

β Lyrae türü örten çift yıldız LL Com: Işık eğrisi analizi ve yörünge dönemi değişimi

Burcu ÖZKARDEŞ^{1,2,*}, Gökçe Zeynep ÖZALP³

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale.

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale.

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale.

Geliş Tarihi (Received date): 21.08.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.11.2017

Özet

Bu çalışmada, ilk kez, β Lyrae türü (EB) olarak sınıflandırılmış örten çift yıldız LL Com (GSC 02535-00670; $V = 12^m.39$; $P = 0.40692$ gün)'un ışık eğrisi analizi ve yörünge dönemi değişimi sunulmaktadır. Sistemin, SuperWASP arşivinde yer alan fotometrik gözlem verisi Wilson – Devinney (W-D) yöntemiyle analiz edilerek fotometrik kütle oranı belirlenmiş ve buradan bileşen yıldızların tahmini mutlak parametreleri hesaplanmıştır. Sistemin literatürde bulunan minimum ışık zamanları ile bu çalışmada elde edilen tutulma zamanları kullanılarak O-C analizi yapılmış ve yörünge döneminin değişimine neden olan fiziksel mekanizmalar tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çift yıldız, örten çift yıldız, β Lyrae türü, LL Com.

β Lyrae type eclipsing binary star LL Com: Light curve analysis and orbital period change

Abstract

In this study, light curve analysis and orbital period variation of the eclipsing binary star LL Com (GSC 02535-00670; $V = 12^m.39$; $P = 0.40692$ day) classified as β Lyrae type (EB) is presented for the first time. The photometric observation data in the SuperWASP archive were analyzed by Wilson – Devinney (W-D) method, and the photometric mass ratio was determined. Hence, the estimated absolute parameters of the component stars were calculated. The O-C analysis was performed using all minima times of the system in the literature with the eclipse minima times obtained from this study and the physical mechanism causing the orbital period change was discussed.

Keywords: Binary star, eclipsing binary star, β Lyrae type, LL Com.

* Burcu ÖZKARDEŞ, burcu@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6764-9299>

Gökçe Zeynep ÖZALP, ozalpgokce@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6617-6549>

1. Giriş

β Lyrae türü örten çift yıldızlar, manyetik etkinlik, bileşenlerin kütle çekim etkileşimi, kütle transferi/kütle kaybı, açısal momentum kaybı, yığılma diski, jet benzeri yapılar gibi astrofiziğin temel konularının incelenmesinde doğal birer araştırma laboratuvarı olmalarının yanı sıra yıldızların gelişimi ve evrimi hakkında bilgi edinmemizde önemli bir role sahiptirler. Bu çalışmada, β Lyrae türü olarak sınıflanmış örten çift yıldız LL Com'un literatür ışık eğrisinin analizi yapılarak fiziksel ve geometrik parametrelerinin belirlenmesi ve sistemin fiziksel karakteristiğinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Örten çift yıldız LL Com (GSC 02535-00670 = SVS 1257), [1] tarafından SA 57 bölgesinin fotografik gözlemleri sırasında keşfedilen 10 tane değişen yıldızdan biridir. Sistemin ilk ışık eğrisi, filtresiz

olarak, [2] tarafından elde edilmiş ve biçiminin β Lyrae türü olduğu ifade edilmiştir. [3], LL Com sisteminin de dahil olduğu 916 değişen yıldızla ilişkin isim listesini sunmuştur. [4], NSVS (Northern Sky Variability Survey) kataloğunda yer alan 409 objeyi, ışık eğrisi biçimlerine göre sınıflandırmış ve LL Com'un sınıfını BL, yani β Lyrae, olarak vermiştir. [5], Gaia uydusu tarafından gözlenen 20.7 kadirde daha parlak bir milyardan fazla kaynağın astrometrik ve fotometrik verilerini sunmuş; LL Com için paralaks ve G_bandı ortalama parlaklık değerlerini, sırasıyla, 1.645 ± 0.296 ve $12^{m}.05$ olarak vermiştir. Sistemin temel fotometrik özellikleri, Tablo 1'de verilmekte olup TYC No, sistemin Tycho katalog numarasını; α_{2000} ve δ_{2000} , sırasıyla, sağ açıklık ve dik açıklık parametrelerini; *BV* ve *JHK* ise, sırasıyla, görsel ve yakın kırmızı öte bantlarındaki parlaklıklarını temsil etmektedir.

Tablo 1. LL Com'un SIMBAD veri tabanından alınan temel fotometrik özellikleri.

TYC No	α_{2000}	δ_{2000}	B	V	J	H	K
2535-670-1	13 ^s 17 ^d 59.9 ^m	30 ^s 17 ^d 59.9 ^m	12.2	12.4	11.26	11.06	11.03

Tablo 2. LL Com'un minimum ışık zamanlarına ait özet bilgi.

Kaynak	O-C Gateway		O-C Gateway		SWASP		Bu çalışma	
Gözlem türü	Fotografik (pg)		CCD/Fotoelektrik		CCD		CCD	
Zaman aralığı	1908 – 1957		1996 – 2016		2006 – 2007		2017	
Min. türü	Min I	Min II	Min I	Min II	Min I	Min II	Min I	Min II
Min. sayısı	7	28	52	23	29	24	1	--

2. Yörünge dönemi analizi

LL Com'un yörünge dönemi değişimini incelemek için O-C yöntemi kullanılmıştır. Analizde kullanılan verinin bir kısmı, sistemin yayınlanmış minimum ışık zamanlarını içeren O-C Gateway [6] veri tabanından alınmıştır. Bu katalogdaki minimum zamanların 35'i fotografik gözlemlerden elde edilirken 75'i CCD (Charge-Coupled Device)/fotoelektrik gözlemlerden elde edilmiştir. Literatür minimum zamanlarına, SWASP ışık eğrisinden (bakınız Bölüm 3), [7] yöntemiyle hesaplanan 53 minimum ışık zamanı eklenmiştir. Ayrıca, örten çift LL Com, 23.06.2017 tarihinde, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde bulunan 30 cm'lik Schmidt-Cassegrain türü teleskop ve ona bağlı Apogee Alta U47 CCD kamera kullanılarak V filtresinde fotometrik olarak gözlenmiş ve bir tane birinci minimum zamanı (Min I) elde edilmiştir. Sistemin minimum zamanlarının özelliklerini içeren özet bilgi, Tablo 2'de verilmektedir.

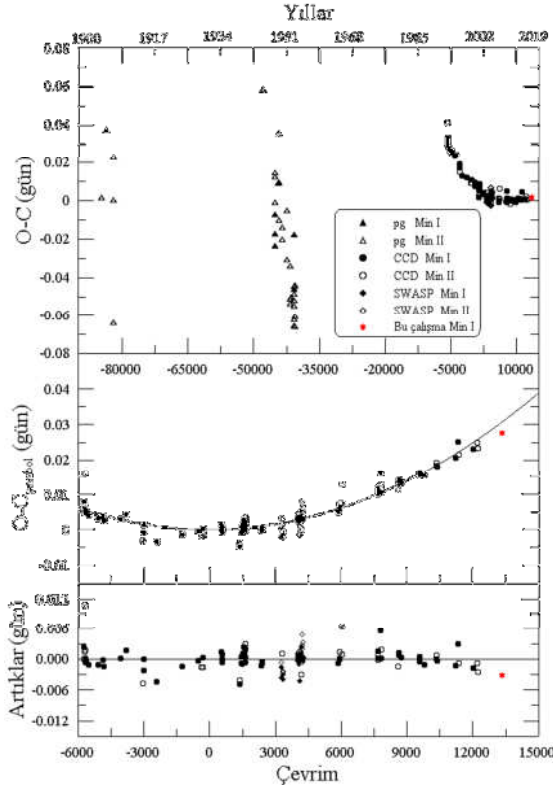
Sistemin minimum zamanlarının O-C (gözlenen ve hesaplanan minimum zaman değerlerinin farkı) değerleri, [8] tarafından verilen doğrusal ışık elemanları kullanılarak hesaplanmıştır (denklem

(1)). O-C artıkları, çevrim sayısına göre Şekil 1'de gösterilmektedir. Fotografik (pg) veri, saçılmalı bir dağılım gösterirken CCD ve fotoelektrik veride ise parabol benzeri belirgin bir dağılım görülmektedir (Şekil 1'de üst panel).

$$HJD(\text{MinI}) = 2452500.1082 + 0^{\text{g}}.406918 \times E \quad (1)$$

$$(O-C)_{\text{parabol}} = 2452500.1130(9) + 0^{\text{g}}.4069153(2) \times E + 1.73(6) \times 10^{-10} \times E^2 \quad (2)$$

LL Com sisteminin dönem analizi için [9] tarafından geliştirilen LITE kodu kullanılmıştır. Programda, sadece CCD ve fotoelektrik minimum zamanları kullanılmış ve ağırlık değerleri 10 olarak girilmiştir. En küçük kareler yöntemiyle sistemin O-C artıklarına bir parabol fiti uygulanmıştır. Parabol fiti geçirilmiş O-C diyagramı ve fitten kalan artıklar, sırasıyla, Şekil 1'de orta ve alt panelde gösterilmektedir. Sistemin O-C analizi sonucu elde edilen parabolik eşitlik, denklem (2)'de verilmekte olup parantez içi, son basamağa göre hata değerlerini göstermektedir.



Şekil 1. LL Com'un $O-C$ değişimi. Sistemin $O-C$ değişimine uyan en iyi parabolik fit (ortada) ve fitten kalan artıklar (altta).

taraması gerçekleştirilmiştir. Sistemin $O-C$ analizine göre, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene madde transfer edilmektedir. Bu nedenle, kütle oranı taraması işlemine, ilk olarak, ikinci bileşen Roche şişimini doldurmuş (yarı-ayrık model) model ile başlanmıştır. Fakat birkaç iterasyon sonra, en iyi uyum her iki bileşen Roche şişimini doldurmuş (değen model) modelde gerçekleşmiştir. Sistemin değen modele göre kütle oranı- χ^2 değişimi Şekil 3'te verilmektedir. En küçük kükare (χ^2) değerini veren kütle oranı, 0.25 değerinde elde edilmiştir.



Şekil 2. SuperWASP teleskop ve kamera sistemi.

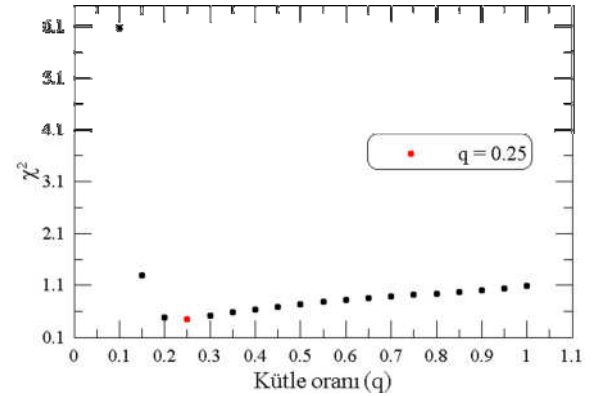
3. Işık eğrisi analizi

3.1. Gözlemsel veri

LL Com sisteminin fotometrik verileri, SuperWASP (Wide Angle Search for Planets) [10] veritabanından alınmıştır. SuperWASP, güneş sistemi dışı gezegenlerin keşfi için gerçekleştirilen uzun dönemli bir gözlem projesidir. Bu projede, biri Kuzey yarımkürede (La Palma; SuperWASP-North) diğeri Güney yarımkürede (SAAO; SuperWASP-South) konumlandırılmış iki robotik teleskop ile bunlara bağlı 8'er geniş açılı kamera kullanılmaktadır. SuperWASP teleskop ve kamera sistemine ait örnek bir görüntü, Şekil 2'de gösterilmektedir. LL Com için 103, 143, 144 ve 146 numaralı kameralarla toplamda 7043 gözlemsel nokta elde edilmiştir. Bu verinin 5573'ü, 144 numaralı kameradan gelmekte olup ışık eğrisi analizinde, bu veriler kullanılmıştır.

3.2. Analiz

LL Com'un bileşenlerinin fiziksel ve geometrik parametrelerini belirlemek için sistemin SuperWASP verisi Wilson-Devinney (W-D) yöntemine [11] dayanan ve [12] tarafından düzenlenen PHOEBE (PHysics of Eclipsing Binaries) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Sistemin tayfsal çalışması olmadığından sistemin kütle oranının (q) başlangıç (girdi) değerini bulmak için 0-1 aralığında 0.05 artırımlarla kütle oranı



Şekil 3. LL Com sisteminin kütle oranı (q) - χ^2 değişimi.

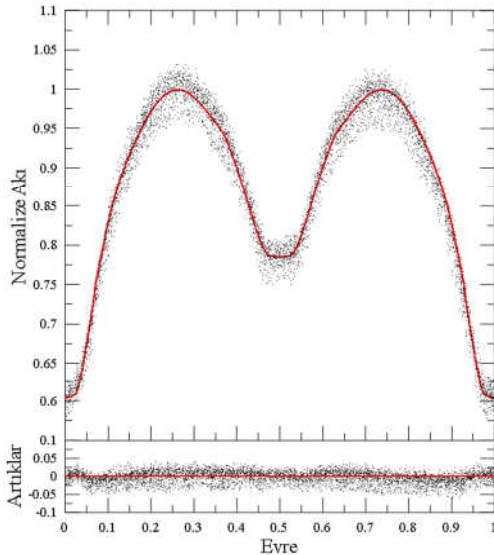
Analiz süresince sabit alınan parametreler şöyledir: Birinci bileşenin etkin sıcaklığı T_1 'i belirlemek için Tablo 1'de verilen fotometrik parametreler, [13] tarafından verilen mutlak parlaklık kalibrasyonunda kullanılmış ve sistemin kızarmadan arındırılmış renk indeksi, $(B-V)_0$, -0.192 kadir olarak belirlenmiştir. Bu değere karşılık gelen sıcaklık, [14] tarafından verilen renk indeksi-etkinlik sıcaklık kalibrasyonuna göre 17100 K olarak hesaplanmıştır. Kareköklü kenar kararma yasası kabul edilmiş; kenar kararma sabitleri [15]'den alınmıştır. LL Com'un bileşenlerinin çekim kararma (g_1 ve g_2) ve bolometrik yansıma katsayıları (A_1 ve A_2), sırasıyla

[16, 17]'e göre, bileşen yıldızların radyatif atmosfere ($T > 7200$ K) sahip olmaları nedeniyle, 1 değerinde sabitlemiştir. Her iki bileşenin senkronize döndüğü ($F_1 = F_2 = 1$) ve yörüngenin çembersel ($e = 0$) olduğu kabul edilmiştir.

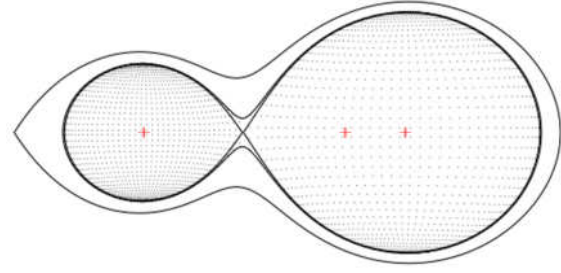
Analizde serbest alınan parametreler ise, evre kayması ϕ , yörünge eğimi i , ikinci bileşenin etkin sıcaklığı T_2 , kütle oranı q , birinci bileşenin yüzey potansiyeli Ω_1 ve birinci bileşenin ışınım gücü L_1 'dir. Işık eğrisi analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmektedir. Şekil 4'te, gözlemsel veriye uyan en iyi kuramsal fit ve fitten kalan artıklar gösterilmektedir. Şekil 5'te ise, Binary Maker vers. 3.0 [18] programı kullanılarak oluşturulan sistemin Roche geometrisi gösterilmektedir.

Tablo 3. LL Com'un SWASP ışık eğrisi çözüm sonuçları. Parantez içi son basamağa göre hata değerlerini göstermektedir.

Parametre	Değeri
ϕ	-0.0003(1)
i ($^\circ$)	82.1(1)
T_1 (K)	17100
T_2 (K)	8884(40)
$q (= M_2/M_1)$	0.298(1)
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.4465(31)
f (değme oranı, %)	8
L_1/L_{toplam}	0.87(1)
r_1 (ortalama kesirsel yarıçap)	0.491(1)
r_2 (ortalama kesirsel yarıçap)	0.283(1)
$\Sigma W(O-C)^2$	1.4697



Şekil 4. LL Com'un SuperWASP gözlem verisi ve buna uyan en iyi kuramsal fit (kırmızı düz çizgi) ile teorik fitten kalan artıklar (altta).



Şekil 5. 0.75 evrede sistemin Roche geometrisi.

4. Sonuçlar ve tartışma

Fotometrik çözüm, LL Com sistemini, %8 değme oranına sahip marjinal değen çift yıldız olarak tanımlamaktadır. Sistemin tayfsal çalışması olmaması nedeniyle bileşen yıldızların mutlak parametreleri tahmini olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, Tablo 4'te verilmektedir. Mutlak parametrelerin elde edilmesi için, birinci bileşenin kütlesi, [14] tarafından verilen kalibrasyon tablosu (ilgili çalışmada Tablo 15.8) kullanılarak, 17100 K sıcaklığı için, $M_1 = 6.75 M_\odot$ olarak belirlenmiştir. İkinci bileşenin kütlesi, ışık eğrisi analizinden belirlenen fotometrik kütle oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Yarı-büyük eksen uzunluğu a ise Kepler'in üçüncü yasasından çıkarılmıştır. LL Com'un bileşenlerinin bolometrik parlaklık ve yüzey çekim ivmesi değerlerinin hesaplanması için [19] tarafından verilen güneşe ait değerler, $T_{\text{etkin}} = 5771.8 \pm 0.7$ K, $M_{\text{bol}} = 4^m.7554 \pm 0.0004$ ve $g = 27423.2 \pm 7.9$ cm/s² olarak alınmıştır.

Tablo 4. LL Com'un bileşenlerinin mutlak parametreleri.

Parametre	Birinci Bileşen	İkinci Bileşen
a (R_\odot)	4.75	
M (M_\odot)	6.75	2.01
R (R_\odot)	2.33	1.35
L (L_\odot)	427.00	25.00
$\log g$ (cgs)	4.53	4.49
M_{bol} (mag)	-1.80	1.31

LL Com'un yörünge dönemi değişiminin analizi için literatür tutulma zamanlarına bu çalışmada elde edilenler dahil edilerek sistemin $O-C$ diyagramı oluşturulmuştur. Anlamlı bir değişim, CCD ve fotoelektrik verilerinde gözlenmekte olup yukarı parabol şeklindedir. Analiz sonucunda kuadratik terim Q , $1.73(6) \times 10^{-10}$ gün olarak belirlenmiştir. Bu değişim, küçük kütleli bileşenden (M_2) büyük kütleli bileşene (M_1) doğru madde aktarıldığını, dolayısıyla;

yörünge döneminin arttığını göstermektedir. Kuadratik terim kullanılarak yörünge dönemindeki artış oranı, 0.027(1) s/yıl olarak hesaplanmıştır. Korunumlu kütle transferi varsayımı altında, M_2 'den M_1 'e kütle transfer oranı ise, $6.97 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ 'dır.

Örten çift yıldız LL Com'un ışık eğrisi ve dönem analizi, ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. LL Com'un bileşen yıldızlarının daha duyarlı mutlak parametrelerini belirlemek ve sistemin evrimsel durumunu incelemek için çok renk fotometrik gözlemlerle birlikte yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlem verilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, sistemin uzun süreli dönem değişimini incelemek için minimum ışık zamanı gözlemlerine de ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu çalışma, Gökçe Zeynep ÖZALP'in yüksek lisans tez çalışması kapsamında olup Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FYL-1195. Bu çalışmada, "SIMBAD (at CDS, Strasbourg, France)" ve "NASA Astrophysics Data System Abstract Service" veri kaynakları kullanılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Kurochkin, N.E., New variable stars in SA 57, **Peremennye Zvezdy**, 409-417, (1959).
- [2] Frank, P., Moschner, J. ve Moschner, W., NSV 6177: First elements and lightcurve, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 4386, (1996).
- [3] Kazaovets, E.V., Samus, N.N. ve Durlevich, O.V., The 75th name-list of variable stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 4870, (2000).
- [4] Hoffman, D.I., Harrison, T.E., Coughlin, J.L., McNamara, B.J., Holtzman, J.A., Taylor, G.E. ve Vestrand, W.T., New β Lyrae and Algol candidates from the Northern Sky Variability Survey, **The Astronomical Journal**, 136, 1067-1078, (2008).
- [5] Gaia Collaboration; Brown, A.-G.-A. et al., Gaia Data Release 1. summary of the astrometric, photometric, and survey properties, **Astronomy & Astrophysics**, 595, 1-23, (2016).
- [6] O-C gateway Database of times of minima (E) and maxima (RR), <http://var2.astro.cz/ocgate/>, (19.05.2017).
- [7] Kwee, K.K. ve van Woerden, H., A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable, **Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands**, 12, 327-330, (1956).
- [8] Kreiner, J.M., Up-to-date linear elements of eclipsing binaries, **Acta Astronomica**, 54, 207-210, (2004).
- [9] Zasche, P., Liakos, A., Niarchos, P., Wolf, M ve Gazeas, K., Period changes in six contact binaries: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori, and AH Tau, **New Astronomy**, 14, 2, 121-128, (2009).
- [10] SuperWASP Wide Angle Search for Planets, www.superwasp.org, (19.05.2017).
- [11] Wilson, R.E. ve Devinney, E.J., Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni, **The Astronomical Journal**, 166, 605-619, (1971).
- [12] Prsa, A., Matijevic, G., Latkovic, O., Vilardell, F. ve Wils, P., PHOEBE: PHysics Of Eclipsing BinariEs, **Astrophysics Source Code Library**, record ascl:1106.002, (2011).
- [13] Eker, Z., Bilir, S., Yaz, E., Demircan, O. ve Helvacı, M., New absolute magnitude calibrations for W Ursa Majoris type binaries, **Astronomische Nachrichten**, 330, 1, 68-76, (2009).
- [14] Drilling, J.S. ve Landolt, A.U., **Allens Astrophysical Quantities**, 4th. Edition, AIP Press., Springer NY, (2000).
- [15] van Hamme, W., New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves, **The Astronomical Journal**, 106, 2096-2117, (1993).
- [16] Rucinski, R.M., The proximity effects in close binary systems. II. the bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes, **Acta Astronomica**, 19, 245-254, (1969).
- [17] von Zeipel, H., Radiative equilibrium of a double-star system with nearly spherical components, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 84, 702-721, (1924).
- [18] Bradstreet, D.H. ve Steelman, D.P., Binary Maker 3.0 - an interactive graphics-based light curve synthesis program written in java, **American Astronomical Society**, 201st AAS Meeting, 34, 1224, (2002).
- [19] Pecaut, M.J. ve Mamajek, E.E., Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars, **The Astronomical Journal Supplement Series**, 208:9, 1-22, (2013).