

GÜNEŞTACI PLAZMASINDA İYON-CYCLOTRON REZONANSI

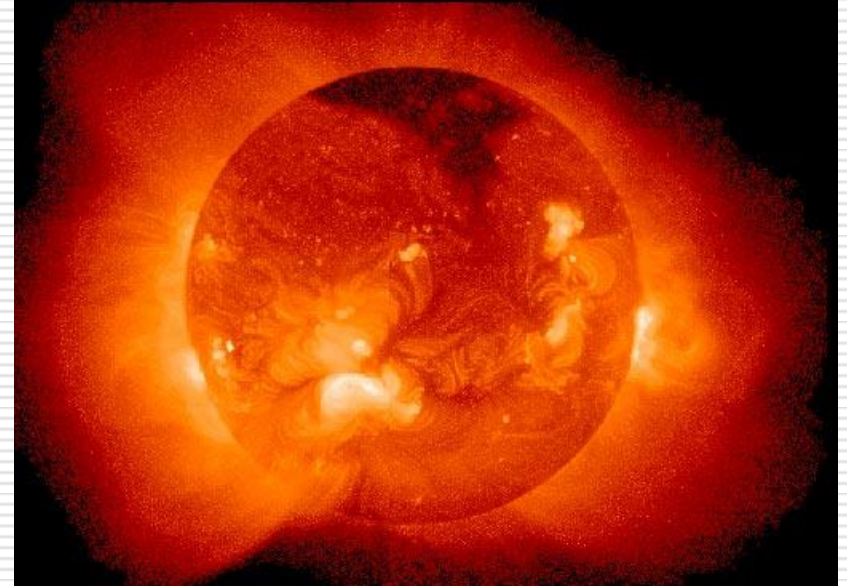
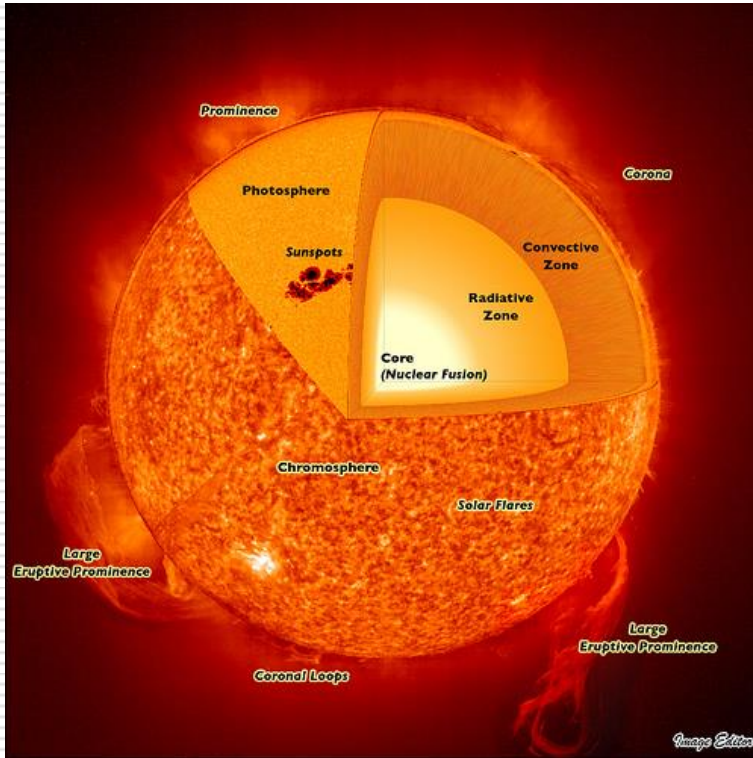
Özgür GÜLTEKİN

İstanbul Üniversitesi
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

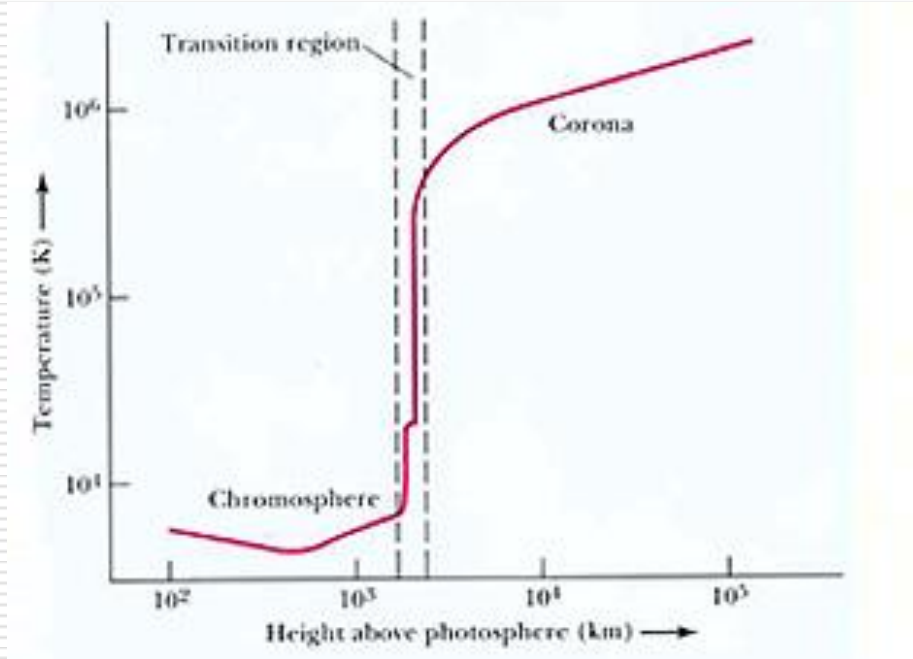
Genel Bir Bakış

- ❑ Güneştacı ve Problemin Tanımlanması
 - ❑ Güneştacının Isıtılması için Önerilen Fiziksel Mekanizmalar
 - ❑ SOHO/UVCS Uydusu Verileri
 - ❑ Soğuk Plazma Yaklaşımı
 - ❑ Vlasov Eşitliğinin Kuzey Güneştacı Deliği Plazmasına Uygulanması
 - ❑ O VI İyonları için Dağılım Bağintısı ve Çözümü
 - ❑ Sonuçlar
 - ❑ Bu Çalışma Nasıl Genişletilebilir?
-

Güneştacı ve Güneştacı Deliği



Güneştacının Isıtılma Problemi



Problem: Güneştacının sıcaklığı alt katmanlara göre çok yüksek!

Soru: Güneştacını ısıtan temel fiziksel mekanizma nedir?

Güneştacının Isıtılması için Önerilen Fiziksel Mekanizmalar

Coronal Holes

Steven R. Cranmer

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics
60 Garden Street, Mail Stop 50
Cambridge, MA 02138, U.S.A.
email: cranmer@cfa.harvard.edu
<http://www.cfa.harvard.edu/~cranmer/>

Accepted on 15 September 2009
Published on 29 September 2009

Reconnection events in the low corona generate:

- Ion cyclotron resonant Alfvén waves Tu and Marsch (1997); Cranmer (2000, 2001)
- Electron beams → ion cyclotron waves Markovskii and Hollweg (2002, 2004)
- Fast collisionless shocks Lee and Wu (2000)

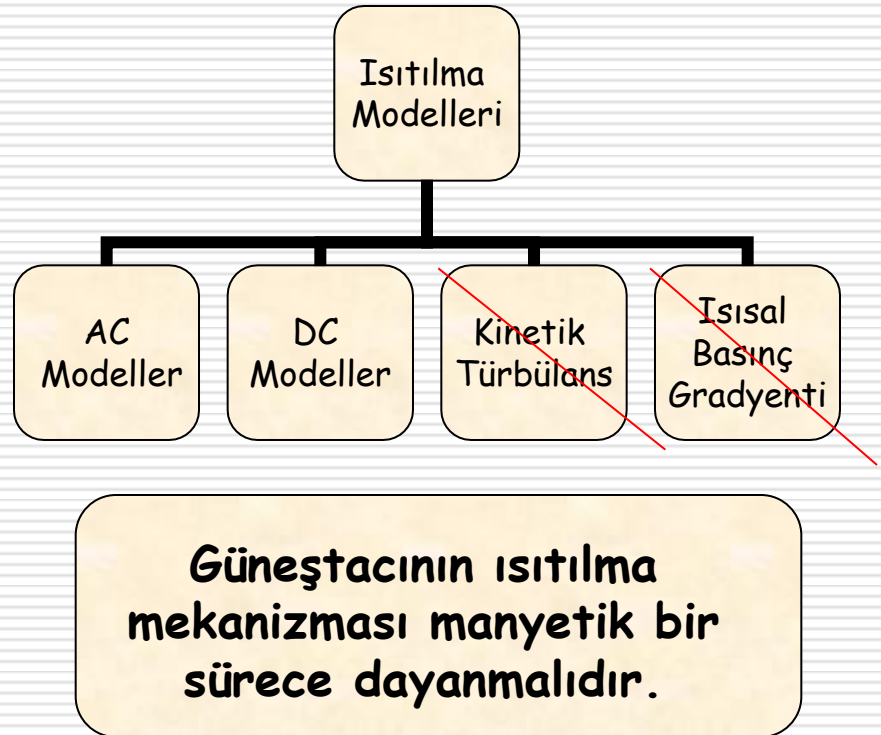
MHD turbulence in the extended corona generates:

- Ion cyclotron waves ("parallel cascade?"), with:
 - » Alfvén and fast-mode nonlinear coupling Chandran (2005)
 - » Three-wave (ion-sound/parametric) coupling Yoon and Fang (2008)
 - » Fermi-like diffusion between inward/outward wave resonances Isenberg (2001)
- Kinetic Alfvén waves ("perpendicular cascade"), with:
 - » Shear instabilities → ion cyclotron waves Markovskii *et al.* (2006)
 - » Nonlinear wave-particle resonances Voitenko and Goossens (2003, 2004)
 - » Debye-scale electron holes Matthaeus *et al.* (2003); Cranmer and van Ballegoijen (2003)
- Oblique MHD waves (high $k_{\parallel}$, high $k_{\perp}$) Li and Habbal (2001)
- Current sheets → coherent Fermi acceleration Dmitruk *et al.* (2004)
- Transverse density gradients → drift currents Markovskii (2001); Zhang (2003)

Low-frequency Alfvén waves in the corona directly undergo:

- Polarization drift → lower-hybrid waves ..Singh and Khazanov (2004); Khazanov and Singh (2007)
- Nonresonant stochastic heating Lu and Li (2007); Wu and Yoon (2007)
- Stochastic heating at fractional cyc. resonance Chen *et al.* (2001); Guo *et al.* (2008)

Heavy ion velocity filtration Pierrard and Lamy (2003); Pierrard *et al.* (2004)



Isıtılma Mekanizması SOHO/UVCS Uydusu Verilerini Açıklayabilmeli!

$$\beta = N_e T_e / (B^2 / 2\mu_0)$$

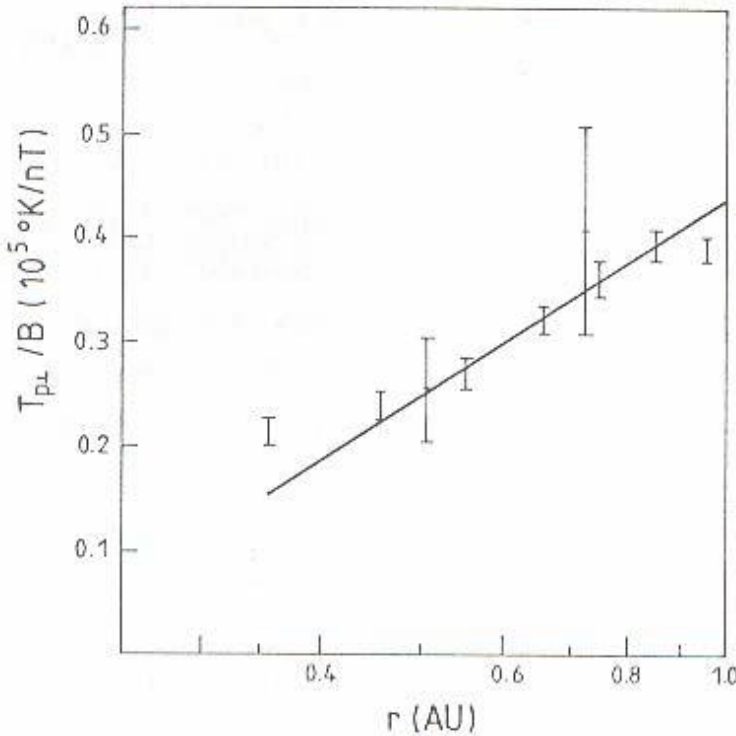
Güneştacı deliğinde manyetize plazma

$$\beta \approx 10^{-12}$$

Manyetik basınç plazma
basıncıdan daha baskındır.

- ☐ *Düşük β*
- ☐ *Manyetik moment artışı*
- ☐ *$T_e \gg T_i$*
- ☐ *O VI Sıcaklık yönbağımlılığı*
- ☐ *Ağır iyonların ısıtılmada tercih edilmesi*

Isıtılma Mekanizması SOHO/UVCS Uydusu Verilerini Açıklayabilmeli!



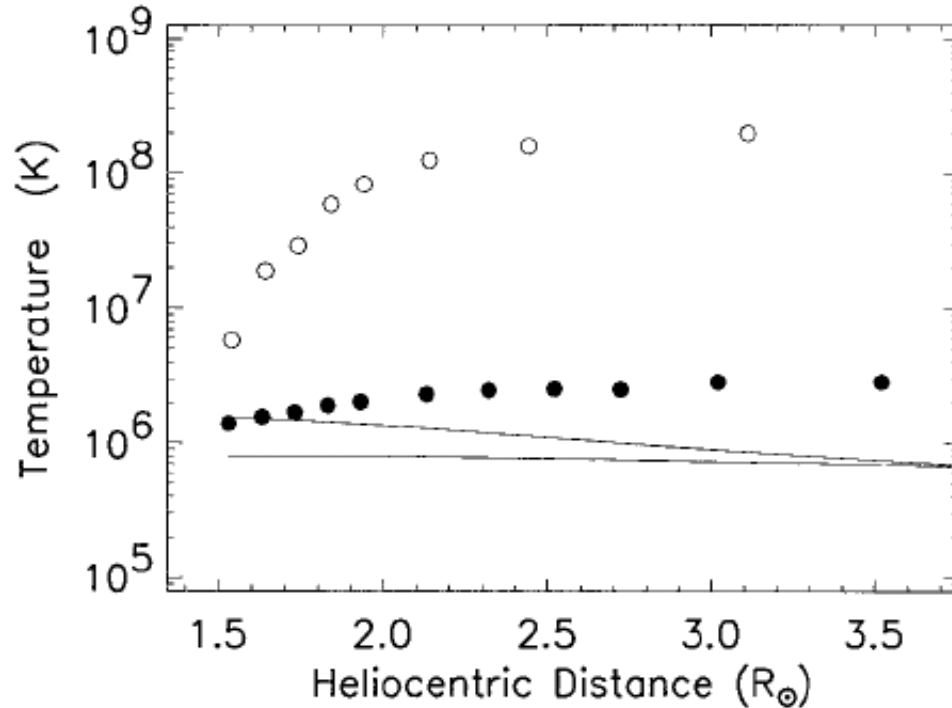
Protonların manyetik moment değişimi
(Schween ve Marsch, 1991)

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} m v_{\perp}^2}{B}$$

Devinimi sırasında farklı manyetik alan bölgelerine girip çıkan yüklü parçacığın Larmor yarıçapı değişir. Ancak manyetik moment değişmemelidir. (ω : Parçacığın B alanında "gördüğü" değişim oranı ise $\omega/\omega_{ic} \ll 1$ koşulu bozulmadığı sürece!)

- ☐ Düşük β
- ☐ Manyetik moment artışı
- ☐ $T_e \gg T_i$
- ☐ O VI Sıcaklık yönbağımlılığı
- ☐ Ağır iyonların ısıtılmada tercih edilmesi

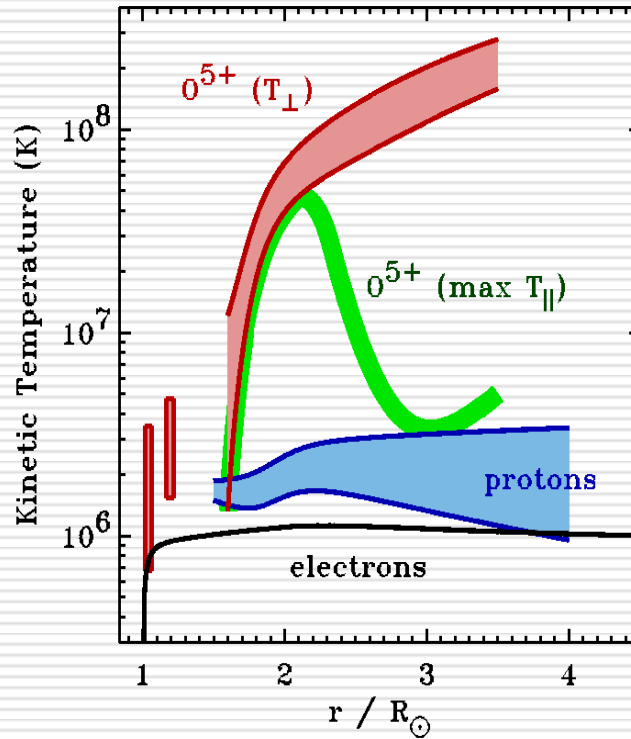
Isıtılma Mekanizması SOHO/UVCS Uydusu Verilerini Açıklayabilmeli!



O VI iyonunun uzaklıkla değişen etkin sıcaklığı (Antonucci ve diğ., 2000)

- ☐ Düşük β
- ☐ Manyetik moment artışı
- ☐ $T_e \gg T_i$
- ☐ O VI Sıcaklık yönbağımlılığı
- ☐ Ağır iyonların ısıtılmada tercih edilmesi

Isıtılma Mekanizması SOHO/UVCS Uydusu Verilerini Açıklayabilmeli!



O VI iyonunun manyetik alanlara dik ve paralel sıcaklığı (Cranmer, 2009)

- ☐ Düşük β
- ☐ Manyetik moment artışı
- ☐ $T_e \gg T_i$
- ☐ O VI Sıcaklık yönbağımlılığı
- ☐ Ağır iyonların ısıtılmada tercih edilmesi

Isıtılma Mekanizması SOHO/UVCS Uydusu Verilerini Açıklayabilmeli!

$$T_{\perp}^{O^{5+}} > T_{\perp}^{He^{++}} > T_{\perp}^{proton} > T_{\perp}^{elektron}$$

Isıtılmada parçacık seçiciliği vardır.
(Marsch, 1999; Marsch, 2006)

- ☐ Düşük β
- ☐ Manyetik moment artışı
- ☐ $T_e \gg T_i$
- ☐ O VI Sıcaklık yönbağımlılığı
- ☐ Ağır iyonların ısıtılmada tercih edilmesi

Uydu Verileri Neye İşaret Ediyor?

□ İyon cyclotron rezonans

(Cranmer, 2009; Tu ve Marsch, 1997;
Marsch, 1999; Marsch, 2006)

□ 1.5 R uzaklığından sonra
çarpışmasız plazma (Doyle ve diğ.,1999)

Soğuk Plazma Yaklaşımı

$$\mathbf{k} \times \mathbf{k} \times \mathbf{E} + \frac{\omega^2}{c^2} \boldsymbol{\epsilon} \cdot \mathbf{E} = 0 \quad \mathbf{k} \times \mathbf{k} \times \mathbf{E} + \frac{\omega^2}{c^2} \left(\mathbf{I} + \frac{4\pi i \boldsymbol{\sigma}}{\omega} \right) \mathbf{E} = 0$$

$$\mathbf{n} = \frac{c}{\omega} \mathbf{k} \quad \mathbf{n} \times \mathbf{n} \times \mathbf{E} + \boldsymbol{\epsilon} \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} S & -iD & 0 \\ iD & S & 0 \\ 0 & 0 & P \end{bmatrix} \quad P = 1 - \frac{\omega_{ep}^2}{\omega^2} \quad R = S + D = 1 - \frac{\omega_{ep}^2}{\omega(\omega - \omega_{ec})}$$

$$L = S - D = 1 - \frac{\omega_{ep}^2}{\omega(\omega + \omega_{ec})}$$

$$\mathbf{n} = n \sin \theta \mathbf{x} + n \cos \theta \mathbf{z}$$

$$\begin{bmatrix} (S - n^2 \cos^2 \theta) & -iD & n^2 \sin \theta \cos \theta \\ iD & S - n^2 & 0 \\ n^2 \sin \theta \cos \theta & 0 & P - n^2 \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = 0$$

$$(S \sin^2 \theta + P \cos^2 \theta) n^4 - [RL \sin^2 \theta + PS(1 + \cos^2 \theta)] n^2 + PRL = 0$$

$$n_1^2 = L$$

$$n_2^2 = R$$

$$R = \frac{c^2 k^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega_{ep}^2}{\omega(\omega - \omega_{ec})} = \frac{\omega^2 - \omega \omega_{ec} - \omega_{ep}^2}{\omega^2 - \omega \omega_{ec}}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\omega^2 - \omega \omega_{ec}}{\omega^2 - \omega \omega_{ec} - \omega_{ep}^2} \quad \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{1}{R} = 0$$

$$\omega = \omega_{ec}$$

$$\omega_R = \frac{\omega_{ec} + \sqrt{4\omega_{ep}^2 + \omega_{ec}^2}}{2}$$

Vlasov Eşitliğinin Kuzey Güneştacı Deliği Plazmasına Uygulanması

$$-i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{v} - \omega) f + \frac{q}{m} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}_0) \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = -\frac{q}{m} (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \frac{\partial f_0}{\partial \mathbf{v}}$$

Düzlem dalga varsayımı yapıldı.

(Tedirginlikler, $\exp(i\omega t - i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$ biçiminde alındı.)



f_0 : Güneştacındaki O VI iyonlarının hız fonksiyonunun tedirgin edilmemiş durumu.

f : Hız dağılım fonksiyonunun tedirgin edilmiş kısmı.

B_0 : Güneştacı deliği manyetik alanı.

E ve B ise dalganın bileşenleridir.

$$f = \lambda \frac{E_y \omega_{ic} - E_x i(kv_{\parallel} - \omega)}{\omega_{ic}^2 - (kv_{\parallel} - \omega)^2} \cos \varphi - \lambda \frac{E_x \omega_{ic} + E_y i(kv_{\parallel} - \omega)}{\omega_{ic}^2 - (kv_{\parallel} - \omega)^2} \sin \varphi$$

Sol çembersel polarize dalga için : $E_y = iE_x$

Sağ çembersel polarize dalga için : $E_y = -iE_x$

$$\lambda = -\frac{q}{m} \left[\left(1 - \frac{kv_{\parallel}}{\omega}\right) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} + \frac{kv_{\perp}}{\omega} \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} \right]$$

$$f_L = -\frac{q}{m} \left[\left(1 - \frac{kv_{\parallel}}{\omega}\right) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} + \frac{kv_{\perp}}{\omega} \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} \right] \frac{ie^{i\lambda} E_x}{\omega_{ic} + kv_{\parallel} - \omega}$$

$$J_x = q \int f v_x d^3V$$

$$J_y = q \int f v_y d^3V$$



f_L hız dağılımının üreteceği akım yoğunluğunun x ve y bileşenleri

Vlasov Eşitliğinin Kuzey Güneştacı Delği Plazmasına Uygulanması

$$J_x = -\frac{q^2 i \pi E_x}{m} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \left[\left(1 - \frac{kv_{\parallel}}{\omega}\right) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} + \frac{kv_{\perp}}{\omega} \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} \right] \frac{v_{\perp}^2}{\omega_{ic} + kv_{\parallel} - \omega} dv_{\perp} dv_{\parallel}$$

$$J_y = -\frac{q^2 i \pi E_y}{m} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \left[\left(1 - \frac{kv_{\parallel}}{\omega}\right) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} + \frac{kv_{\perp}}{\omega} \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} \right] \frac{v_{\perp}^2}{\omega_{ic} + kv_{\parallel} - \omega} dv_{\perp} dv_{\parallel}$$

$$J_x / E_x = J_y / E_y = \text{sabit}$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{J_x / E_x}{i \omega \varepsilon_0}$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{q^2 \pi}{m \omega^2 \varepsilon_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{\left[(\omega - kv_{\parallel}) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} + kv_{\perp} \left(\frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} \right) \right]}{\omega - \omega_{ic} - kv_{\parallel}} v_{\perp}^2 dv_{\perp} dv_{\parallel}$$

İyon Cyclotron Dalgalarının Kuzey Güneştacında Dağılım Bağıntısı

$n^2 = \varepsilon$ alınarak sol çembersel polarize dalgaların dağılım bağıntısı elde edilir.

$$k^2(c^2 - \frac{\omega^2}{k^2}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\frac{q^2 \pi}{m \varepsilon_0} \int_0^{\infty} [(\frac{\omega}{k} - v_{\parallel}) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} v_{\perp}^2 + \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} v_{\perp}^3] dv_{\perp}}{\frac{\omega}{k} - v_{\parallel} - \frac{\omega_{ic}}{k}} dv_{\parallel}$$

$$F(\frac{\omega}{k}, v_{\parallel}) = \frac{q^2 \pi}{m \varepsilon_0} \int_0^{\infty} [(\frac{\omega}{k} - v_{\parallel}) \frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} v_{\perp}^2 + \frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} v_{\perp}^3] dv_{\perp}$$

Varsayım: Plazmanın manyetik alana dik ve paralel yönde Maxwell dağılımı gösterdiği kabul edilecektir.

$$\alpha_{\perp} = (2k_B T_{\perp} / m)^{-\frac{1}{2}} \quad \alpha_{\parallel} = (2k_B T_{\parallel} / m)^{-\frac{1}{2}}$$

$$T_{\perp} / T_{\parallel} = \alpha_{\parallel}^2 / \alpha_{\perp}^2$$

$$f_0 = N_{OVI} \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-\frac{3}{2}} \exp[-(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)]$$

k_B : Boltzmann sabiti

$\alpha_{\perp(\parallel)}$: manyetik alana dik(paralel) yöndeki "en olası hız" ın tersidir.

$$\frac{\partial f_0}{\partial v_{\perp}} = N_{OVI} \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-\frac{3}{2}} (-2\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}) \exp[-(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)]$$

$$\frac{\partial f_0}{\partial v_{\parallel}} = N_{OVI} \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-\frac{3}{2}} (-2\alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}) \exp[-(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)]$$

İyon Cyclotron Dalgalarının Kuzey Güneştacında Dağılım Bağintısı

$$F\left(\frac{\omega}{k}, v_{\parallel}\right) = \left(\frac{q^2 \pi}{m \epsilon_0} \int_0^{\infty} \left[\left(\frac{\omega}{k} - v_{\parallel} \right) (N_{OVI} \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-\frac{3}{2}} (-2 \alpha_{\perp}^2 v_{\perp}) \exp[-(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)]) v_{\perp}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + (N_{OVI} \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-\frac{3}{2}} (-2 \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}) \exp[-(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)]) v_{\perp}^3 \right] dv_{\perp} \right)$$

$$F\left(\frac{\omega}{k}, v_{\parallel}\right) = -\frac{\omega_{ip}^2}{\sqrt{\pi}} \alpha_{\parallel} \left(\frac{\omega}{k} - v_{\parallel} + v_{\parallel} \frac{T_{\perp}}{T_{\parallel}} \right) \exp(-\alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)$$

$$k^2 \left(c^2 - \frac{\omega^2}{k^2} \right) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-\frac{\omega_{ip}^2}{\sqrt{\pi}} \alpha_{\parallel} \left(\frac{\omega}{k} - v_{\parallel} + v_{\parallel} \frac{T_{\perp}}{T_{\parallel}} \right) \exp(-\alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2)}{\frac{\omega}{k} - v_{\parallel} - \frac{\omega_{ic}}{k}} dv_{\parallel}$$

...Fakat Tekil Nokta Katkısı Var!

$$R = i\omega_{ip}^2 \alpha_{\square} \sqrt{\pi} \left[\frac{\omega_{ic}}{k} \left(1 - \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} \right) + \frac{\omega}{k} \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} \right] \exp \left[-\alpha_{\square}^2 \left(\frac{\omega_{ic} - \omega}{k} \right)^2 \right]$$

...Ve Nihayet Dağınım Bağintısı

Dağınım bağıntısı seriye açılıp düzenlendiğinde...

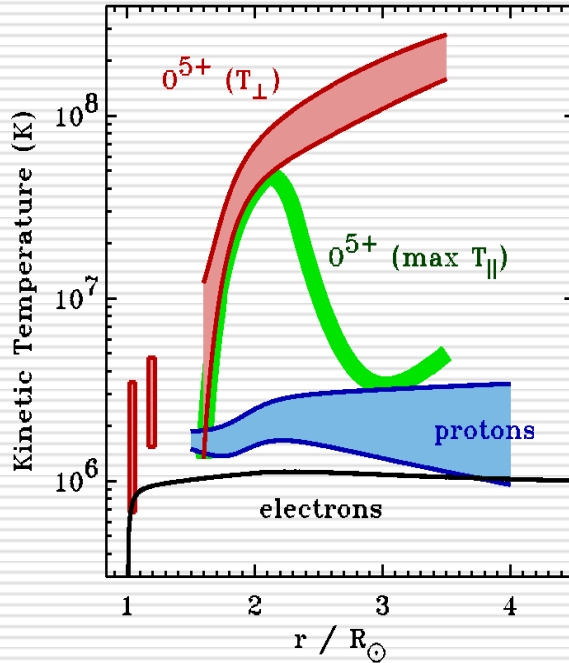
$$k^2(c^2 - \frac{\omega^2}{k^2}) = \left(-\frac{2k\alpha_{\square}}{\omega - \omega_{ic}} \frac{\omega_{ip}^2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \left[\frac{\omega}{k} + \left(\frac{\omega}{\omega - \omega_{ic}} + \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right) v_{\square} + \left(\frac{\omega k}{(\omega - \omega_{ic})^2} + \frac{k(\frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1)}{\omega - \omega_{ic}} \right) v_{\square}^2 + \left(\frac{k^2}{(\omega - \omega_{ic})^2} (\frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1) \right) v_{\square}^3 \right] \exp(-\alpha_{\square}^2 v_{\square}^2) dv_{\square} \right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\omega_{ip}^2}{(\omega - \omega_{ic})^3 \alpha_{\square}^3 \sqrt{\pi}} \left[\frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right] k^3 + \left[\frac{\omega_{ip}^2}{2(\omega - \omega_{ic})^2 \alpha_{\square}^2} \left(\frac{\omega}{\omega - \omega_{ic}} + \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right) + c^2 \right] k^2 \\ & + \left[\frac{\omega_{ip}^2}{\sqrt{\pi}(\omega - \omega_{ic}) \alpha_{\square}} \left(\frac{\omega}{\omega - \omega_{ic}} + \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right) \right] k + \frac{\omega_{ip}^2 \omega}{(\omega - \omega_{ic})} - \omega^2 - R = 0 \end{aligned}$$

Ya dünyamıza inecek ölüm ya da
ölü yıldızlara taşıyacağız hayatı...
Nazım Hikmet



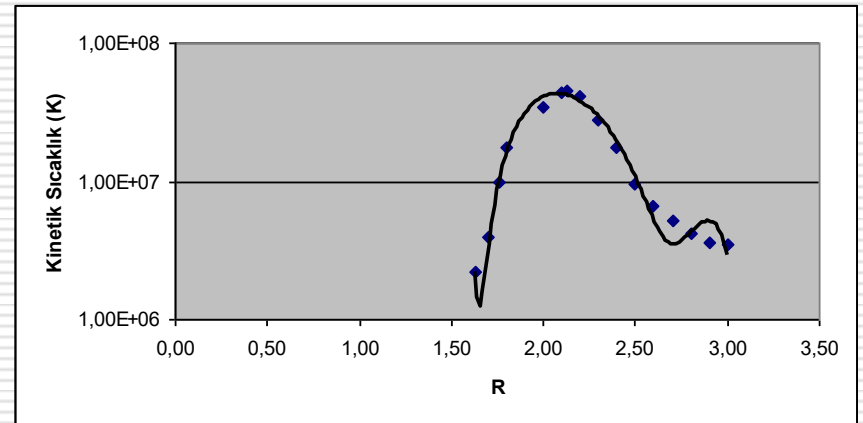
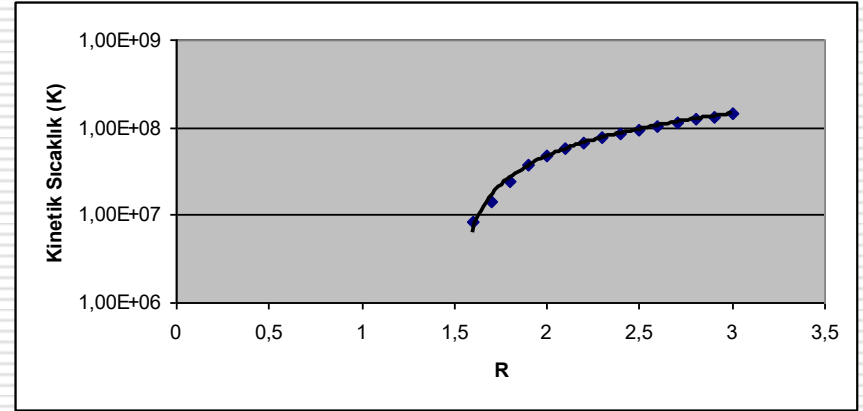
Kuzey Güneştacı Deliğinde $T_{\parallel}$ ve $T_{\perp}$ için Uzaklığa Bağlı Polinomlar



$a = 3089565$
 $b = 112140917$
 $c = 165236923$
 $d = 346836459$
 $e = 5417086469$
 $f = 34628809623$
 $g = 115913467671$
 $h = 214129741099$
 $k = 206844054714$
 $l = 81605668892$

$$T_{\perp}(R) = -aR^2 + bR - c$$

$$T_{\parallel}(R) = dR^6 - eR^5 + fR^4 - gR^3 + hR^2 - kR + l$$



Dağınım Bağıntısının Çözümü İçin Gereken Parametreler

$$\frac{\omega_{ip}^2}{(\omega - \omega_{ic})^3 \alpha_{\square}^3 \sqrt{\pi}} \left[\frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right] k^3 + \left[\frac{\omega_{ip}^2}{2(\omega - \omega_{ic})^2 \alpha_{\square}^2} \left(\frac{\omega}{\omega - \omega_{ic}} + \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right) + c^2 \right] k^2 + \left[\frac{\omega_{ip}^2}{\sqrt{\pi}(\omega - \omega_{ic}) \alpha_{\square}} \left(\frac{\omega}{\omega - \omega_{ic}} + \frac{T_{\perp}}{T_{\square}} - 1 \right) \right] k + \frac{\omega_{ip}^2 \omega}{(\omega - \omega_{ic})} - \omega^2 - R = 0$$

Tekil nokta katkısı
nedeniyle dağınım bağıntısı
reel k ve karmaşık ω
varsayımı altında
çözülebilir. Fakat biz tekil
nokta katkısını ihmal ettik!

$$\omega_{ic} = \frac{q_i B}{m_i} \quad \omega_{ip} = \sqrt{\frac{N_0^{OVI} q_i^2}{\epsilon_0 m_i}} \quad \mathbf{B} = 1.5 (f_{\max} - 1) R^{-3.5} + 1.5 R^{-2} \text{ Gauss} \quad (f_{\max} = 9) \quad (\text{Hollweg, 1999})$$

$$N_e = 10^6 \left(\frac{1 \times 10^8}{R^8} + \frac{2.5 \times 10^3}{R^4} + \frac{2.9 \times 10^5}{R^2} \right) m^{-3} \quad (\text{Doyle, 1999})$$

$$N_e = 10^6 \left(\frac{3.2 \times 10^8}{R^{15.6}} + \frac{2.5 \times 10^6}{R^{3.76}} + \frac{1.4 \times 10^5}{R^2} \right) m^{-3} \quad (\text{Feldman, 1997})$$

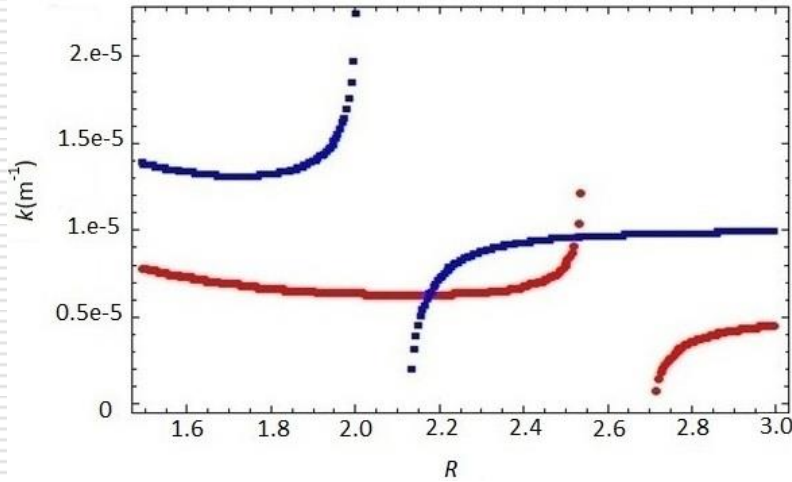
$$N_e = 10^6 \left(\frac{3.7 \times 10^8}{R^{16.86}} + \frac{1 \times 10^7}{R^{9.64}} + \frac{2.4 \times 10^6}{R^{3.76}} \right) m^{-3} \quad (\text{Esser, 1999})$$

$$N_{OVI} = 8 \times 10^{-7} N_p$$

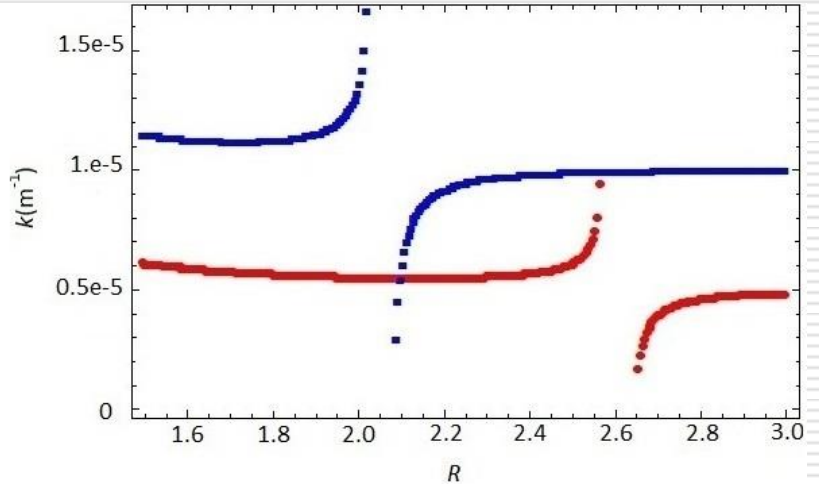
$$N_{OVI} = 2.4 \times 10^{-6} N_p \quad (\text{Cranmer ve diğ., 2008})$$

Güneştacı plazması nötr alınıyor.
(Ne = Np) (Wilhelm ve diğ., 1998)

Sonuçlar: Dağınım Bağıntısının Çözümü



$$N_{\text{OVI}} = 2.4 \times 10^{-6} N_p$$

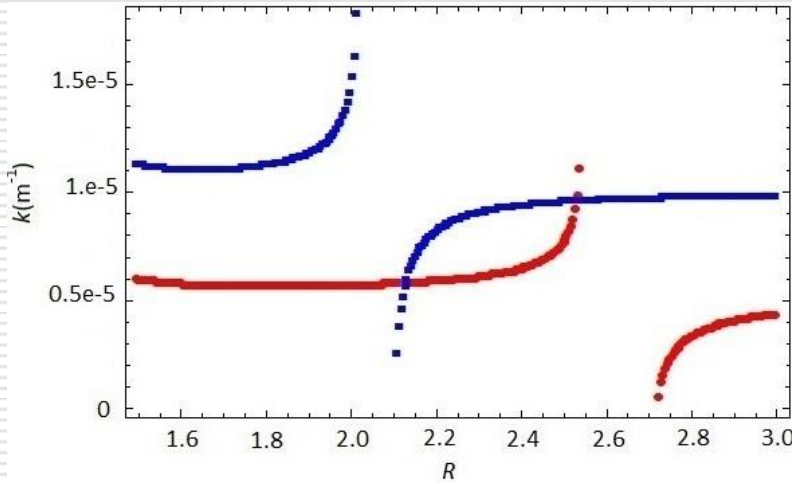


$$N_{\text{OVI}} = 8 \times 10^{-7} N_p$$

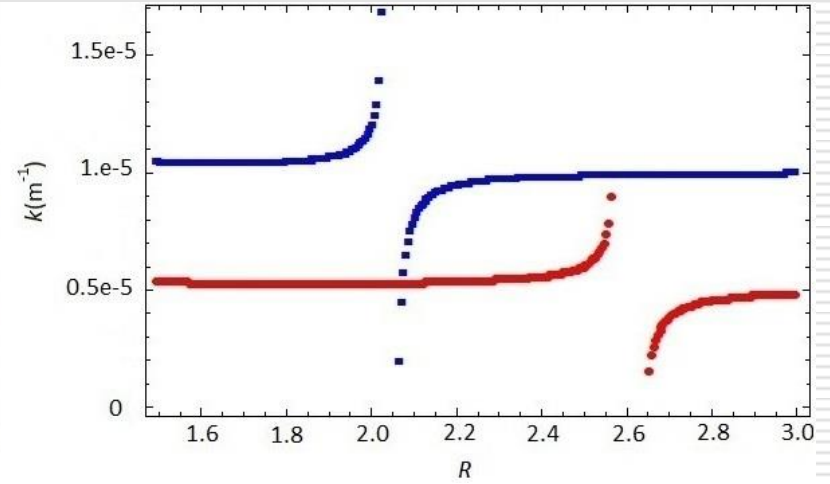
(Elektron sayı yoğunluğu: Doyle, 1999)

(Kırmızı $\omega=1.5$ kHz - Mavi $\omega=3$ kHz)

Sonuçlar: Dağınım Bağıntısının Çözümü



$$N_{\text{OVI}} = 2.4 \times 10^{-6} N_p$$

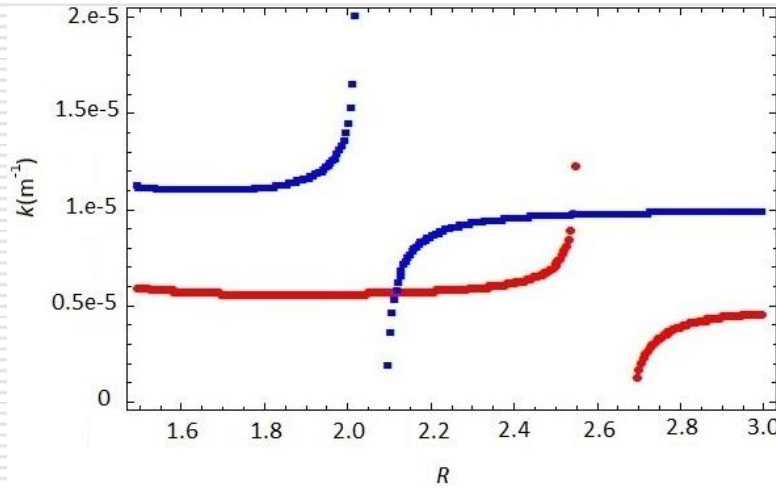


$$N_{\text{OVI}} = 8 \times 10^{-7} N_p$$

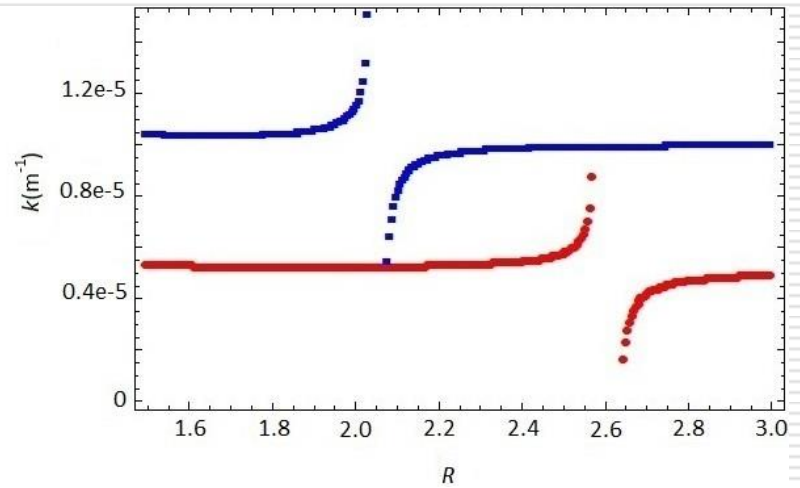
(Elektron sayı yoğunluğu: Feldman, 1997)

(Kırmızı $\omega = 1.5 \text{ kHz}$ - Mavi $\omega = 3 \text{ kHz}$)

Sonuçlar: Dağınım Bağıntısının Çözümü



$$N_{\text{OVI}} = 2.4 \times 10^{-6} N_p$$



$$N_{\text{OVI}} = 8 \times 10^{-7} N_p$$

(Elektron sayı yoğunluğu: Esser, 1999)

(Kırmızı $\omega = 1.5$ kHz - Mavi $\omega = 3$ kHz)

Sonuçlar

1. Kuzey güneştacı deliğinde O VI sayı yoğunluğu için güncel veriler kullanılarak dağınım bağıntısının çözümü iyon cyclotron rezonans sürecine işaret etmektedir.
 2. Uydu verileri iyon cyclotron rezonansının güneştacını ısıtan temel bir süreç olduğunu desteklemektedir. (Sıcaklık yön bağımlılığı, ısıtılmada ağır iyonların öncelikli olması gibi...)
 3. Kuzey güneştacı deliğinde dalgaların O VI iyonlarıyla rezonansa girdiği frekans aralığı 2000-8000 Hz olarak bulunmuştur.
-

Ion–Cyclotron Resonance Frequency Interval Dependence on the O VI Ion Number Density in the North Polar Coronal Hole $1.5R$ – $3R$ Region

Özgür Gültekin*, Emine Rızaoğlu & K. Gediz Akdeniz

Department of Physics, Istanbul University, Vezneciler, Istanbul 34134, Turkey

**e-mail: gultekino@yahoo.com*

Received 25 April 2013; accepted 8 October 2013

Abstract. The frequency intervals in which O VI ions get in resonance with ion–cyclotron waves are calculated using the kinetic model, for the latest six values found in literature on O VI ion number densities in the $1.5R$ – $3R$ region of the NPCH. It is found that the common resonance interval is 1.5 kHz to 3 kHz. The R -variations of wave numbers necessary for the above calculations are evaluated numerically, solving the cubic dispersion relation with the dielectric response derived from the quasi-linear Vlasov equation for the left-circularly polarized ion-cyclotron waves.

Key words. Solar corona—ion–cyclotron waves—coronal heating—Vlasov equation.

1. Introduction

Heating of solar corona is still an active research area. It has recently been suggested that the ion–cyclotron resonance could play a key role in the problem of coronal heating. It is generally argued that various electromagnetic plasma waves including

Bitirirken...

Bu çalışma nasıl genişletilebilir?

1. Dağınım bağıntısı farklı iyonlar için çözülebilir.
 2. Tekil nokta katkısı hesaplara dahil edilebilir.
 3. Uydulardan yeni veriler elde edilmesi durumunda çalışma tekrarlanmalıdır.
 4. Güneştacının farklı bölgeleri için dağınım bağıntısı elde edilebilir.
-

Bitti.

