

Green İşlevinin “Extraordinary” ve “Ordinary” Dalga Biçimleri için Çözümü

Belinda Kalomeni, E. Rennan Pekünlü & Kadri Yakut

Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
Bornova, 35100 İzmir

belinda@astronomy.sci.ege.edu.tr ; rpekunlu@astronomy.sci.ege.edu.tr,
yakut@astronomy.sci.ege.edu.tr

Özet. Manyetik Cataclysmic Değişen (mCV) yıldızların manyetik uçlak bölgelerinde oluşan toplanma kolundaki elektronların ürettiği cyclotron ışıını incelenmiştir. Ordinary (O) ve Extraordinary (X) dalga biçimleri olarak yayılan bu ışıının, mCV lerin optik ve kızılöte tayflarında ürettiği cyclotron harmonikleri modellendi. Modelimiz, bilinen 27 mCV nin tayflarını, uçuşma özelliklerini, erke soğuma biçimlerini gözlemlerle tutarlı bir biçimde öngörmektedir.

1. Giriş

“Polar”lar (mCV) manyetik Cataclysmic Değişen yıldızlardır. Yakın çift yıldız dizgeleri olan bu değişen yıldızların baş bileşeni beyaz cüce, ikinci bileşeni kırmızı cücedir. Beyaz cücenin manyetik alan yoğunluğu 10 – 230 MG aralığındadır. Beyaz cüce, kırmızı cüceden madde koparır. Beyaz cüce üzerine düşen madde manyetik uçlak bölgelerinde bir toplanma kolunu oluşturduktan sonra yıldızın yüzeyine düşer. Toplanma kolunu beyaz cüce atmosferinin üzerinde oluşturur. Bu kolunun doğrusal boyutları 10^7 cm düzeylerindedir [1]. Toplanma kolundaki elektronlar, yeğin bir manyetik alan içinde bulunduklarından cyclotron ışıını yaparlar. Bu ışıının mCV lerin frekans tayfında cyclotron çizgileri biçiminde görülür [2], [3], [4]. Eğer tayfta birden fazla harmonik gözleniyorsa, aşağıdaki (1) numaralı bağıntı yardımıyla beyaz cücenin manyetik alan yoğunluğu hesaplanabilir:

$$\omega_{ce} = \frac{eB}{m_e c} = 2\pi c \left(\frac{1}{\lambda_{n+1}} - \frac{1}{\lambda_n} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

(1) numaralı bağıntıda e, elektron yükü; B, manyetik alan yoğunluğu; m_e , elektron kütlesi; c, ışık hızı; λ cyclotron harmoniğinin dalga boyu; n harmonik sayısıdır [5]. (1) numaralı bağıntı yardımıyla manyetik alan yoğunluğu hesaplandıktan sonra, tayftaki cyclotron çizgilerinin harmonik sayıları (2) numaralı bağıntı yardımıyla bulunur [6],

$$\lambda_n = \frac{10710}{n} \left(\frac{10^8 \text{ gauss}}{B} \right) \quad (2)$$

Bu çalışmamızda biz, mCV yazınında bulunmayan bir yöntem geliştirdik. Işınım alanları için türetilmiş olan Green işlevini [7] plazma ortamı için türettik. O ve X dalgalarının dağılma bağıntısı bu dalgaların yayılma özelliklerine ilişkin tüm bilgileri içerir [8]. Eğer Green işlevi biliniyorsa, ışıının alanı, Poynting vektörü ve anlık erke akısı bulunabilir. Bu yöntemi kullanarak, düşük kütle oranı durumunda bulunan mCV lerde, erkenin baskın olarak cyclotron süreciyle soğuduğu, şok dalgalarının oluşmadığı durumda [9] geçerli olan bağıntıları türettik. Çalışmamıza esin kaynağı olan öneri Schwoppe ve arkadaşlarından [4] geldi. Adı geçen yazarlar, tayfın gözlemlerle iyi uyulaşabilmesi için kuramsal modelin elektronların hız dağılımına ilişkin varsayımının bi – Maxwellian biçiminde olması gerektiğini önerdi.

2. Cyclotron Işınıını Üreten O & X Dalgaları için Green İşlevi

Schwoppe ve ark. [4] önerisi ışığında modelimizde elektron hız dağılımını aşağıdaki gibi varsaydık [10]:

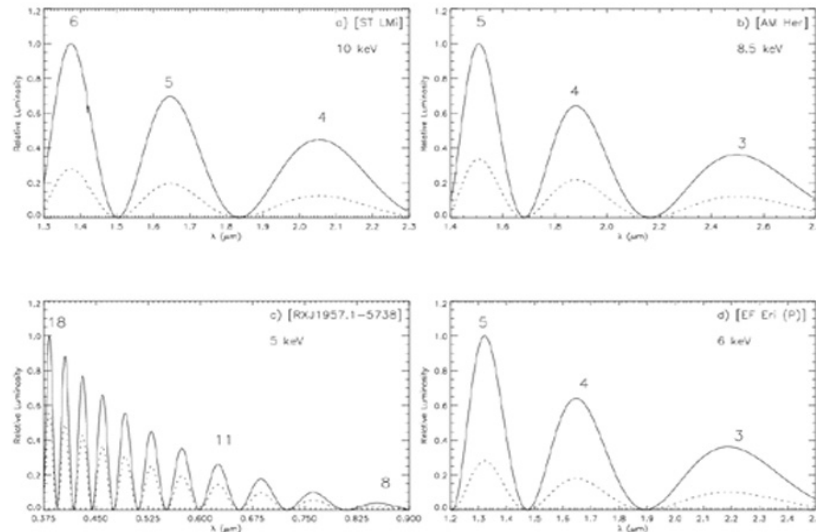
$$F_e = n_e \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \pi^{-3/2} \exp \left[- \left(\alpha_{\perp}^2 v_{\perp}^2 + \alpha_{\parallel}^2 v_{\parallel}^2 \right) \right] \quad (3)$$

(3) numaralı bağıntıda, $\alpha_{\parallel} = (2k_B T_{e\parallel} / m_e)^{-1/2}$ ve $\alpha_{\perp} = (2k_B T_{e\perp} / m_e)^{-1/2}$ sırasıyla manyetik alana koşut ve dik yöndeki en olası hızların tersidir; k_B Boltzmann sabiti ve $T_{e\parallel}$ ve $T_{e\perp}$ de yine sırasıyla elektronların manyetik alana koşut ve dik yöndeki sıcaklıklarıdır. O dalgalarının dağılıma bağıntısını Green işlevinde yerine yazarsak aşağıdaki sonuca ulaşırız:

$$\frac{d^2 W(\omega)}{d\omega d\Omega} = \frac{16 B_0 e m^2 c^3 T_r}{\pi k_B^2 n_e \Lambda T_{\parallel}^2 L} \left| \sum_{l=1}^{10} J_l \left(\frac{\omega}{\Omega_{ce}} \beta_{\perp} \sin \theta \right) \left[\left(-\omega + \frac{\Omega_{ce}}{\gamma} \right) \cos(\omega \delta t) - \frac{\sin(\omega \delta t)}{\delta t} \right] [\cos(Rx/2) - \cos(0.17 Rx)] \beta \right|^2 \times \delta(\Omega_{ce} - \omega [1 - \beta_{\parallel} \cos \theta]) \quad (4)$$

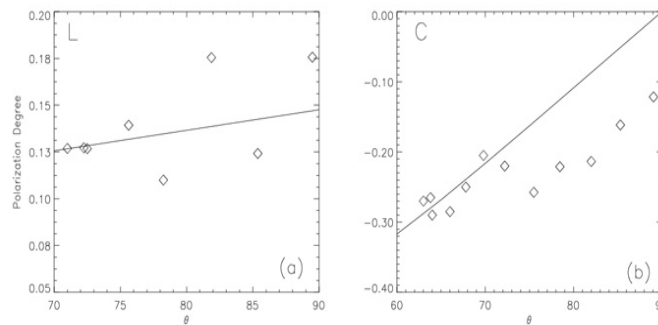
X dalgalarının bağıntısı da (4) numaralı eşitlikte $\beta_{\parallel}$ yerine $\beta_{\perp}$, $T_{\parallel}$ yerine $T_{\perp}$ ve 16 katsayısı yerine 4/9 yazarak elde edebiliriz. (4) numaralı bağıntıda, T_r gözlemcinin aygıtında algılanan ışıının süresidir. n_e toplanma kolonundaki elektron sayı yoğunluğu; $\beta = v/c$; $\Lambda = \omega_p^2 L / c \Omega_{ce}$ boyutsuz nicelik; L , toplanma kolonunun doğrusal boyutu; J_l , Bessel işlevi; γ , Lorentz çarpanı; Ω_{ce} , elektron cyclotron frekansı; $x = \pm \Omega \alpha_{\perp}$; $\beta = d(v/c)dt$; $\delta t = t - t'$; R gözlemciyle kaynak arasındaki uzaklık; θ , elektronların saldıgı ışıının yerel manyetik alanla yaptığı açı ve (4) numaralı eşitlikteki son çarpan da delta işlevidir (δ).

Şekil 1, 27 mCV içinden gelişigüzel seçilmiş dört dizgenin saf cyclotron tayfını göstermektedir.



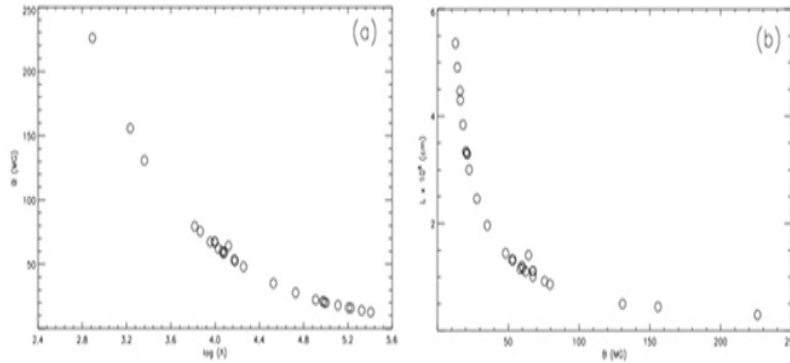
Şekil 1. ST LMi, AM Her, RXJ1957.1-5738 ve EF Eri(P) adlı mCV lerin model cyclotron tayfları. P harfi baş manyetik uçlağı simgeler. Sürekli çizgi O, kesikli çizgi de X dalga biçemlerinin ürettiği akıları gösterir. Harmonik numaraları ilgili çıkıntılarının üzerindedir.

Şekil 2, BL Hyi adlı mCV nin gözlemsel uçlaşma verileriyle [11], [12] modelimizin uyumunu göstermektedir.



Şekil 2. BL Hyi adlı mCV nin gözlemsel verileriyle modelimizin (sürekli çizgi) uyumunu gösteren şekil. (a) doğrusal uçlaşma, (b) çembersel uçlaşma sonuçları.

Şekil 3, modelimizin, mCV manyetik alan yeğİnliğine karşı log Λ (a) ve yine manyetik alan yeğİnliğine karşı L kolon yüksekliğine (b) ilişkin öngörülerini göstermektedir.



Şekil 3. (a) log Λ ya karşı B manyetik alan yeğİnliği grafiği. (b) Manyetik alan yeğİnliğine karşı toplanma kolon yüksekliği grafikleri.

3. Sonuç

mCV lerin baş bileşeni olan beyaz cücenin manyetik uçlak bölgelerinde oluşan toplanma kolonundaki elektronların hız dağılımının bi-Maxwellian olduğu varsayımıyla O ve X dalgalarının dağılma bağıntısını Green işlevinde kullandık. Bu yaklaşım bize, kolondan kaynaklanan cyclotron ışıınının birim frekans aralığı ve birim uzay açıya gönderdiği ısıtmayı (erg/s) verdi. Bu şekilde oluşturulan saf cyclotron frekans tayfı bilinen tüm Polar'lara uygulandı ve bu dizgelerin gözlenen tayfıyla tam bir uyuşma gösterdiği görüldü. Frekans tayfının yanısıra O ve X dalgalarının uçlaşma özellikleri de gözlemlerle tutarlı bir biçimde modellendi.

Kaynaklar

- [1] Chanmugam G. & Langer S.H., "Formulae for the Cyclotron Luminosity of Magnetized Plasma Slabs", *ApJ*, 368, 580, 1991.
- [2] Reimers D., Hagen H. -J. & Hopp U., "HS 1023+3900 – a Magnetic CV in the Period Gap with a Distinct Cyclotron Emission Line Spectrum", *A&A*, 343, 157, 1999.
- [3] Rousseau Th., Fischer A., Beuermann K. & Woelk U., "Determination of Mass Flow Rates in AM Her Binaries", *A&A*, 310, 526, 1996.
- [4] Schwöpe A.D., Beuermann K. & Thomas H. -C, "Cyclotron Radiation in UZ For, in a Low State of Accretion", *A&A*, 230, 120, 1990.
- [5] Burwitz V., "X-ray and optical properties of ROSAT discovered mCVs", PhD Thesis, 1997
- [6] Ferrario L., Wickramasinghe D.T. & Schmidt G., "Analysis of New Spectropolarimetric Data of AR UMa", *MNRAS*, 338, 340, 2003.
- [7] Jackson J.D., "Classical Electrodynamics", John Wiley & sons Inc., NY, 1975.
- [8] Wu C.S., "Kinetic Cyclotron and Synchrotron Maser Instabilities: Radio Emission Processes by Direct Amplification of Radiation", *Space Science Review*, 41, 215, 1985.
- [9] Woelk U. & Beuermann K., "Stationary Radiation Hydrodynamics of Accreting Magnetic White Dwarfs", *A&A*, 306, 232, 1996.
- [10] Schmidt G., "Physics of High Temperature Plasmas", 2nd ed., AP, NY, 1979.
- [11] Piirola V., Coyne G.V. & Reiz A., "Five Colour Polarimetry of BL Hyi", *A&A*, 185, 189, 1987.
- [12] Wu K. & Chanmugam G., "Cyclotron Spectra from Inhomogeneous Accretion Columns. II. Polarization", *ApJ*, 344, 889, 1989.