korunumuna göre:

$$\rho \pi (\lambda l_0)^2 (\lambda^* L_0) = \rho_0 \pi l_0^2 L_0 \quad \text{olur.}$$

$$\text{son yoğunluk: } \rho = \frac{\rho_0}{\lambda^2 \lambda^*} \quad (1.2)$$

manyetik akının korunumundan:

$$B \pi (\lambda l_0)^2 \equiv B_0 \pi l_0^2$$

$$B = \frac{B_0}{\lambda^2} \quad (1.3)$$

$$\frac{B}{\rho} = \frac{B_0 \lambda^*}{\rho_0}$$

Böylece eğer tüpün uzunluğu sabit kalırsa, $\lambda^* = 1$, $\frac{B}{\rho}$ oranının sabit olduğunu görürüz.

Başka bir değişle enine bir sıkışma ($\lambda < 1$) ve boyuna bir sıkışma ($\lambda^* < 1$) B ve ρ' yu aynı oranda arttıracaktır. Enine bir genişleme ise azaltacaktır.

4) Akı tüpünün sıkıştırma olmaksızın uzaması alan kuvvetini arttırır:

Eğer plazma sıkıştırılmamışsa, yoğunluk değişmemiştir demektir. O halde (1.2) denkleminde $\lambda^2 \lambda^* = 1$, (1.3) denkleminde ise $B = \lambda^* B_0$ olur. Buna bağlı olarak tüpteki bir uzama ($\lambda^* > 1$) alan kuvvetinde uygun bir artış üretir, tersine kısalmaya da alan kuvvetinin zayıflamasına neden olur. Konveksiyon bölgesinde meydana gelen kırılma hareketleri ya da diferansiyel dönme akı tüpünün boyunda bir artışa neden olabilir.

5) Manyetohidrostatik dengedeki silindirik bir akı tüpü için, plazma basıncı p (R) ve manyetik alan bileşenleri B_ϕ (R) ve B_z (R) birbirlerine şu şekilde bağlıdır:

$$\frac{dp}{dR} + \frac{d}{dR} \left(\frac{B_\phi^2 + B_z^2}{2\mu} \right) + \frac{B_\phi^2}{\mu R} = 0 \quad (1.4)$$

R: eksenden itibaren radyal uzaklık

(1.4) denklemindeki ikinci terim manyetik basınç kuvvetidir. Eğer manyetik basınç R ile birlikte azalıyor ise dışa doğru etki eder. Üçüncü terim manyetik gerilimdir ve içe doğru etki eder.

Bir akı tüpü, eksensel ve azimutal manyetik akısı sabit kalacak şekilde genişlerse, gitgide artacak şekilde burulmaya başlar. L uzunluğundaki bir tüpün, alan çizgisinin eksen civarındaki burulması:

$$\Phi (R) = \frac{L B_{\phi}(R)}{r B_z (R)} \quad \text{olarak verilir.}$$

Akı tüpleri, hemen hemen aynı fiziksel özelliklerle hem sakin bölgelerde hem aktif bölgelerde (güneş lekelerinin dışında) bulunurlar. Sakin ve aktif bölgeler arasındaki fark; o bölgelerdeki sayıları ve boyutlarıdır. Ayrıca sıcaklıkları arasında da önemli fark vardır; sakin bölgedekiler aktif bölgedekilerden daha sıcaktırlar. Akı tüpleri atmosferde yükseldikçe genişlerler. İlk defa 1992 yılında " speckle polarimetri " yöntemiyle 200 km çapında akı tüpleri gözlenmiştir. Gerçekten de akı tüpleri gibi küçük manyetik yapıları gözlemek pek kolay değildir. Gözlem aletlerinin çözünürlüğü arttıkça bu yapılar hakkında daha çok bilgi edinilecektir. Sonuç olarak manyetik akı tüpleri, güneş lekelerini meydana getirmelerinin yanısıra, penumbradaki parlak bölgelere ve atmosferin üst tabakalarına ısı iletmeleri gibi önemli özelliklere sahiptirler. Manyetik alanın bu en küçük yapı blokları, Güneş' te meydana gelen manyetik alan kaynaklı olayları çözmede büyük önem taşırlar.