

M67 AÇIK YILDIZ KÜMESİNDE BULUNAN BAZI ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN İLK IŞIK EĞRİSİ ANALİZLERİ

Aycin AYKUTALP¹, İ. Ethem DERMAN¹

Özet

M67, yaklaşık 830 pc uzaklıkta bulunan, Güneş ile hemen hemen aynı yaşta ve kızıllaşması $E(B-V) = 0.04 \pm 0.01$ olan yaşlı, açık bir yıldız kümesidir. Kümenin kütlesi ve yarıçapı yaklaşık sırasıyla, $2500 M_{\odot}$ ve 10 pc olarak verilmektedir. Kümelerdeki çift yıldızlar yardımıyla onun yaşı ve uzaklığı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bu çalışmada M67 kümesinde bulunan üç tane çift yıldız sistemi (EV Cnc, FBC 5774 ve FBC 5986) göz önüne alınmıştır. Bu sistemlerin ışık eğrisi analizleri Phoebe arayüzü kullanılarak WD programı ile gerçekleştirilmiştir. Daha önce bu üç sistemin ışık eğrilerine bakılarak W Uma türü çift yıldız sistemleri oldukları öngörülmüşse de yapılan çalışma sonunda EV Cnc ve FBC 5774 sistemlerinin yarı-ayrık olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: M67, değen çift yıldızlar, EV Cnc, FBC 5774, FBC 5986

Abstract

M67 is an old open cluster that is almost the same age as the Sun. It is at a distance of 830 pc from the earth and it has a reddening of $E(B-V) = 0.04 + 0.01$. The mass and the radius of the cluster are $2500 M_{\odot}$ and 10 pc, respectively. By using the binary stars in a cluster we can compute the distance and the age of that cluster. In this study, we worked on three binary systems namely: EV Cnc, FBC 5774 and FBC 5986. The light curve analysis of these three systems has been done by Wilson & Devinney's code with Phoebe interface. Previous studies of these binary systems conclude that they are W Uma type binaries. But this study shows that EV Cnc and FBC 5774 are actually semi-detached type eclipsing binary systems.

Key words: M67, contact binary stars, EV Cnc, FBC 5774, FBC 5986

1. Giriş

M67 açık yıldız kümesi nispeten yakın (830 pc), dolayısıyla kızarma miktarı az olduğu için ($E_{B-V} = 0.05$) en çok çalışılan kümelerden biridir. 4-4.5 G yıl yaşındaki bu küme Güneş ile hemen hemen aynı yaşta olması nedeniyle de önemlidir [1][2][3][4]. M67 bol miktarda çift yıldız ve blue stragglers içerir. Yıldız etkileşimlerini ve çift yıldız evrimini incelemek için kümeler büyük olanaklar sağlar. En önemli yanı ise küme uzaklığı bilindiğinden dolayı gözlenen ve ışık analizi yapılan örten değişen yıldızların salt parametrelerinin kolaylıkla bulunmasıdır.

¹ Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara, Tel:(312)2126720/1319 e-posta: ethem.derman@ankara.edu.tr

Bugüne kadar M67 kümesinde sadece AH Cnc çift yıldızının kapsamlı gözlemleri bir çok araştırmacı tarafından yapılmıştır [5][6][7][8]. Fakat bu sistemin ışık eğrisi de uzun dönem içinde büyük değişimler göstermiştir. Birinci minimumu düzleşmiş ve ikinci minimum olmuştur, dolayısıyla sistemin W-türü değil A-türü bir sistem olduğu ileri sürülmüştür.

M67'deki diğer örten değişenlerin de ışık eğrileri bir çok gözlemci tarafından elde edilmesine karşın [9][10][11][12] tam olarak ışık eğrisi analizi yapılmamıştır. Bunun nedeni küme çalışan gökbilimcilerin ayrıntılı ışık eğrisi analizinin nasıl yapılacağını bilmemelerinden kaynaklanabilir. Binary Maker ve NightFall ile bazı denemeler varsa da çok duyarlı sonuçlar elde edilememiştir. Son olarak Sandquist [13] üç tane daha örten değişen yıldız bulmuş ve sadece gözlem verilerini yayınlamıştır.

Bu çalışmadaki amacımız ışık eğrisi analizi yapılmamış küme üyesi örten değişenlerin ışık eğrisi analizini yapmaktır..

2. M67 Kümesinde Gözönüne Alman Sistemler ve Gözlemleri

Bu çalışmada üç sistemi gözönüne aldık. Bu sistemlere ilişkin veriler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Üç örten değişenin özellikleri

Adı	Sağaçıklık	Dikaçıklık	Max. V	Rengi	Dönemi	Genliği
EV Cnc	08 51 28.17	11 49 27.8	12 ^m .89	0 ^m .49 (B-V)	0 ^d .441437	0 ^m .17
FBC 5774	08 53 01.33	12 08 20.8	17 ^m .94	1 ^m .06 (V-I)	0 ^d .28	0 ^m .31
FBC 5986	08 53 19.07	12 10 02.4	13 ^m .78	0 ^m .66 (V-I)	0 ^d .445	0 ^m .15

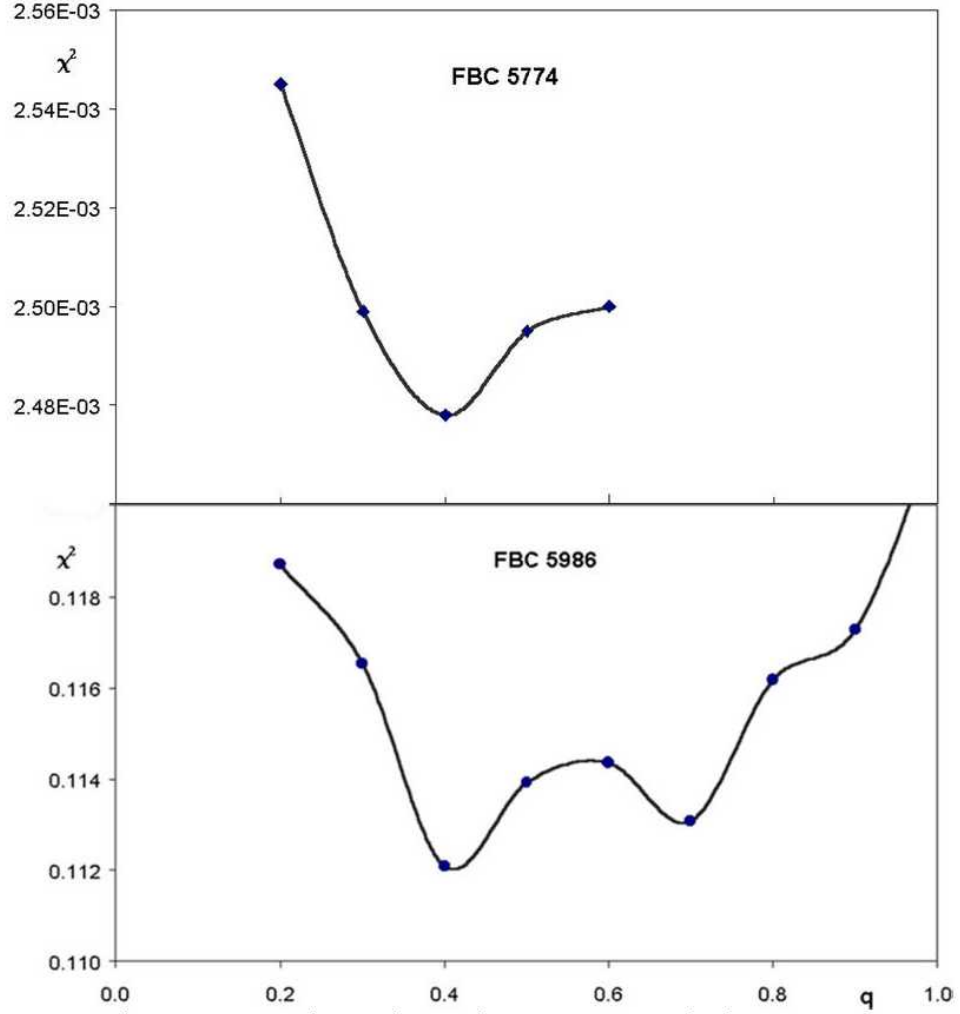
Yıldızların hiç biri bizim tarafımızdan gözlenmemiştir. EV Cnc'nin gözlemleri van der Berg'den [11] istenmiş, diğer iki yıldızın gözlem verileri ise yazarı [13] tarafından IBVS dergisinde yayınlanmıştır. Her üç sistem de ışık eğrilerine ve dönemlerine bakılarak W UMA türü örten değişen olarak sınıflandırılmıştır.

3. Işık Eğrisi Analizi

EV Cnc V bandında diğer iki yıldız ise I bandında gözlenmiştir. Işık eğrilerinin analizi için Phoebe 0.29c arayüzü [14] ile Wilson-Devinney [15] programının 2005 sürümünü kullanıldı.

Birinci bileşenlerin sıcaklıkları, renklerine göre [16]'den alındı. Kenar kararım katsayıları, Phoebe arayüzü tarafından Van Hamme'nin tablolarından alınmaktadır. Çekim kararım üsleri $g_{1,2}=0.32$, yansıma katsayıları [17]'den $A_{1,2}=0.5$ olarak alındı. Analiz sırasında dairesel yörünge ($e=0$) ve senkronize dönme $F_{1,2}=1$ varsayılmıştır.

Sistemlere ait daha önceden bir çalışma yapılmadığından öncelikle fotometrik kütle oranı taraması yapıldı. Bu taramadan önce EV Cnc ve FBC 5774 sistemlerinin ikinci minimumlarında görülen asimetrik yapıyı açıklayabilmek için birinci yıldıza koyduğumuz soğuk lekeler ile gözlenen ışık eğrisini karşılaştırmak mümkün olmadı. Daha sonra denediğimiz yoldaş yıldız üzerindeki sıcak leke ise sözkonusu sapmayı çok iyi bir şekilde temsil etti. Kütle oranı taramasını mode 3'de yaptık ve EV Cnc hariç diğer iki sistem için de χ^2 ile q değerleri Şekil 1'de verilmiştir. EV Cnc için anlamlı bir değer bulma olanağımız olmamıştır. Farklı bazı kütle oranlarında yazılım çalışmamıştır. Sadece $q=0.7-1.0$ arasında çözümler alınmış ve bunlara karşıt gelen χ^2 değerleri hemen hemen aynıdır.



Şekil 1 Yarı-ayrık FBC5774 ve değen sistem olan FBC5986'nın kütle oranı taramasının sonuçları görülmektedir.

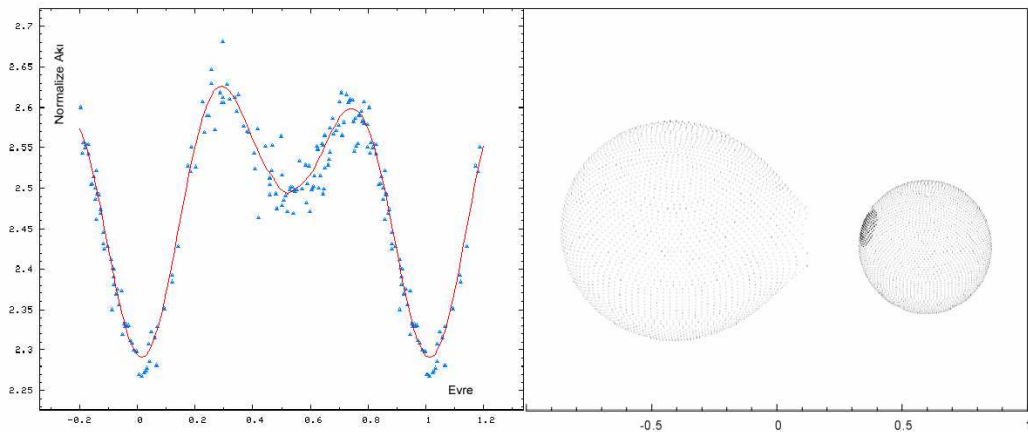
Tarama sonucu elde ettiğimiz kütle oranı yöresinde çok sayıda iterasyon yapılarak en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. FBC 5986 için çözümü bulmada bir sorun yaşanmamıştır ama diğer iki sistemde mode 3'de bileşenlerin Roche şişimlerini doldurmadığı gözlenmiştir. Benzer parametrelerle yarı ayrık mode denenmiş, o zaman da yine benzer sonuçla karşılaşmış, bileşenlerden hiçbiri Roche şişimini doldurmamıştır. Son olarak ayrık moda geçilmiş ama bu kez de birinci bileşenin Roche şişimini doldurduğu saptanmıştır. Çözüm sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. EV Cnc için farklı iki çözüm hemen hemen aynı χ^2 değerini verdiği için her ikisi de çizelgede yer almıştır. Sözü edilen bu dört çözüm sırasıyla Şekil 2, 3, 4 ve 5'de gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

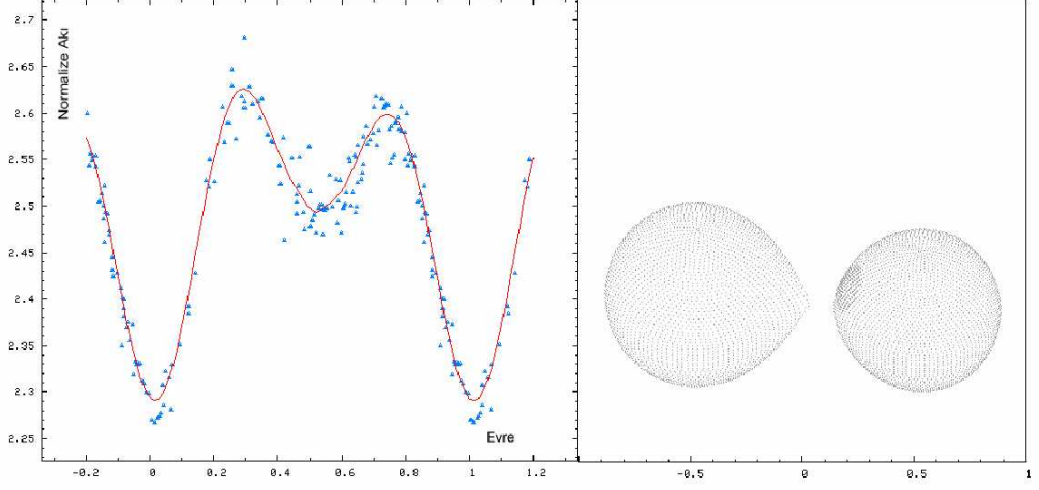
Bu çalışmada, M67 kümesindeki 3 örten değişenin ilk kez ışık eğrisi analizleri verilmiştir. Küme üyesi örten dğişenler özellikle W UMA türü olanlar bir çok açıdan önemlidir. Bugün bu tür yıldızlar küme uzaklığının bulunmasında bir tür "uzaklık ölçer" olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan eğer küme uzaklığı biliniyorsa bu kez de örten değişenlerin salt parametrelerini elde etmek kolaylaşıyor. Bu durum ise yıldız ve gökada astrofiziği için önem taşımaktadır.

Çizelge 2. Bu çalışmada gözönüne alınan örten değişen yıldızları çözüm parametreleri. EV Cnc için iki ayrı çözüm verilmiştir. Bu iki çözüm de hemen hemen aynı χ^2 değerini vermiştir. İkinci çözümün değerlerine baktığımızda değmeye yakın (near contact) olduğunu görüyoruz.

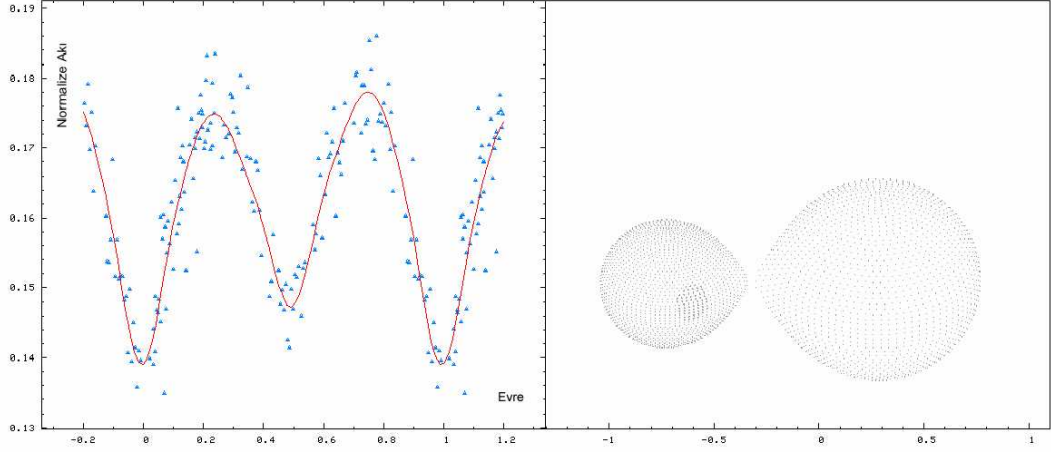
Parametre	EV Cnc	EV Cnc	FBC 5774	FBC 5774
	Yarı Ayrık	Yarı Ayrık	Yarı Ayrık	Değer
i	48.766	46.527	60.650	49.105
q	0.6758	0.8827	0.3732	0.4323
T ₁ (K)	6250	6250	4775	5880
T ₂ (K)	7059	4715	4162	5668
Ω_1	3.12159	3.55677	2.61963	2.72737
Ω_2	3.84838	3.69266	2.65265	2.72737
L ₁ /(L ₁ +L ₂)	0.6305(V)	0.8513(V)	0.8252(I)	0.7074(I)
L ₂ /(L ₁ +L ₂)	0.3695(V)	0.1487(V)	0.1748(I)	0.2926(I)
r ₁ (pole)	0.4049	0.3666	0.4390	0.4292
r ₁ (side)	0.4259	0.3856	0.4694	0.4578
r ₁ (back)	0.4609	0.4161	0.4960	0.4861
r ₂ (pole)	0.2488	0.3289	0.2716	0.2914
r ₂ (side)	0.2538	0.3425	0.2822	0.3044
r ₂ (back)	0.2626	0.3664	0.3113	0.3390
r ₂ (point)	0.2672	0.3967	0.3496	-
r ₁	0.4224	0.3884	0.4624	0.4519
r ₂	0.2571	0.3489	0.2888	0.3067
f ₁	0.20	0.00	0.02	0.06
Lekelerin				
Enlemi (°)	65.5	65.5	80.2	
Boylamı (°)	8.2	8.2	292.2	
Yarıçapları (°)	16.2	16.2	17.2	
Sıcaklık Fak.	1.3	1.3	1.2	
χ^2	0.01784	0.1787	0.0010	0.0289



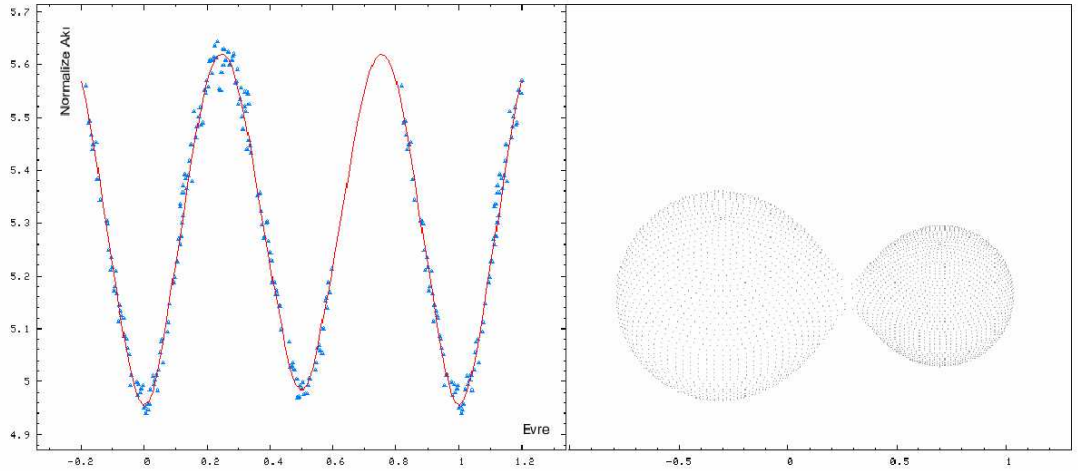
Şekil 2. V süzgecinde gözlenen EV Cnc'nin Çizelge 2'deki ilk çözümünün sonuçları görülmektedir. Birinci bileşen Roche şişimini doldurmuş durumda



Şekil 2 EV Cnc'nin Çizelge 2'deki ikinci çözümü. Her iki çözümde elde ettiğimiz χ^2 değerleri hemen hemen aynı. Burada birinci bileşen Roche şişimini yeni doldurmuş durumda.



Şekil 3 I süzgecinde gözlenen FBC 5774'ün ışık analizi sonucu. Roche şişimlerine bakıldığında yoldaş yıldızın da değme noktasına yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4 Yine I süzgecinde gözlenen FBC5986'nın çözüm sonuçları. Normal A türü bir W UMa sistem özelliklerini göstermektedir

EV Cnc, M67 kümesinde AH Cnc'den sonra en çok gözlenen sistemlerin ikincisidir. Sandquist ve Shetrone [4], elde ettikleri ışık eğrisini çözmek için NightFall yazılımını kullanmışlardır. Sistemin renk eğrisinde değişim göremedikleri için degen modunda iki soğuk leke olarak çözmeye çalışmışlardır. Karşılaştıkları en büyük zorluk yörünge eğiminin çok küçük olması ve ışık eğrisinde hem maksimumlarda hem de ikinci minimumda görülen asimetrik yapılar olmuştur. Sistemin ayırık olma olasılığının üzerinde de durmuşlardır. Asimetriyi açıklamak için kullandıkları iki soğuk lekeyi 0.23 ve 0.52 evresinde, sistemin bize dönük yüzüne koyduklarını yazmalarına karşın hangi bileşen üzerine koyduklarını belirtmemişlerdir. Buldukları parametreler şöyledir: $q=0.50$, $i=32$ ve $f=0.47$. Bu çözüm bizim bulduğumuz çözümle uyuşmamaktadır. Özellikle bu sistemin yapılan diğer gözlemlerini de ele alarak ışık eğrisi çözümlerini gerçekleştirip, gösterdiği değişimleri açıklamaya çalışacağız.

Kaynaklar

- [1] Johnson, H.L., & Sandage, A.R., (1955), "The galactic cluster M67 and its significance for stellar evolution" *ApJ*, 121, 616
- [2] Montgomery, K. A., Marschall, L. A., & Janes, K. A., (1993) "CCD photometry of the old open cluster M67" *AJ*, 106, 181
- [3] Fan, X., Burstein, D., Chen, J.-S., et al., (1996), "Deep Wide-Field Spectrophotometry of the Open Cluster M67"
- [4] Sandquist, E., & Shetrone, M., (2003), "Time Series Photometry of M67: W Ursae Majoris Systems, Blue Stragglers, and Related Systems", *AJ*, 125, 2173
- [5] Whelan, J. A. J., Romanishin, W., Worden, S. P., Rucinski, S. M., (1979), "AH CANCRI A contact binary in M67", *MNRAS*, 186, 729
- [6] Zhang, X. B., Zhang, R. X., Deng, L., (2005), "Photometric Study of AH Cancri, a W UMA-Type System in M67", *AJ*, 129, 979
- [7] Qian, S.-B., Liu, L., Soonthornthum, B., Zhu, L.-Y., He, J.-J., (2006), "Deep, Low Mass Ratio Overcontact Binary Systems. VI. AH Cancri in the Old Open Cluster M67", *AJ*, 131, 3028
- [8] Yakut, K., Aerts, C., (2006), "Physical Parameters of the Overcontact Binary AH Cnc in the Old Open Cluster M 67", *ASP Conference Series*, Vol. 349, p. 375
- [9] Gilliland, R. L., Brown, T. M., Duncan, D. K., et. Al., (1991), "Time-resolved CCD photometry of an ensemble of stars in the open cluster M67", *AJ*, 101, 541
- [10] Stassun, K. G., van den Berg, M., Mathieu, R. D., Verbunt, F., (2002), "Photometric variability in the old open cluster M 67. II. General survey", *A&A*, 382, 899
- [11] van den Berg, M., Stassun, K. G., Verbunt, F., Mathieu, R. D., (2002), "Photometric variability in the open cluster M 67. I. Cluster members detected in X-rays", *A&A*, 382, 888
- [12] Sandquist, E. L., Shetrone, M. D., (2004), "S986 in M67: A Totally Eclipsing Binary at the Cluster Turnoff", *AJ*, 126, 2954
- [13] Sandquist, E. L., (2006), "New Eclipsing Variables in the Field of M67", *IBVS*, 5679
- [14] Prša, A., Zwitter T., (2005), "A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives", *ApJ*, 628, 426
- [15] Wilson, R.E., Devinney, E.J., (1971), "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni", *ApJ*, 166, 605
- [16] Worthey, G., Lee, H.C., (2006), "An Empirical UBVRIJK Color-Temperature Calibration for Stars", *ArXiv: Astro-ph/0604590 v1*
- [17] Lucy, L.B., (1967), "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes", *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89