Ulusal Astronomi Kongresi, 4-7 Eylül 2016, Erzurum

GÜNEŞ'TE VE BENZERİ YILDIZLARDA MANYETİK ETKİNLİK VE DİNAMO SÜREÇLERİ

EMRE IŞIK

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG, GÖTTINGEN
 FEZA GÜRSEY FİZİK VE MATEMATİK MERKEZİ, BOĞAZİÇİ ÜNİ., İSTANBUL





MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT





FEZA GÜRSEY FİZİK VE MATEMATİK UYGULAMA ve ARAŞTIRMA MERKEZİ



Jahr

Manyetik Güneş

Sorumlu: Konveksiyon bölgesi

⇒ Radyal entropi gradiyenti

Convection Zone



adiative Zone

-> = Heat

Yatay entropi gradiyentleri



soğuk

Asimetrik konveksiyon

Spruit+1990



P: 10¹⁵ 10⁵ bar

•

GÜNEŞ'İN MANYETİK ÇEVRİMİ AÇIK PROBLEMLER

- Güneş'in 11/22 yıllık etkinlik/manyetik çevriminin perde arkası...
 - Çevrimi güden manyetik akı nereden beslenir, nerede depolanır?
 - Çevrimi doyuma ulaştıran doğrusal olmayan süreçler neler olabilir?
 - Büyük minimumlar ve maksimumlar nasıl oluşur?







- Yıldız etkinliği, dönme ile neden ve nasıl şiddetlenir?
- Dönme çevrim dönemleri arasındaki bağlılık nasıl açıklanabilir?
- Yıldız etkinliğini denetleyen doğrusal olmayan süreçler nelerdir?

YILDIZ MANYETİK ETKİNLİĞİ AÇIK PROBLEMLER



Petit vd. 2009

- Manyetik etkin yıldızlarda B nasıl oluşur ve taşınır?
- Gözlenen güçlü toroidal alanlar gerçek mi? Öyleyse nasıl oluşur?
- Yıldız etkinliğini denetleyen doğrusal olmayan süreçler nelerdir?



GÜNEŞ DİNAMOSU MANYETİK ÇEVRİM İÇİN ÖNERİLEN MEKANİZMALAR



JEOMANYETİK İŞARETÇİ WANG & SHEELEY 2009

- Gezegenlerarası manyetik alan şiddetinin fonks. aa indisi
- Minimumda Güneş'in kutup alanlarının şiddeti ile orantılı
- Bir sonraki çevrimin genliği ile yüksek korelasyon



ÇEVRİMLERİN ÖNGÖRÜLEBİLİRLİĞİ "YANLIŞ" IŞARETLI AKI EKVATORU GEÇERSE...

- Önemli miktarda ters işaretli akı diğer yarıküreye taşınabilir
- Bir sonraki çevrimin genliğini belirlemede önemli belirsizlik
- Ya minimumda olursa?
 - Kutup akısı ile aynı mertebede akı geçebilir
 - Büyük minimumları tetikleyebilir mi?



TOROİDAL ALAN* NEREDEN BESLENİR? *GÜNEŞ LEKELERİNİ OLUŞTURAN ALAN

(f) (d) d's (e) 0 -۷^(g) (c) (b) (h) (i) (j)

YÜZEY ALANLARIMIN ÖNEMI

CAMERON & SCHUSSLER 2015



TOROİDAL ALAN HANGİ KOŞULLARDA TUTULABİLİR? NE MİKTARDA, NEREDE, NE SÜREYLE?



MANYETİK AKI TÜPLERİNİN DEPOLANMASI DIŞ AKIŞLAR ALTINDA DOĞRUSAL VE D.OLMAYAN KARARLILIK

- Dış akışların ince akı tüplerine etkileri (konvektif fırlatma b.)
- Akış genliği ve süresi için üst sınırlar
- İnce manyetik akı tüplerinin fırlatma bölgesinde depolanması: Kısıtlar
- Akış hızı genliği ~50 m/s
- Karşılaştırma: Miesch vd.
 (2012) min. konv. hız ~ 50 m/s
- Karş.: Karışım uzunluğu (——)



POLOİDAL ALAN ÜRETİMİNİN SINIRLANMASI

DİNAMO NASIL DOYUMA ULAŞIR?

P-T-P-T-P-T-P-T-?



ETKİN KUŞAKLARA DOĞRU AKIŞLAR DOYUM DÜZENEĞİ OLUŞTURABİLİR Mİ?

- Etkin bölgelerde ışınımsal entropi kaybı \propto manyetik akı
- Eğiklik açısını azaltabilir mi?
- Çevrim şiddeti ile ters ilişki?





ETKİN KUŞAKLARA DOĞRU AKIŞLAR EVET, DOYUM DÜZENEĞİ OLUŞTURABİLİR.



sunspot

Maximum

100

50

0

2

içe akışlar var

 Φ_{dipole} between cycle n-1 and n [x10¹⁴ Wb]

sınırlama (Jiang, Işık, vd. 2010)

Çevrim benzetimleri: YAT modellerinde daha yüksek korelasyonlar (Cameron & Schüssler 2012)

DERİNDE YATAN ISISAL SALINIM Alternatif doyum düzeneği?

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 813:L13 (5pp), 2015 November 1 © 2015. The American Astronomical Society. All rights reserved.

doi:10.1088/2041-8205/813/1/L13

A MECHANISM FOR THE DEPENDENCE OF SUNSPOT GROUP TILT ANGLES ON CYCLE STRENGTH

Emre Işik^{1,2}

¹ Department of Physics, Faculty of Science and Letters, Istanbul Kültür University, 34156, Bakirköy, Istanbul, Turkey; e.isik@iku.edu.tr ² Feza Gürsey Center for Physics and Mathematics, Boğaziçi University, 34684, Çengelköy, Istanbul, Turkey *Received 2015 September 22; accepted 2015 October 14; published 2015 October 26*

GÖZLEMSEL İPUCU HELYOSİSMOLOJİK İŞARETLER

SOLAR CYCLE RELATED CHANGES AT THE BASE OF THE CONVECTION ZONE

CHARLES S. BALDNER AND SARBANI BASU

Department of Astronomy, Yale University, P.O. Box 208101, New Haven, CT, 06520-8101; charles.baldner@yale.edu

Received 2008 April 4; accepted 2008 July 2





 Yavaşlama deseni, yüzey manyetogramları ile ilişkili



Rempel (2003) TABANDAKİ MANYETİK KATMAN, İÇ YAPIYI NASIL DEĞİŞTİRİR?





FIRLATMA BÖLGESİNDE DEPOLANAN ALAN, BÖLGEYİ KARARLILAŞTIRIR

Işık 2015 ApJ Lett. 813, L13

DEĞİŞTİRİLMİŞ KATMANLAŞMA

[BAŞVURU: 1B YEREL OLMAYAN KARIŞIM UZUNLUĞU MODELİ] tedirginlikler



1B YOKUM (Skaley & Stix 1991)

Işık 2015 ApJ Lett. 813, L13 KARARLILAŞAN FIRLATMA KATMANI



Işık 2015 ApJ Lett. 813, L13 DOĞRUSAL KARARLILIK ÇÖZÜMLEMESİ GÜÇLÜ ÇEVRİMLERDE MANYETİK AKI TÜPLERİ DAHA KARARLI



Enlem

Işık 2015 ApJ Lett. 813, L13 JOY KURALI VE GÖZLENEN TERS İLİŞKİ BABCOCK-LEIGHTON DÜZENEĞİNİN DOYUMA ULAŞMASI?



$T_{\rm m}$ (K)	δ (×10 ⁻⁵)	$\langle \alpha \rangle$	$\langle \alpha \rangle / \langle \lambda \rangle$	а	γ_0	Т
0	-0.098	6.69	0.23	0.25	15.2	1.39
-5	-0.636	5.34	0.21	0.23	13.7	1.22
-10	-1.16	4.29	0.17	0.19	11.2	1.03
-20	-2.24	3.63	0.14	0.15	9.0	0.86
-50	-54.9	2.91	0.11	0.13	7.7	0.72

- Güçlü çevrimler küçük eğiklikler
- 5-20 K soğuma farkları yeterli
- Gözlenen min-max aralığı: 140 K
- Doğrulama / daha çok çevrim gerekli



ETKİLER (SÜREN ÇALIŞMA)

A nonlinear Babcock-Leighton dynamo with stochastic sources (Işık, Cameron, Schüssler 2016, ongoing work, based on Jiang et al. 2013)



- Güneş çevrimlerini doyuma ulaştıran düzenek...
- Eğiklik açısı çevrim ortalamalarında gözlenen değişimi açıklar...
- Babcock-Leighton dinamo düzeneklerinde kullanılabilir...

Cossette et al. 2013 ETKİNLİK ÇEVRİMİ ~ DERİN ISISAL ÇEVRİM



Figure 2. Temporal evolution: zonally averaged toroidal component of the magnetic field (top) and zonally averaged deviation of the convective heat flux. F (bottom) at $r = 0.87 R_{\odot}$. At mid/high latitudes, the absolute value of the zonally averaged toroidal field has a period and phase comparable to that of the flux variation.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

Likewise, the signature of the short-term magnetic cycle can be seen in the flux comprised within the equatorial band, although it appears to be in anti-phase with the flux variation at the mid/high latitudes. Here, however, we postpone a thorough discussion of the short-term magnetic signal to a future publication and focus on changes related to the long-term cycle.

The top panel of Figure 3 displays histories of both the unstable layer's normalized total magnetic energy $E_n^* \equiv E_n/\max(E_m)$ (black curve) and temporal perturbation of the normalized convective luminosity $\Delta L_{cv}^* \equiv (L_{ev} - \tilde{L}_{ev})/\tilde{L}_{ev}$ at $r = 0.87 R_{\odot}$ (red curve) and its 5 yr running mean (yellow curve), where the maximum of magnetic energy is taken over the full time sequence of the simulation and \tilde{L}_{cv} is the timeaveraged convective luminosity. Thus, the combination of the mid/high latitudes in-phase flux modulation and the equatorial band's signal gives a total convective flux variation that has the same phase as E_{-} . Its amplitude is of the order of 10% of \tilde{L}_{--}



KANDILLI RASATHANESI LEKE ÇİZİMLERİ ARŞİV VERİLERİNDEN EĞİKLİK AÇISI ÖLÇÜMÜ

- Umbral alanlar ve konumlar
- Leke grubu • eğiklik açıları





KANDILLI RASATHANESI LEKE ÇIZIMLERİ

ARŞİV VERİLERİNDEN EĞİKLİK AÇISI ÖLÇÜMÜ



Time [yr]

1980 1990 2000 Time [yr]

KAPALI DEVRE DİNAMO MODELLERİ Güneş çevrimini biçimlendiren fiziksel süreçler



GÖZLEMLERİN BESLEDİĞİ AKI TAŞINIM DİNAMOSU

15-21. ÇEVRİMLERİN AKI TAŞINIM DİNAMO MODELİ - JIANG VD. 2013

(2)

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \eta (\nabla^2 - \frac{1}{s^2}) A - \frac{1}{s} (\boldsymbol{v'} \cdot \nabla) (sA) + S, \qquad (1)$$

 $\eta(\nabla^2 - \frac{1}{s^2})B + \frac{1}{r}\frac{d\eta}{dr}\frac{\partial}{\partial r}(rB)$

 $-\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(r\upsilon_r'B) + \frac{\partial}{\partial \theta}(\upsilon_\theta'B)\right] + s(\boldsymbol{B}_p \cdot \nabla)\Omega,$

 Yüksek korelasyonlar, B-L paradigmasını güçlendirdi.



 $\frac{\partial B}{\partial t} =$



DOĞRUSAL OLMAYAN, STOKASTİK KAYNAKLI B-L DİNAMOSU

(IŞIK, CAMERON, SCHÜSSLER 2016, HAZIRLANIYOR)



GÜNEŞ'İN GENÇ HALLERİNDE VE DİĞER SOĞUK YILDIZLARDA ETKİNLİĞİ ANLAMAK

DÖNME - ETKİNLİK İLİŞKİSİ

DÖNME HIZININ ÖNEMİ

Reiners vd. 2014



• $L_X/L_{bol} \propto P^{-2} R^{-4}$: daha iyi korelasyon! $L_X \propto P^{-2}$ ile eşdeğer! $L_X/L_{bol} \propto Ro = P/t_{conv}$

YILDIZ LEKELERİNİN ÖMÜRLERİ IŞIK, SCHÜSSLER, SOLANKI (2007)

- Yüzeysel akı taşınımı
- Yalıtık çift kutuplu bölge
- Gözlenen yüzey dif. dönmesi
- Güneş boylamsal akışı ve difüzyonu
- Ömürler \propto boyutlar, akışlar, yıldız yarıçapı





TABANDAKİ SÜREÇLERİ YÜZEYE BAĞLAMAK IŞIK VD. 2011 (G-K YILDIZLARI)

Surface flux transport (photosphere) — Baumann et al. (2004)

– Işık, Solanki, Schüssler (2007) A&A 464, 1047

Emergence latitudes & tilt angles

Flux tube instability & rise (through CZ) — Işık & Holzwarth (2009)
 Emergence probability ∝ B(dynamo)
 [# of emergence events] ∝ Ω_★

Next steps

Thin-layer $\alpha \Omega$ dynamo (base of CZ) – Schmitt et al. (1989) $\alpha \propto \Omega_{\star}$ – assumption for faster rotation

GÜNEŞ BENZERİ YILDIZLAR

DÖNME HIZINI ARTIRMANIN SONUÇLARI

Güçlenen kutup alanları

Savaşan etkiler: Ekvatoru geçen akı X eğiklik X çevrim örtüşmesi

Kutup alanları zayıflıyor



lşık vd. (2011)

ORTA HIZDA DÖNEN YILDIZ

- Akı tüpleri: Yükselişin sapması zayıf
- Kutup alanları ≈ alçak enlemli alanlar (ve karşıt evrede)
- "Flat activity"?





10 (/57) G YILDIZI DÜZ <u>VE</u> ETKİN DURUMDA HALL & LOCKWOOD (2004)

THE ASTROBUSSICAL JOURNAL, 614:942–946, 2004 October 20 € 2004. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

THE CHROMOSPHERIC ACTIVITY AND VARIABILITY OF CYCLING AND FLAT ACTIVITY SOLAR-ANALOG STARS

JEFFREY C. HALL AND G. W. LOCKWOOD Lowell Observatory, 1400 West Mars Hill Road, Flagstaff, AZ 86001; jch@lowell.edu Received 2004 March 25; accepted 2004 July 1

ABSTRACT

We present an analysis of more than 3700 observations of the Ca II H and K lines in 57 Sun-like stars and over 3000 analogous observations of the Sun. Ten of the 57 stars under consideration are observed in flat states, but these stars do not always exhibit overall Ca II H and K core brightness below that of solar minimum. Solar activity minimum lies near the lowest level observed for stars with cyclic or irregular variability, but many flat stars have HK activity levels comparable to or exceeding that of solar minimum. While flat activity stars may be in periods of extended activity minima analogous to the solar Maunder minimum, a significant reduction in magnetic activity during such periods is not implied (although it is also not rejected) by the data.

Subject headings: stars: activity - Sun: activity

Işık vd. 2011 d Etkinlik çevrimleri - KOV yıldızı, P_{rot}=2



Işık vd. 2011

K1IV (alt dev) yıldız

kütle, yarıçap, konvektif katmanlaşma, dif. dönme oranı ≈ HR 1099_Yüzeye çıkış





Tabandaki toroidal **B**

- Yüksek enlemlerde
 yüzeye çıkış
- Dinamo dalgaları ve emergence pattern separated



Yüzeysel akı taşınımı

Işık vd. 2011 K1IV yıldızında çevrim(ler)





 Yüzey taşınımı kutuplarda zayıf

Ø Rastgele
 bileşenin etkileri
 ≈ periyodik
 dinamo sinyalinin
 genliği

Gözlem ~ Model

Işık 2012

yrs

1.10

1.37

1.83

2.74

5.48

linf.

Dinamik kuvvet tayfları: K. Olah



Gözlem ~ Model

Işık 2012

Dinamik kuvvet tayfları: K. Olah



STOKASTİK KAYNAKLI B-L MODELİ DÖNME DÖNEMİ: 2 GÜN

tüp

- Varsayım: $\Delta\Omega\propto\Omega$
- Yüzeye çıkış özellikleri: benzetimleri
- Dinamo periyodu: ~ 5 yıl
 - Yarı düzenli, çift periyotlu değişimler
 - Güçlü kuzey-güney asimetrisi
 - Parite değişimleri
- (süren çalışma)



İLERİYE BAKIŞ AÇIK PROBLEMLER

- 2B akı taşınım dinamosu + doğrusal olmayan ve stokastik etkiler == Güneş çevriminin istatistik özellikleri ve diğer yıldızlar arasında hangi durumda old.
- 2. Dinamo zaman ölçeklerinde iç yapı değişimlerini modellemek <—> helyosismoloji
- 3. (1)'i orta düzeyde etkin Güneş benzeri yıldızlar için bir sayısal deney düzeneği olarak kullanmak
- 4. (1)'i yıldızlarda yüzeysel akı taşınımı modellerinde kullanmak
 - Dönme ve çevrim zaman ölçeklerinde yıldız parlaklık değişimlerini modellemek
 - Zeeman-Doppler görüntüleme tekniğini denetlemek; taç ve rüzgar modellemesi
- 5. Hızlı dönen etkin yıldızlarda lekelerin gözlenen enlemsel dağılımı
- 6. Dönme etkinlik bağlılığı için fiziksel açıklama

TEŞEKKÜRLER

- TÜBİTAK 1001: 113F070 ve 114F372 no.lu projeler
- Bilim Akademisi BAGEP 2016 astrofizik ödülü