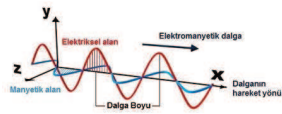


Giriş

Manyetik alan yıldızların dinamik yapısında önemli bir rol oynar. Güneş'in bir yüzey göstereceği kadar Arz'a yakın oluşu Güneş atmosferinde oluşan birçok dinamik yapının gözlemlenebilir olmasına olanak verir. Genel olarak bu yapılar Güneş lekeleri, koronal ilmikler, prominensler, Güneş parlamaları ve koronal kütle atımları (CMEs) gibi olaylardır. Güneş'in manyetik yapısının anlaşılması diğer Güneş benzeri yıldızların yapısının da anlaşılabilmesi olanağını verecektir.

Yöntemler

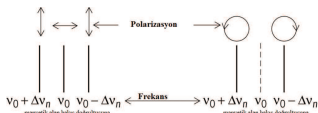
Bir gök cisminin yapısını incelemek istediğimizde ondan gelen ışık üzerinde çalışırız. Işık, elektrik ve manyetik alanlardan oluşur ve salınım doğrultusuna dik yönde ilerleyen dalgasal bir yapıdadır. Bir ışının absorpsiyonu, yayılması ve kırılması gibi olaylardan elektrik alan sorumludur.



Şekil 1. Salınım doğrultusuna dik yönde ilerleyen elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları.

Zeeman Etkisi

Güneş'in manyetik alanının doğrudan saptanmasında başarılı olan yöntem Zeeman Etkisi'dir. Zeeman Etkisi, ışığın geçtiği ortam içerisinde manyetik alan varlığında spektral çizgilerin yarılmaya uğradır. Çizgiler arasındaki ayrıklık manyetik alanın şiddetini verir. Manyetik alan bakış doğrultusuna paralel olduğunda σ bileşenleri gözlemlenir. Buna Boylamsal Zeeman Etkisi denir. Manyetik alan bakış doğrultusuna dik ise hem π hem de σ bileşenleri gözlemlenir ve Enine Zeeman Etkisi olarak adlandırılır. π bileşeninde dağaboyu kayması yoktur.



Şekil 2. Gözleminin bakış doğrultusuna göre Zeeman Etkisi. $\Delta\nu_n$ frekans kaymasını göstermektedir.

Pieter Zeeman 1896 yılında sodyum buharı ile yaptığı deney sonucunda manyetik alan etkisinde kalan gazın spektral çizgilerinin yarıldığını gözlemiştir. Çizgi yarılmalarının sebebi aynı enerji seviyesine sahip elektronların manyetik dipol momentinin (μ) etkisi ile farklı enerji seviyelerine sahip olmasıdır.

$$\Delta E = -\mu \cdot B$$

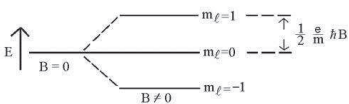
$\mu \perp B$ ise $\Delta E = 0$, $\mu \parallel B$ ise ΔE maksimum seviyede ve $\mu \uparrow B$ ise ΔE minimum seviyededir.

$$\Delta v = v - v_0 = \Delta m_l B \frac{e}{4\pi m}$$

$$\Delta m_l = 0 \text{ ise } \Delta v = 0 \quad \pi$$

$$\Delta m_l = 1 \text{ ise } \Delta v = \frac{eB}{4\pi m} \quad \sigma^+$$

$$\Delta m_l = -1 \text{ ise } \Delta v = -\frac{eB}{4\pi m} \quad \sigma^-$$



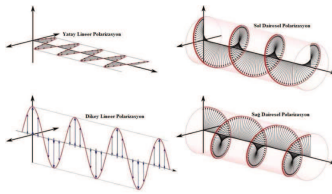
Şekil 3. Bir spektral çizginin manyetik alan varlığına göre bileşenlerine yarılmaya.

Polarimetri

Polarimetri elektromanyetik dalgaların polarizasyon durumlarının ölçümüne dayalı bir çalışma alanıdır.

Polarizasyon

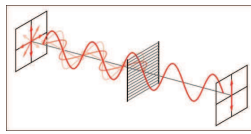
Polarizasyon elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün salınım doğrultusudur. Elektromanyetik dalgalar lineer, dairesel veya eliptik polarize olabilir. Elektrik alan vektörün hareketi yayılma yönüne dik bir düzleme iz düşürüldüğünde şekil bir daire ise bu ışığı dairesel polarize ışık, elips ise eliptik polarize ışık denir.



Şekil 4. Solda yatay-dikey lineer polarizasyon ile sağda sol-sağ yönlü dairesel polarizasyon.

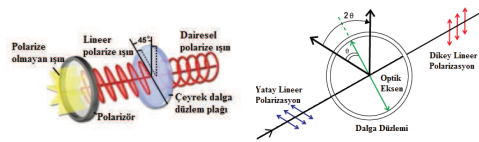
Polarizasyon Filtreleri

Işığın polarizasyon durumunu değiştirmesinde de kullanılan polarizörler polarize ışık oluşturulmasında kullanılır. Elde edilen polarize ışık lineer, dairesel veya eliptik polarize olabilir.



Şekil 5. Polarize olmayan bir ışının polarizörden geçirilerek lineer polarize ışığın elde edilmesi.

Faz kaydırıcı (retardlers) polarizasyon elipsini θ açısı kadar döndürerek gelen ışığın fazını değiştirir. İki farklı faz kaydırıcı vardır; biri çeyrek-dalga faz kaydırıcı (quarter-wave retarders), diğeri yarım-dalga faz kaydırıcı (half-wave retarders). Polarizasyon düzlemi dalga plağı düzlemine $\pm 45^\circ$ yönelimde ise gelen lineer polarize ışın çeyrek dalga düzleminde geçtikten sonra dairesel polarize ışına dönüşür. Tersine dairesel polarize ışın çeyrek dalga düzleminde geçirildiğinde lineer polarize ışın elde edilir. Polarizasyon düzlemi ile dalga plağı düzlemi $\pm 45^\circ$ den farklı bir açı ile yönlendiyse gelen lineer ışından eliptik polarize ışın elde edilir. Yatay lineer polarize bir ışın yarım dalga düzleminde geçirildiğinde ise dikey lineer polarize ışın elde edilir. Bu durum dairesel polarize ışına da uygulanabilir. Gelen sağ dairesel polarize ışın yarım dalga düzleminde geçirildiğinde sol dairesel polarize ışın elde edilir. Bu durumun tersi de geçerlidir.



Şekil 6. Solda 45° lineer polarize ışının çeyrek dalga düzlem plağından geçirilerek dairesel polarize ışın elde edilmesi ile, sağda yatay lineer polarize ışının yarım dalga düzlem plağından geçirilerek dikey lineer polarize ışın elde edilmesi.

Stokes Parametreleri

Stokes parametrelerin elektrik alan vektörünün kartezyen koordinatları ile ifadeleri aşağıdaki gibi verilmektedir;

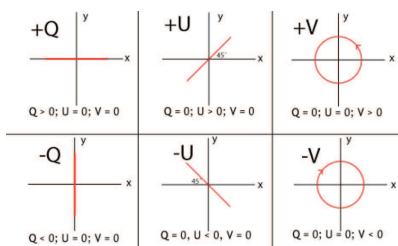
$$(E_{0x}^2 + E_{0y}^2)^2 - (E_{0x}^2 - E_{0y}^2)^2 - (2E_{0x}E_{0y}\cos\delta)^2 = (2E_{0x}E_{0y}\sin\delta)^2$$

$$I = E_{0x}^2 + E_{0y}^2 \quad Q = E_{0x}^2 - E_{0y}^2$$

$$U = 2E_{0x}E_{0y}\cos\delta \quad V = 2E_{0x}E_{0y}\sin\delta$$

$$I^2 = U^2 + V^2 + Q^2$$

I ışığın toplam yoğunluğunu, Q ışığın yatay ve dikey lineer polarizasyon miktarını, $U \pm 45^\circ$ lineer polarizasyon miktarını ve V ise sağ ve sol dairesel polarizasyon miktarını verir.



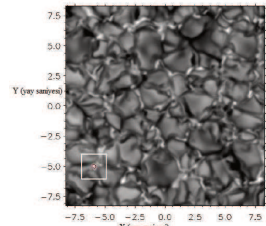
Şekil 7. Q, U ve V Stokes parametrelerinin pozitif veya negatif olma durumlarına bağlı olarak yönelimleri.

Sonuçlar

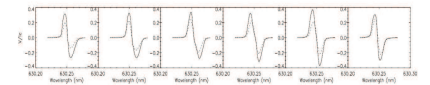
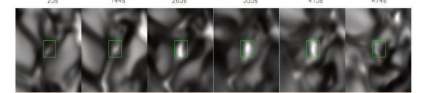
Manyetik alanı doğrudan gözlememiz güçtür. Ancak birkaç yöntemle varlığını tespit edebiliriz. Bu yöntemlerden biri 'Zeeman Etkisi'dir. Zeeman etkisi manyetik alanın var olması durumunda spektral çizgilerin yarılmaya uğradır. Ancak 100 Gauss değerinden küçük manyetik alanların tespitinde Zeeman etkisi yetersiz kalır. Arz'ın ortalama 0,45 Gauss manyetik alan değerinden biraz daha büyük birkaç Gauss değerine kadar olan zayıf manyetik alanların tespitinde ışığın polarizasyon özelliği kullanılır. Güneş ve diğer yıldızların atmosferindeki zayıf manyetik alanın tespiti için en iyi sonuç veren yöntem spektropolarimetrik gözlemlerdir.

Güneş aktivitesinin minimum olduğu dönemde süpergranül hücre içi bölgeler, düşük çözünürlüklü magnetogramlarda manyetik alanın olmadığı bir yapı olarak görünür. Ancak bu bölgeler Stokes V profilinde incelendiğinde zayıf sinyallerin var olduğu görülür. Bununla beraber Güneş fotosferinde gözlenen manyetik orijinal parlak noktalar çapları mevcut gözlemsel çözünürlük limiti değerinden (~ 100 km) başlayıp birkaç yüz km değerine ulaşır ve manyetik alan kuvveti kilo Gauss değerine varan güçlü akı yoğunluğuna sahip küçük ölçekli yapılarıdır.

Fiscer ve ark. 2009 yılında SOT gözlemlerini kullanarak güçlü fotosferik aşağı yönlü akışların hızını 3.33-3.92 km s^{-1} olarak tespit etmiştir. Narayan tarafından 2011 yılında SST/CRISP uyusundan elde edilen spektropolarimetrik veriler bu küçük ölçekli manyetik yapıların içerisindeki aşağı yönlü hareketin hız değerini 3 ile 5.2 km/s olarak saptamıştır. Manyetik parlak noktaların oluşumu ile manyetik parlak nokta yoğunluğunun en yüksek seviyeye ulaşması esasında Stokes V profil sinyallerinin de daha güçlü olmaya başladığı görülmüştür.



Şekil 8. Simüle edilmiş G band görüntüsünde intergranüler bölgede görülen manyetik parlak noktalar (büyük kare içerisinde).



Şekil 9. Üst panel G-bandında simüle edilmiş manyetik parlak noktanın 8 dakikalık evrimi. Alt panelde ise bu evrim süresi içerisinde SOT uzaysal çözünürlüğüne indirgenmiş Stokes V genlik profili (noktalar).

Kaynaklar

- Goldstein, D. (2003), Polarized Light (2nd ed.). Florida, U.S.A.
- Duncan H. Mackay, (2012), The Sun's Global Magnetic Field
- Rasmus E. Benestad, (2006), Solar Activity and Earth's Climate
- Hewitt, R. L. (2014), Plasma Properties and Stokes Profiles During the Lifetime of a Photospheric Magnetic Bright Point
- Keys, P. H. (2012), Tracking Magnetic Bright Point Motions Through the Solar Atmosphere, Northern Ireland, U.K.
- Gandorfer, A., Techniques in Solar Polarimetry / Magnetography
- <https://www.phys.ksu.edu/personal/cocke/classes/phys506/zeeman.htm>
- <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Zeeman+effect>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light.Without.Components_Left.Handed.svg?uselang=tr
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light.Without.Components_Right.Handed.svg?uselang=tr
- <http://www.ceafila.com/upload/media/entries/2016-05/16/115814-4-e6d3de294bdef27283d41d1948c4e39.jpg>
- <http://rg.c-hip.net/2011/seminari/ruzak/>
- <http://www.olympusmicro.com/primer/techniques/polarized/images/quarterwavelengthfigure2.jpg>
- https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=711