GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ OLUŞUMUNDA CORIOLIS KUVVETİNİN ETKİSİ

Gülseçen, H.

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi
Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
34452 Üniversite -İSTANBUL

Güneş lekeleri ve güneşin yapısı ile ilgili çalışmalar Galileo'nun güneşi ilk defa 1611 yılında dürbünle gözetlemesi ile başlamıştır. Fakat bu konudaki gelişmeler sürekli ve düzenli bir gelişme yerine, teknik alandaki ve fizik bilimindeki gelişmelere bağlı olarak, zaman zaman artma göstermiştir. 1611'den itibaren yaklaşık ikibuçuk asır, güneş sadece dürbün ile beyaz ışıkta gözlenmiş ve bu süre içinde sadece güneş lekeleri hakkında veri elde edilmiştir. 1850'den itibaren güneşin spektrohelyograf ile incelenmesi sonucu, araştırma şeklinde önemli değişiklikler ortaya çıkmıştır. 1920'den itibaren ise, kuantum teorisinin ortaya çıkması ile elde edilen gözlemlerin yorumu farklı bir görüş ile ele alınmaya başlanmıştır.

Güneş lekeleri ilk kez 1611 yılında gözlenmekle beraber, güneş lekelerinin bir çevrime sahip olduğuna dair ilk bilimsel iddia 1843'de Schawabe tarafından yapılmış; bunu Wolf'un 1852'de çevrim süresinin 11.1 yıl olduğunu bildirmesi izlemiştir. Böylece güneş lekelerinin kendileri kadar, leke çevrimi de ilgi çekmiş ve yirminci asrın başlarına kadar güneş lekelerine ait çalışmalar, çevrime ait özellikler ile özdeşleşmiştir. Çevrim süresinin ardından, önce Carrington tarafından, daha sonra da ayrıntıları Spörer tarafından verilen bir çevrim boyunca lekelerin enlem kayması gösterdiği bulgusu ortaya konmuştur. Diğer taraftan, lekeler yardımı ile güneş rotasyonunun enleme bağlı olduğu yine ilk defa Carrington tarafından fark edilmiş; daha sonradan bu konu spektroskobik olarak da ele alınıp, enleme bağlı açısal hız değerleri bulunmuştur.

Lekeler hakkındaki çalışmalarda fiziksel dönem, lekelerin spektrumlarının incelenmeye başlanması ile gündeme gelmiştir. Bir güneş lekesine ait büyük dispersiyonlu spektrum fotoğrafı ilk defa 1908'da çekilmiştir. Bu spektrumda, güneş yüzeyi spektrumuna göre, bazı spektral çizgilerin gözlenmemesine karşın, bazı ek çizgiler görülmüş; kimi çizgilerinde genişlemiş olduğu ve bunun gibi özellikler saptanmıştır. Bu gözlemlerin yorumu yapıldığında leke içindeki sıcaklığın güneş yüzeyi sıcaklığından daha düşük olduğu sonucu bulunmuştur. Böylece, lekeler hakkında istatistik bilgiler dışında, ilk fiziksel bilgi elde

edilmiştir. Bununla beraber, spektrumdaki bazı spektral çizgilerin genişlemiş olması, bazılarının da çift çizgi olarak gözlenmesi açıklanamamıştır. Bir süre sonra çift çizgi olarak gözlenen spektral çizgilerin herbirinin zıt yönde polarizleşmiş olduğunun anlaşılması, Zeeman olayının varlığını ortaya koymuş ve bunun sonucu olarak da lekelerin kuvvetli bir manyetik alana sahip oldukları anlaşılmıştır. Bu bulguların ardından, Hale manyetik alan polaritesine ait ve polarite kuralları adı verilen üç özellik ortaya koymuştur;

1) Güneşin aynı yarımküresinde bulunan bütün leke gruplarının manyetik polariteleri aynıdır.

2) Bir yarımküredeki leke gruplarının manyetik polariteleri diğer yarımküredeki manyetik polaritenin tersidir.

3) Birbirini izleyen çevrimlerde, bir yarımküredeki manyetik polarite özelliği, diğer yarımküre lekelerinin özelliği ile yer değiştirir.

Bu bilgilerin yanısıra H ve Ca'nın H_α ve K_α spektrohelyogramlarının leke bölgeleri civarında "Karanlık fakula" alanları denilen bölgelerinin girdap şekilli görüntü vermesi, lekelerde de girdap şeklinde bir hareket olup olmadığı sorusunu ortaya çıkarmıştır. Bu sorunun cevabı kısa zamanda yanıtlanmıştır. Evershed tarafından kenara yakın lekeler içinde demir çizgilerinde Doppler kayması saptanarak lekenin içinden, lekenin yüzeyi üzerinde kalmak üzere, dışa doğru gaz akımı olduğu anlaşılmıştır. Güneşin görünen merkezine yakın lekelerde böyle bir olayın gözlenmenmesi gaz hareketinin güneş yüzeyine dik olmayıp, yüzeye teğetsel olmasından kaynaklanmaktadır.

Lekelere ait bu fiziksel bulgulara paralel olarak, güneşe ait diğer fiziksel bulgularda ortaya çıkmıştır. Bunlardan birisiide de güneşin genel manyetik alanıdır. Lekeler dışında güneşin genel bir manyetik alana sahip olduğu önce Hale ve arkadaşları tarafından ileri sürülmüş ve daha sonra Babcock tarafından 1 Gauss ile 60 Gauss arasında değişen genel bir manyetik alan olduğu ölçülmüştür.

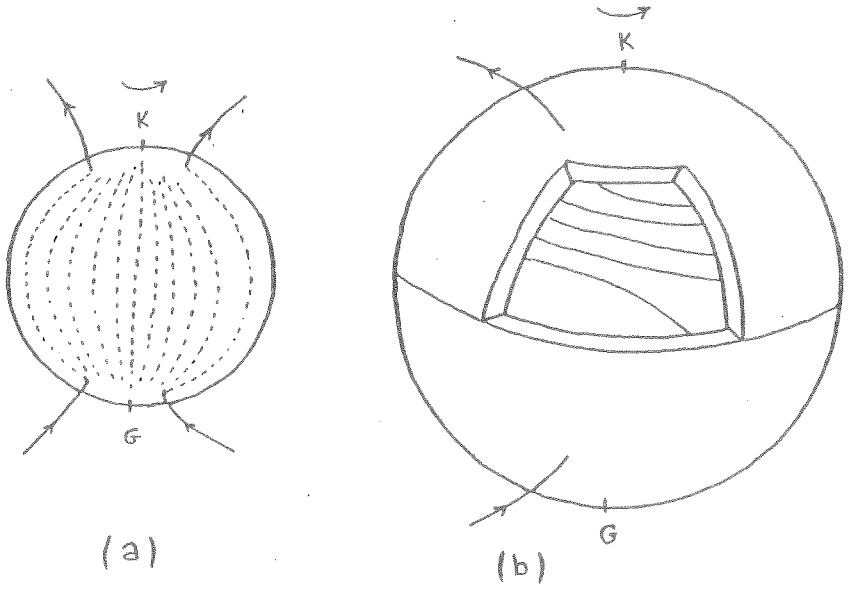
Güneş lekeleri, güneş yüzeyinde ilk gözlenen olaylar olduğundan, ne oldukları merak edilip, bu konuda, haklarında açıklama girişimlerinde bulunulan ilk olaylar olması da doğaldır. Başlangıçta çevrim özellikleri ile lekeler hemen hemen özdeşleşmiş olduğundan lekeler hakkındaki teorilerin çevrim özelliklerini açıklayabilmesine özen gösterilmiştir. Bu teorileri, dayandıkları fizik esaslar bakımından ikiye ayırmak mümkündür. Birincisi, lekelerdeki soğuma olayını esas olay olarak ele alıp, bunu açıklayacak mekanizmayı ortaya koyarken, manyetik alanın bir yan olay olarak ortaya çıktığını varsayan teoriler. Bu tür teorilere en iyi örnek 1928 yılında Bjerkness tarafından ileri sürülen teoridir. Bu teoriye göre manyetik alan lekelerin faaliyeti sonucu meydana gelmektedir. İkincisi ise, manyetik alanı temel olay olarak kabul edip,

lekelerin manyetik alanın bir ürünü olduğunu ileri süren teorilerdir. Bu teorilerin en tanınmışı 1955 yılında Biermann tarafından ortaya atılmıştır. Teori, lekelerin güneş yüzeyine göre daha soğuk olmasını açıklamasına rağmen manyetik alanın orijinini açıklayamamaktadır. Ancak yine 1955 yılında Babcock, güneşin genel bir manyetik alana sahip olduğunu ispatlayarak, Babcock teorisini ortaya atmıştır. Güneş lekelerinin 11.1 yıllık çevriminin varlığı uzun zamandan beri bilinmekteydi. Ancak bu çevrimin ne şekilde ortaya çıktığı bilinmiyordu. 1961 yılında Babcock, lekeler, lekelerin manyetik alanı ve leke çevrimi üzerine yaptığı çalışmalardan çıkardığı sonuçları yayınladı. Bugün Babcock teorisi olarak bilinen bu sonuçlar, güneş lekelerinin oluşumunu, lekelerdeki manyetik kutupluluğun değişimini ve 11.1 yıllık leke çevrimini güneşin genel manyetik alanına bağlıyordu. Ancak lekelerin manyetik alanı güneşin genel manyetik alanından çok daha kuvvetli idi. Nasıl oluyorda zayıf bir genel manyetik alan, lekelerde kuvvetli bir manyetik alan meydana getirebiliyordu. Lekeler bilindiği gibi fotosferde görünen olaylardı, fotosferde konvektif bölgenin en üst sınırında bulunuyordu. O halde güneşin genel manyetik alanı fotosferde güçlenmeli ve kendisini bir leke şeklinde göstermeliydi. Ancak genel manyetik alana ait kuvvet çizgileri güneşin fotosferinde çeşitli kuvvetlerden dolayı bir tedirginliğe uğramamalıydı. Halbuki fotosfer türbülans hızlarının çok yüksek olduğu hareketli bir tabakadır. Bu nedenle en kararlı ve türbülans hızlarının son derece küçük olduğu konvektif bölgenin dibinde bir genel manyetik alan olabilirdi. Bu zayıf genel alanın kuvvet çizgileri başlangıçta güneşin kuzey-güney doğrultusunda yani güneş boylamlarına paralel olarak bulunmalıydı. Zayıf manyetik alan kuvvet çizgileri zamanla diferansiyel rotasyon tarafından sürüklenmeliydi. Böylece zaman içinde manyetik alan kuvvet çizgileri güneş ekvatoruna göre bir eğime sahip olacaklardı, Şekil 1'deki gibi.

Başlangıçta zayıf olan kuvvet çizgileri diferansiyel rotasyon tarafından kendi üzerlerine sarılarak kuvvetlenecekler artık belli bir yarıçapa sahip manyetik halat şeklini alacaklardır. Bunlara manyetik tüp de denilebilir. Örneğin başlangıçtan (Şekil 1a) üç yıllık bir süre sonra ekvator çevresi +55 enlemlerine göre 5.6 fazla dönme yapar. Bu manyetik kuvvet çizgilerinin kendi üzerlerine 5.6 defa sarılması demektir. Böylece konvektif bölgenin tabanında birçok manyetik halattan oluşan bir tabaka meydana gelir. Her manyetik halat, içinde bulunduğu konvektif bölgeye bir basınçla karşı koyar. Manyetik halat içindeki manyetik alan şiddeti, halatın dik kesitiyle ters orantılıdır. Bir manyetik akı tüpünün veya halatının içindeki ve dışındaki gaz basıncı P_i ve P_e ise, bu durumda

$$P_e = P_i + B^2/8\Pi$$

dir. Burada $B^2/8\Pi$ manyetik basınç terimi, daima pozitiftir. Dolayısıyle $P_i < P_e$ dir. Eğer tüp içi ile tüp dışı aynı

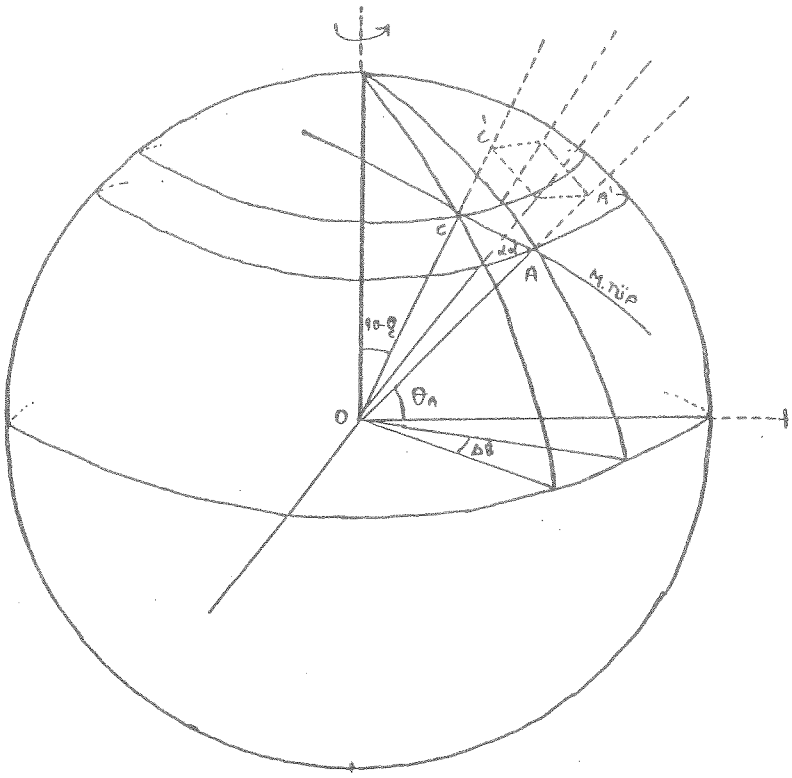


Şekil 1
a) Bir leke çevrimi başlamadan 4-5 yıl öncesi 1 ile 60 Gauss arasındaki genel manyetik alan çizgilerinin konvektif bölgenin tabanındaki durumu.
b) Konvektif bölgenin tabanında diferansiyel rotasyon tarafından sarılmış ve ekvatorla bir egim yapmış olan manyetik kuvvet çizgileri.

sıcaklığa sahipseler, içerdeki yoğunluk dışardakinden küçüktür. Bundan dolayı manyetik akı tüpü yükselmek ister. Tüpün yükselmesi manyetik alan şiddetine bağlıdır. Tüpteki şiddet ne kadar büyük ise; yükselme, diğer akı tüplerine nazaran daha önce başlar. Yükselen manyetik akı tüpleri fotosferin altında kendilerini aktif bölgeler olarak gösterirler ve akı tüplerinin fotosferi kestiği noktalarda, gerekli manyetik şiddete sahipseler güneş lekeleri olarak görünürler. Ancak başlangıçta konvektif bölgenin dibinde gömülü halde bulunan manyetik akı tüplerindeki manyetik alan şiddeti tüp boyunca düzenli ve eşit şiddette olmayabilir. Konveksiyondan dolayı akışkanın (konvektif bölgedeki gaz) hareketinde meydana gelen bölgesel bozulmalar, tüpte kopmalar,kırılmalar ve burulmalar meydana getirebilir. Bunun sonucu olarak manyetik alanda da bozulmalar ve rasgele yığılmalar meydana gelir. Şekil 2'de görüldüğü gibi konvektif bölgenin dibinde ekvatorla α_0 eğim açısına sahip bir manyetik akı tüpünün bulunduğu varsayılsın. Bu tüpün farklı iki enlemdeki birim kesitlerinin konvektif bölge boyunca yükselmesi esnasında, başlangıç koordinatlarından olan kayma miktarlarının

ölçülmesi temel hedeftir. Bu iki kesitin birbirleriyle olan bağlantısındaki bölgesel bozulmalar dikkate alınmamıştır. Manyetik akı tüpünün güneş üzerindeki genel durumu da önemli değildir.

Babcock teorisi 11.1 yıllık leke çevrimini ve bazı olayları kısmen açıklayabilmektedir. Ancak güneşteki leke çevrimini, lekelerin yapısını ve genel manyetik alanın özelliklerini tam manasıyla ortaya koyan bir teori bugüne kadar yapılamamıştır. Bunun yerine bugün güneşteki olaylar ayrı ayrı incelenmektedir. Örneğin bir leke tek başına bir olay olarak ele alınmaktadır. İnceleme yöntemi ise oluşum ve gelişimi bir model ile göstermektir. Böyle bir leke modeli oluşturmak için ise detaylı bir konvektif bölge modeline ve çeşitli derinliklerdeki konvektif bölge parametrelerine ihtiyaç vardır. Bugün, Spruit'in(1974,1977) konvektif bölge modeli bu tür çalışmalarda en çok kullanılan modeldir. Güneşte çeşitli konularda çalışanlar tarafından bu model esas alınmaktadır.



Şekil 2.
Konvektif bölgenin tabanında yatay manyetik akı tüpünün durumu ve ilkel egim açısı.

Bu çalısmada da Spruit'in(1977) konvektif bölge modeli esas alınarak, leke gruplarının fotosferde görüldüğü andaki eğimlerine, coriolis kuvvetinin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmanın yöntemi ise şöyle özetlenebilir:

Spruit'in konvektif bölge modelinin en alt sınırında (fotosferden yaklaşık 198000km derinlikte) belli bir uzunlukta ve belli bir eğimde bir manyetik akı tüpü olduğu varsayılmıştır. Bu manyetik akı tüpünde birbirlerinden belli uzaklıklarda ve farklı enlemlerde iki kesit alınmıştır. Bu kesitlerin herbirine birer tane dik koordinat sistemi yerleştirilmiştir. Koordinat sistemlerinin X ekseni güneş boylamlarına paralel ve güney doğrultusunda (güneşin kuzey yarımküresi için), Y ekseni güneş enlem çizgilerine parelel ve güneşin dönme yönünün ters yönünde, Z ekseni de güneş çekim ivmesine zıt yönde yani güneş yüzeyine dik alınmıştır. Manyetik akı tüpü fotosfere doğru harekete başlamadan evvel koordinat sistemlerinin orijinleri güneşin enlem ve boylamları cinsinden belirlenmiştir. Ayrıca iki koordinat sistemlerinin orijinlerini birleştiren doğrunun uzunluğu, bu uzunluğun güneş ekvatoruyla yaptığı açı hesaplanmıştır. Buna "ilkel eğim" denmiştir. Daha sonra manyetik akı tüpünün birim kesitleri koordinat sistemlerinin Z ekseni yönünde hareket ettirilmiştir. Çeşitli kuvvetlerin etkisinde kalan manyetik akı tüpü sonuçta zenit yönünde bir a ivmesiyle harekete başlar Bu yükselme hareketi fotosfere kadar devam eder. Sonuçta manyetik akı tüpü üzerinde alınan bu iki kesit fotosferde iki kutuplu bir leke grubu meydana getirir. Bu leke grubunun uzanımı ve bu uzanımın güneş ekvatoruyla yaptığı eğim hesaplanır. Buna "gözlenen eğim" denir. Gözlenen eğim ile ilkel eğim arasında bir fark oluşmuştur. Bu farkı meydana getiren çeşitli etkenler vardır. Bunlardan bir tanesi ilkel eğimi küçültmeye çalışan diferansiyel rotasyondur. Çünkü güneşte alçak enlemler yüksek enlemlere nazaran daha büyük bir açısal hıza sahiptir. İkincisi ise ilkel eğimi büyütmeye çalışan coriolis kuvvetidir. Dikey haraketler için coriolis kuvvetinin güneş dönmesinin aksi yönündeki bileşeni küçük enlemlerde daha büyüktür.

Güneşte bu iki kutuplu leke grubu görünmeye başladığı an (yani manyetik akı tüpünün hesaplamalar için alınan kesitleri fotosfere geldiği zaman) yükselme durmuş demektir. Artık zenit yönünde bir hareket olmadığı için lekelere güneşin dönme yönünün ters istikametinde etki eden coriolis kuvveti sıfırlanmış olur. Bu noktadan itibaren leke grubunun eğimini değiştiren başlıca etken diferansiyel rotasyon ve lekelerin öz hareketleridir. Leke grubunun doğduğu andan kaybolana kadar geçen sürede diferansiyel rotasyon leke grubunun eğimini küçültür.

Evershed olayında lekeden çıkan gazlar sözkonusu koordinat sisteminin (fotosferde leke merkezine kurulan koordinat sistemi) XY düzleminde bir gaz rüzgarına neden olursa da, bu hareketten dolayı oluşan coriolis kuvvetinin XY düzlemindeki bileşenleri bu düzlemde lekenin çok küçük

bir enlem kaymasına neden olur. Bu yatay coriolis kuvvetleri leke civarında girdap şeklinde bir gaz akımı oluştururlar. Lekelerdeki bu girdaplı gaz akımından dolayı oluşan enlem kaymasının leke grubu ilk gözlendiği andaki "gözlenen eğimine" etkisi son derece küçüktür.

Konvektif bölge dibindeki manyetik akı tüpü zenit yönünde hareket ederken, ilkel eğimi coriolis kuvveti ve diferansiyel rotasyonun etkisi ile değişecektir. Böylece tüpün hesaplamalar için alınan kesitleri fotosfere vardığındaki (leke oluştuğundaki) eğimi, ilkel eğimden farklı olacaktır. Bu eğim farkına coriolis kuvvetinin etki derecesinin saptanması, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Gözlenen eğimin değişimi ve leke gruplarının yok olana kadar yaptıkları enlem kayması bu çalışmanın içeriğine girmemektedir. Diferansiyel rotasyonun derinlik ile değişimi, bugün bile çözümlenmiş bir problem olmadığı için herhangi bir enlemdeki diferansiyel rotasyon hızı ilgili enlemde tüm derinlikler için (konvektif bölgede) aynı kabul edilmiştir. Amaç coriolis kuvvetinin etkisi olduğundan diğer kuvvetlerin etkisi, örneğin manyetik akı tüpünün elektirik alanından dolayı oluşan kuvvetler, ekvatoral sürüklenme, viskozite kuvvetleri ve merkezkaç kuvvetleri dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi bazı kuvvetlerin coriolis kuvvetinin yanında çok küçük kalmaları ve bazı kuvvetlerin hesabı için ise gerekli olan konvektif bölgeye ait kimi parametrelerin olmamasıdır.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına geçmeden evvel Spruitin konvektif bölge modelinin çözümler için izin verdiği sınırları belirtmek gerekmektedir. Çözümler sadece konvektif bölgeyi içermekte ve konvektif bölgenin üzerindeki yaklaşık 1250 km'lik bölgeyi kapsamamaktadır. Çözümlerde tüp yarıçapları ile manyetik şiddetleri uyumu tüm konvektif bölgeyi kapsayacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca tüpün yükselmesi herhangi bir kesintiye uğratılmamıştır. Yani tüpün yükselmesi süreklidir. Tüp modellerinin seçimi için şu olanaklar vardır:

a) Tüpiçi ile konvektif bölge sıcaklığı aynı kabul edilerek çözümlere gidilirse manyetik şiddetler için sınırlar şu şekilde olmalıdır. Konvektif bölgenin en üst sınırında yaklaşık 1670 km'den küçük bir yarıçapa sahip bir lekede manyetik şiddet enaz 527 Gauss, en fazla 1852 gauss olmalıdır. Bu sınırlar arasında bir lekeyi oluşturacak manyetik tüpün manyetik şiddeti ise konvektif bölgenin tabanında 1455 G ile 5150 G arasında olmalıdır. Eğer minimum değer olan 1455 G'lık bir tüp konvektif bölgenin tabanından yükselmeye başlarsa, tüp konvektif bölgenin en üst sınırından yaklaşık 149200 km'lik bir derinlikte 9000 gaussluk bir şiddete sahip olmalıdır. Başlangıç manyetik şiddeti arttırıldıkça bu değerde artmaktadır. Ancak konvektif bölgenin tabanında herhangibir yarıçapa sahip tüpün manyetik şiddeti 5150 gausstan da büyük olabilir. Fakat bu durumda bazı sorunlar oluşur. Tüpü harekete

zorlayan bir manyetik kaldırma kuvveti yine mevcuttur. Fakat tüpün yükselmesi sürekli değildir. Özellikle konvektif bölgenin üst katmanlarına doğru tüpün yükselme hızı düşmekte bazen sıfır olmaktadır. Bu noktada ise konvektif bölgenin türbülans basıncı, tüpün manyetik basıncından büyükse tüp dağılmaktadır. Eğer tüp, konvektif bölgenin en üstündeki granül bölgenin altında daha büyük boyutlu granül hücrelerin arakesitleri arasında bulunuyorsa, hücre arakesitleri arasında türbülans hareketler daha zayıf olduğundan, manyetik tüp kararlı yapısını koruyabilir. Böyle bir durumda tüp yarıçapında bir küçülme veya manyetik şiddetinde bir büyüme olursa tüp tekrardan yükselmeye başlayabilir. Ancak bu çeşitli boyutlardaki granül hücrelerin arakesitleri arasındaki tüpün dinlenme zamanını tespit etmeye olanak yoktur. Böyle bir çalışmada (manyetik tüpün duraklayarak yükselmesi) için konvektif bölgedeki bütün granül hücrelerin boyutlarının ve hücre içlerindeki türbülans hızlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada konvektif bölgenin çeşitli boyutlarda granül hücrelerden oluştuğu varsayımı dikkate alınmadığı için bütün çözümlerde sürekli bir yükselme sağlayacak şekilde çözüme gidilmiş ve yukarıdaki sınır şartlarının dışında bir çözüm aranmamıştır.

b) Tüpiçinin konvektif bölgeden daha sıcak olduğu kabul edilerek yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, iç sıcaklığın konvektif bölgeden fazla olması genellikle tüpün daha hızlı bir şekilde yükselmesine neden olmaktadır. Bu durumda tüpün yükselme hızının artmasıyla, tüpün parçalanma ihtimalide artmaktadır. Bu nedenle farklı sıcaklık şartı altında kararlı manyatik tüpler, manyetik şiddetlerine bağlı olarak başlangıç yarıçapları 1000 km'nin altında ise kararlı olabilmektedir.

c) Tüpiçinin konvektif bölgeden daha soğuk olabileceği düşüncesiyle, böyle bir şart altında da çözüm aranmıştır. Örneğin 1455 gaussluk bir manyetik şiddetle ve tüpiçinin konvektif bölgeden daha soğuk olduğu kabul edilerek bir çalışma yapılmış fakat uygun bir çözüm bulunamamıştır. Böyle bir durumda tüp yarıçaplarının ve manyetik şiddetlerinin çok büyük olması gerekmektedir. Ayrıca iç sıcaklığı belirleyecek bir yöntemde bulunamamıştır. Bu şart altında tüpün yükselmesi bir tek katmanda değil, konvektif bölgenin farklı katmanlarında kesilmekte yükselme hızı düşmekte ve sıfır olmaktadır. Tüp içini konvektif bölgeden daha soğuk kabul ederek yapılan çözümler Spruit'in konvektif bölge parametrelerine uymamaktadır. Bu nedenle en kararlı çözümler tüpiçi ile konvektif bölge sıcaklığı eşit olarak alındığı durumdaki çözümlerdir. Böyle bir çözümde manyetik şiddetler için bir sınırlandırma varken, leke yarıçapları için ise herhangibir sınırlama yoktur. Ancak karşılaştırma yapabilmek için (eşit ve farklı sıcaklık durumlarında) çok büyük yarıçaplı lekeler ele alınmamıştır. Örnek 1'deki çözümler sadece eşit sıcaklık

altındaki çözümleri göstermektedir. Bu örneklerin farklı sıcaklık altındaki çözümleri ise sağlıklı olmamaktadır. Çünkü manyetik tüp konvektif bölgenin üstlerine doğru kararlı yapısını değiştirmekte ve dağılma eğilimi göstermektedir.

Yukarıdaki koşullar altında yapılan çözümlerden sonra elde edilen ilkel eğim ve gözlenen leke grubu eğimleriyle ilgili sonuçlar ise şöyledir:

Örneklerde gösterilen ilkel eğim ve gözlenen leke grubu eğim açıları, leke grubu ve tüp kesitlerinin bulunduğu düzleme dik doğrultuda bakıldığı zamanki değerlerdir. Bu çalışmada iki tüp kesiti birbirlerinden bağımsız olarak incelenmiştir. Bu nedenle örneklerde elde edilen yükselme zamanları, ilgili çözüm şartları altında elde edilmesi gereken minimum sürelerdir. Yani çözümlerde elde edilen yükselme süresinden daha az bir sürede yükselme olamaz. Eğer tüp kesitleri aynı bir tüpün farklı enlemlerdeki kesitleriyse (yada tüpün tamamı hesaba katılırsa) yükselme zamanını uzatan çeşitli faktörler işin içine girmektedir. Böyle bir durumda (tek bir tüp üzerinde çalışıldığında) tüpün eğrilik yarıçapından dolayı manyetik gerilim diye adlandırılan bir kuvvet daha ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvet tüpün yükselmesini frenlemeye çalışacaktır. Ayrıca tüp içinde de bir konvektif akım mevcut olabileceği için tüp kendi ekseni etrafında bir burulma hareketi yapabilir. Böylece tüp (yatay tüp), içindeki gazların hareketi nedeniyle silindir şeklindeki görünümünden uzaklaşır, kesiti bir elips olan basık silindir şeklini alır. Sonuçta bu gibi değişimler aynı konvektif bölge derinliğinde manyetik tüp boyunca tüpün yarıçapının değişimine neden olmakta ve tüpün parçalanma ihtimalini arttırmaktadır.

Bu çalışmada sadece manyetik tüpün zenit yönündeki hareketi incelenmiştir ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

1) Herhangibir tüp kesiti için coriolis kuvvetinin etkisi küçük enlemlerden büyük enlemlere doğru azalmaktadır.

2) Bir ilkel eğimin değişimine coriolis kuvveti ve diferansiyel rotasyon birlikte etki etmektedir. Diferansiyel rotasyon devamlı olarak ilkel eğimi küçültmeye çalışmaktadır.

3) Bir leke grubunu oluşturacak tüp kesitlerinin konvektif bölge içinde yükselmesi sırasında oluşan coriolis kuvvetleri ise ilgili derinlikteki ilkel eğimleri daima büyütme eğilimindedir.

4) Bir leke grubunun ön ve arka lekelerinin doğuşları arasındaki zaman farkı küçükse, leke grubunun gözlenen eğimi,konvektif bölgenin tabanındaki ilkel eğimden büyük olabilir. Lekelerin doğuşları arasındaki zaman farkı gözlenen leke grubu eğimlerinde önemli bir rol oynamaktadır

5) Lekelerin doğuşları arasındaki zaman farkı büyük olursa, gözlenen leke grubu eğimi daha küçük olmaktadır. Bu durumda coriolis kuvvetinin etkisi diferansiyel rotasyondan daha fazladır. ve her ikiside gözlenen leke grubu eğimini küçültür.

6) Bir manyetik tüpe etki eden kaldırma kuvveti, tüpün manyetik şiddetine ve yarıçapına bağlıdır. Ancak yarıçap, manyetik şiddete göre daha az etkilidir.

7) Bir manyetik tüpün yarıçapı küçüldükçe kararlı olma ihtimali artmaktadır.

8) Spruit'in konvektif bölge modeli kullanıldığında manyetik tüplerin sürekli yükselmesi için tüp yarıçap ve manyetik şiddetlerinde sınırlandırmalar ortaya çıkmaktadır. Bu sınırlar dışında bir tüp için sürekli yükselme durumu ortadan kalktığından manyetik tüpün yükselmesinin durduğu bölgeler, konvektif bölgedeki dev granül hücre arakesitleri olarak düşünülebilir. Böylece konvektif bölgede bazı derinliklerde türbülans basıncı yeterince düştüğünden, dev granül hücre arakesitleri arasında yeni manyetik tüpler meydana gelebilir.

9) Konvektif bölgedeki türbülans basınçları dikkate alınmadan yapılan çözümler sağlıklı olmamaktadır. Bu çalışmada konvektif bölgenin gaz basıncı ve türbülans basıncı dikkate alınarak çözümlere gidilmiştir. Sıcaklığın derinlikle arttığı düşünülürse, konvektif bölgenin derinliklerinde elektron basıncı büyük rol oynamaktadır. Elektron basıncınıda içine alan çözümlerde daha güçlü manyetik şiddete sahip tüpler elde edilebilir.

Sonuç olarak, bir leke grubunun ilk doğduğu andaki gözlenen eğimine coriolis kuvvetinin etkisi, leke grubundaki lekelerin doğuş süreleri arasındaki zaman farkına göre değişmektedir. Tüp kesitlerinin fotosfere varış hızları arttıkça coriolis kuvvetinin etkisi artmaktadır. Lekeler arasındaki enlem farkıda coriolis kuvvetinin etkisini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

BABCOCK, H. W.: 1961, Astrophys. J. 133, 572

PARKER, E. N.: 1976, Astrophys. J. 204, 259

PARKER, E. N.: 1979, Cosmical Magnetic Fiels, Clarendon Press, Oxford.

SCHÜSSLER. M.: 1977. Astron. Astrophys. 56, 439

SCHÜSSLER. M.: 1979. Astron. Astrophys. 71, 79

SCHÜSSLER. M.: 1980. Astron. Astrophys. 89, 26

SPRUIT. H. C.: 1974, Solar Phys. 34, 277

SPRUIT. H. C.: 1976, Solar Phys. 50, 269

SPRUIT. H. C.: 1977, Ph.D. Thesis. Utrecht.

WELLS. D. A. : 1967. Lagrangian Dynamics, McGraw-Hill B.Com.

C. İBANOĞLU: Güneşte türbülans hareketi için 29 günlük bir dönem verdiniz değil mi? RS CVn yıldızlarında, güneş benzeri yıldızlarda bu hareket için üç değişik çalışma ve konvektif hareket için de üç değişik teorik çalışma var ve türbülans 20-21 gün. Arada çok büyük bir fark var. Acaba onlarda konvektif bölge çok daha sığ mı ?

H. GÜLSEÇEN: Bir konvektif bölge modeli yapılırken mixing lenght'in seçimi son derece önemli. Onu değiştirdikçe türbülans süresi de değişir. Bu yapılanlarda üç değişik mixing length modeli düşünülmüş. Şu anda hangisinin kullanıldığını ben de hatırlamıyorum. 29 günlük bir süre bana esasında az geliyor. Daha yüksek olması lazım.

O. DEMİRCAN: Ben önce güzel bir çalışma olduğunu söyleyeyim. Bu çalışmalarla olayların fiziğini daha iyi anlayacağız. Konvektif çevrim tamamen yıldızın H-R diyagramındaki yeri ile ilgili. Hatta çevrimin yönü bile yıldızdan yıldıza farklı. Konvektif çevrimin süresinde yıldızın çift yıldız bileşeni olup olmaması da çok fazla etkilidir.

M. ÖZEL: Siz modelde magnetik alanın değerini 1457.7 Gauss olarak veriyorsunuz. Gerçekten model bu kadar duyarlı mı? Yani 1458 yada 1500 demek daha doğal değil mi?

H. GÜLSEÇEN: Magnetik kaldırma kuvvetinin türbülans basıncını yenmesi gerekli. Yani bu oradaki türbülans basıncına karşılık gelen magnetik şiddettir.

M. ÖZEL: Yani 1457 değilde 1400 Gauss deseniz daha iyi.

H. GÜLSEÇEN: Tabii olabilir.

H. KIRBIYIK: Ben de Osman beye katılıyorum, çok güzel bir çalışma. Ancak bir hatırlatmada bulunmak istiyorum. Kullandığınız modeli Türkiye'de de bulabilirsiniz ve hatta geliştirebilirsiniz. ODTÜ'de benim bildiğim kadarı ile sizin için kullanılabilecek güneş modellerimiz var. Sayın Eryurt-Kızıloğlu'nun çalışmalarının olduğunu biliyorum. Bunun da ötesinde bilmiyorum kullandığınız modelde dönme evrime dahil edilmiş midir? Bir sonrası, belki çalışmanızın daha gelişmiş şekli, dönme de dahil edilerek modele, konvektif bölgedeki yapı hakkında daha sağlıklı bilgi edinebilirsiniz. İkinci bir şeyi ihmal ediyorsunuz, onları kontrol edebilirsiniz. Meridyensel sürüklenmeyi ihmal ettik dediniz, eğer konvektif altüst olma zamanını veya madde hücresinin hızını biliyorsanız, meridyensel dolanım hızını da biliyorsunuz. Oradan biraz ihmal edilebilir olduğunu bulabilirsiniz.

H. GÜLSEÇEN: Amaç tüpü kendi ekseni etrafında döndürmemektir. Çünkü o zaman manyetik çizgilerde bir burulma meydana gelecektir. İşin içine Lorentz kuvvetleri girecektir, elektrik alan girecektir. Amaç o yüklerden kurtulmak olduğu için ihmal edildi.

ÖRNEK ÇÖZÜM 1a

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA
MANYETİK AKI TÜPÜ
T(KON) = T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 20°	: 22°
BOYLAM	: 35°	: 30°
YARIÇAP	: 5000 Km.	: 5000 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1924 Gauss	: 1782 Gauss
İLKEL EĞİM	: 23°11′57.3	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 20°	: 22°
BOYLAM	: 34°17′11.″8	: 29°13′07.″53
YARIÇAP	: 8311 Km.	: 8311 Km.
MAN. ŞİDDET	: 697 Gauss	: 645 Gauss
VARIŞ HIZI	: 0.887 Km/sn.	: 0.820 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 57 gün, 09 saat, 33 dak, 23 sn.
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 61 gün, 23 saat, 55 dak, 52 sa.
ZAMAN FARKI : 4 gün, 14 saat, 22 dak, 29 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 58°54′48.0
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 22°55′15.″6
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 23°03′42.58

ÖRNEK ÇÖZÜM 1b

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA
MANYETİK AKI TÜPÜ
T(KON) = T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 20°	: 22°
BOYLAM	: 35°	: 30°
YARIÇAP	: 1500 Km.	: 1500
MAN. ŞİDDET	: 3780 Gauss	: 3709 Gauss
İLKEL EĞİM	: 23°11′57.3	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 20°	: 22°
BOYLAM	: 34°38′19.″2	: 29°37′58.″5
YARIÇAP	: 2493 Km.	: 2493 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1368 Gauss	: 1342 Gauss
VARIŞ HIZI	: 7.647 Km/sn.	: 3.983 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 29 gün, 04 saat, 48 dak, 26 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 29 gün, 18 saat, 09 dak, 30 sn
ZAMAN FARKI : 13 saat, 21 dak, 4 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 33°40′29.″0
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 23°10′31.″7
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 23°07′59.″2

ÖRNEK ÇÖZÜM 2a

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) = T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 25°	: 27°
BOYLAM	: 40°	: 30°
YARIÇAP	: 480 Km.	: 480 Km.
MAN. ŞİDDET	: 3779 Gauss	: 3709 Gauss
İLKEL EĞİM	: 12°33′10.3	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 25°	: 27°
BOYLAM	: 39°39′07.″77	: 29°38′49.″7
YARIÇAP	: 798 Km.	: 798 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1368 Gauss	: 1342 Gauss
VARIŞ HIZI	: 9.420 Km/sn.	: 5.710 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 29 gün, 04 saat, 42 dak, 46 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 29 gün, 18 saat, 03 dak, 42 sn
ZAMAN FARKI : 13 saat, 20 dak, 56 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 20°11′26.″7
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 12°32′48.″5
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 12°31′38.2

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) < T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 25°	: 27°
BOYLAM	: 40°	: 30°
YARIÇAP	: 480 Km.	: 480 Km.
MAN. ŞİDDET	: 3779 Gauss	: 3709 Gauss
İLKEL EĞİM	: 12°33′10.3	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 25°	: 27°
BOYLAM	: 39°39′09.″27	: 29°38′55.″7
YARIÇAP	: 798 Km.	: 798 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1368 Gauss	: 1342 Gauss
VARIŞ HIZI	: 10.266 Km/sn.	: 6.074 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 29 gün, 11 saat, 40 dak, 49 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 30 gün, 00 saat, 25 dak, 58 sn
ZAMAN FARKI : 12 saat, 45 dak, 9 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 21°07′49.″05
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 21°32′05.″9
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 12°31′37.4

ÖRNEK ÇÖZÜM 2b

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) = T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 30°	: 32°
BOYLAM	: 40°	: 30°
YARIÇAP	: 800 Km.	: 800 Km.
MAN. ŞİDDET	: 3637 Gauss	: 3412 Gauss
İLKEL EĞİM	: 13°08′17.76	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 30°	: 32°
BOYLAM	: 39°38′02.″83	: 29°36′27.″7
YARIÇAP	: 1330 Km.	: 1330 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1316 Gauss	: 1235 Gauss
VARIŞ HIZI	: 4.884 Km/sn.	: 4.043 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 30 gün, 08 saat,13 dak, 44 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 32 gün, 08 saat,17 dak, 42 sn
ZAMAN FARKI : 2 gün, 0 saat, 3 dak, 58 sn
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 39°55′11.″3
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 13°06′17.″31
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 13°06′06.17

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) < T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 30°	: 32°
BOYLAM	: 40°	: 30°
YARIÇAP	: 800 Km.	: 800 Km.
MAN. ŞİDDET	: 3637 Gauss	: 3412 Gauss
İLKEL EĞİM	: 13°08′17.76	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 30°	: 32°
BOYLAM	: 39°38′13.″8	: 29°36′58.″1
YARIÇAP	: 1330 Km.	: 1330 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1316 Gauss	: 1235 Gauss
VARIŞ HIZI	: 5.251 Km/sn.	: 4.326 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 30 gün, 13 saat, 55 dak, 55 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 32 gün, 11 saat, 28 dak
ZAMAN FARKI : 1 gün, 21 saat, 32 dak, 05 sn
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 40°50′29.2
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 13°06′41.″94
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 13°06′05.61

ÖRNEK ÇÖZÜM 2c

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) = T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 30°	: 35°
BOYLAM	: 90°	: 80°
YARIÇAP	: 100 Km	: 1000 Km
MAN. ŞİDDET	: 1455 Gauss	: 1455 Gauss
İLKEL EĞİM	: 30°40′53.94	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 30°	: 35°
BOYLAM	: 89°06′34.″65	: 79°07′32.″47
YARIÇAP	: 166 Km.	: 1662 Km.
MAN. ŞİDDET	: 527 Gauss	: 527 Gauss
VARIŞ HIZI	: 3.430 Km/sn.	: 1.653 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 75 gün, 20 saat, 28 dak, 28 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 75 gün, 20 saat, 36 dak, 36 sn
ZAMAN FARKI : 08 dak, 08 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 00°18′46.″94
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 30°43′19.″4
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 30°14′04.9

KONVEKTİF BÖLGENİN TABANINDA MANYETİK AKI TÜPÜ T(KON) < T(TÜP)

	A KESİTİ	C KESİTİ
ENLEM	: 30°	: 35°
BOYLAM	: 90°	: 80°
YARIÇAP	: 100 Km.	: 1000 Km.
MAN. ŞİDDET	: 1455 Gauss	: 1455 Gauss
İLKEL EĞİM	: 30°40′53.94	

FOTOSFERDEKİ LEKE GRUBU

	ÖN LEKE	ARKA LEKE
ENLEM	: 30°	: 35°
BOYLAM	: 89°20′43.″1	: 79°21′25.″7
YARIÇAP	: 166 Km.	: 1662 Km.
MAN. ŞİDDET	: 527 Gauss	: 527 Gauss
VARIŞ HIZI	: 5.902 Km/sn.	: 2.312 Km/sn.

ÖN LEKENİN YÜKSELME SÜRESİ: 69 gün, 21 saat, 15 dak, 29 sn
ARKA LEKENİN YÜKS. SÜRESİ : 69 gün, 21 saat, 21 dak, 17 sn
ZAMAN FARKI : 05 dak, 48 sn.
YÜKSEKLİK EĞİM AÇISI : 00°24′52.″87
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Cor.Kuv+Dif.Rot.): 30°42′40.″9
GÖZLENEN LEKE GRUBU EĞİMİ(Dif.Rot.) : 30°16′09.9