https://doi.org/10.18524/1810-4215.2023.36.290038

NEW GALACTIC LITHIUM-RICH CLASSICAL CEPHEID: OGLE GD-CEP-0516

V. V. Kovtyukh[1,2]

[1] Astronomical Observatory, Odessa National University, Shevchenko Park, 65014, Odessa, Ukraine

[2] Institut für Astronomie und Astrophysik, Kepler Center for Astro and Particle Physics, Universität Tübingen, Sand 1, 72076 Tübingen, Germany

ABSTRACT. We report the discovery new super-lithium rich beat Cepheid OGLE GD-CEP-0516 which has a lithium abundance of $logA$(Li)≈3.6 dex. It is the sixth known Cepheid of such type in the Galaxy. OGLE GD-CEP-0516 can be considered as the Cepheid which is presently crossing the instability strip for the first time.

Keywords: stars: abundances – stars: variables: Cepheids – stars: individual: OGLE GD-CEP-0516.

АНОТАЦІЯ. У цій статті ми повідомляємо про відкриття нової бімодальної цефеїди, багатої літієм, OGLE GD-CEP-0516. Бімодальні цефеїди — це класичні змінні зорі-цефеїди, які одночасно пульсують у двох (або трьох) радіальних модах.

Детальне фотометричне дослідження OGLE GD-CEP-0516 протягом кількох років показало, що це галактична бімодальна цефеїда з найкоротшим відомим періодом (P1=0.3949599 d, P2=0.3163039 d, P2/P1=0.801). Вона пульсує з амплітудою 0.30 mag в I-діапазоні. Її відстань, яка знайдена за допомогою емпіричного співвідношення період-світність (PL) показує, що вона знаходиться у галактичному тонкому диску, на 0.07 кпк над площиною Галактики. Для цієї цефеїди ми проаналізували спектр UVES з роздільною здатністю R = 42 300, який охоплює інтервал довжин хвиль 4726-6835 Å, відношення сигнал/шум S/N=141. Щоб визначити ефективну температуру, ми використали методику, яка основана на відношеннях глибин лінії. Мікротурбулентна швидкість і прискорення сили тяжіння були знайдені за допомогою стандартного аналізу.

Нова суперлітієва цефеїда OGLE GD-CEP-0516 демонструє наявність сильної резонансної лінії LiI 6707.766 Å і має вміст літію log A(Li) ≈ 3.6 dex. Вміст вуглецю та натрію, визначений для OGLE GD-CEP-0516, близький до сонячних значень, це вказує на те, що ця цефеїда ще не проходила через перший конвективний винос. Це шоста відома класична цефеїда такого типу в Галактиці. OGLE GD-CEP-0516 можна вважати цефеїдою, яка зараз вперше перетинає смугу нестабільності.

Зауважимо, що літій було знайдено в різних цефеїдах: 1) довгоперіодична цефеїда у Великій Магеллановій Хмарі, яка пульсує у фундаментальному періоді; 2) п'ять бімодальних цефеїд Чумацького Шляху, що пульсують або в режими P0/P1 або P1/P2; 3) тільки V1033 Cyg є звичайний пульсатор основної моди з P ≈ 4.9 d. Це може означати, що літій в атмосферах цефеїд міг вироблятися через різні канали, наприклад, через поглинання планети, акрецію субзоряних компаньйонів, забруднення від зорі-супутника, або внутрішнього виробництва Li під час стадії RGB/RC.

Ключові слова: зорі: хімічний склад – зорі: класичні цефеїди.

1. Introduction

Pulsating stars such as classical Cepheids are not only crucial primary distance indicators, but they are also at the crossroad of many fundamental astrophysical problems.

Classical Cepheids are intermediate-mass and massive stars crossing the Instability Strip during the core He-burning stage. Classical Cepheids cover a broad range in stellar mass, namely from ∼2.2 to ∼14 $M_{\odot}$. In an evolved intermediate-mass star one expects the lithium abundance to be severely diluted due to the combined effects of the mass-loss on the Main Sequence and the subsequent first dredge-up. The sensitivity to mass-loss stems from the fact that in B stars (the progenitors of Cepheids) Li remains in only the outer 2% of the star at the end of the Main Sequence. The standard stellar evolution predicts a dilution about a factor of ≈50-60 relative to the initial value. Assuming an initial lithium content of $logA$(Li) = 3.3 dex, this means that Cepheids should have lithium abundances $logA$(Li)<1.5 dex. In contrast, Li-rich Cepheids has

Table 1: Parameters of the lithium-rich Cepheids

Star	Mode	Pobs days	<V> mag	R_G kpc	d pc	l deg	b deg	Remarks
Galaxy :								
OGLE GD-CEP-0516	P2/P1	0.394959	12.666	7.87	2720	285.50	–1.45	This paper
ASAS 075842-2536.1	P2/P1	0.41013	12.260	9.03	2100	243.55	2.35	Kovtyukh et al. (2019)
V363 Cas	P2/P1	0.546597	10.550	8.76	1155	118.46	–2.22	Catanzaro et al. (2020)
ASAS 131714-6605.0	P2/P1	0.913165	11.820	6.85	2200	305.86	–3.64	Kovtyukh et al. (2019)
V371 Per	P1/P0	1.738	10.930	10.61	3200	146.02	–14.65	Kovtyukh et al. (2016)
V1033 Cyg	P0	4.9375119	13.027	7.52	3429	69.94	0.49	Luck & Lambert (2011)
LMC :								
HV 5497	P0	99.156076	11.930	–	–	277.24	–36.17	Luck & Lambert (1992)

Remarks: R_G– Galactocentric distance, d – heliocentric distance.

a strong lithium line with the deduced LTE lithium abundance of $logA(\mathrm{Li}) = 3.3$ dex (see Luck & Lambert, 1992, 2011; Kovtyukh et al., 2019; Catanzaro et al., 2020).

Six super-lithium rich Cepheids have already been reported in the literature. Some useful parameters for the Li-rich Cepheids in the Galaxy and Large Magellanic Cloud (LMC) are gathered in Table 1.

The study of lithium content as a function of effective temperature, rotation, and deepening of the convective zone is a key problem for our understanding of stellar convective mixing and evolution.

In this paper we report the discovery of new Li–rich beat Cepheid OGLE GD-CEP-0516. Beat Cepheids are classical Cepheid variable stars that simultaneously pulsate in two (or three) radial modes. Most beat Cepheid pulsates either in the first overtone and the fundamental modes (P1/P0), or in the second and the first overtone modes (P2/P1). Previous studies clearly established that the period ratio (higher to lower mode) of the P1/P0 pulsators is around 0.72, while that of P2/P0 is closer to 0.80. The period ratios P1/P0 can be measured very accurately and have been found to correlate with the Cepheid masses (or periods), and the abundances of the heavy elements (Kovtyukh et al., 2016; Lemasle et al., 2018).

2. Beat Cepheid OGLE GD-CEP-0516

Extensive photometry of OGLE GD-CEP-0516 over a number of years has clearly shown it to be a Galactic beat Cepheid, with the shortest period known so far (P1=0.3949599 d, P2 = 0.3163039 d, P2/P1 = 0.801, see Udalski et al. 2018). It pulsates with an amplitude of 0.30 mag in the I band. Its distance, which is derived from the empirical period-luminosity (PL) relation, places it in the Galactic thin disk, 0.07 kpc above the Galactic plane (Skowron et al., 2019).

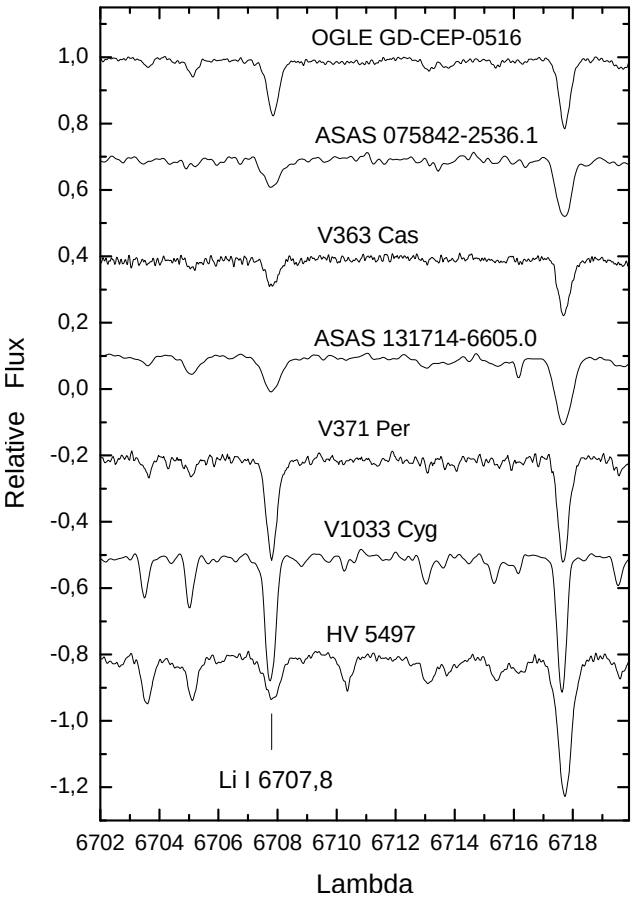

Figure 1: The spectral region around the Li I 6707.8 Å line in the spectra of lithium–rich Cepheids. For the sake of clarity the continuum level was shifted to arbitrary levels.

3. Spectroscopic analysis

For this star we analysed UVES spectrum at R = 42 300 that have been taken using the red arm (#CD3) and cover the wavelength interval 4726–6835 Å, the signal-to-noise ratio S/N=141 (Dekker et al., 2000).

Fig. 1 displays the spectral domain around the Li I 6707.8Å feature for the all Li-rich Cepheids discovered so far in the Milky Way and LMC.

4. Parameters and Abundance

To determine the effective temperature ($T_{\rm eff}$) for OGLE GD-CEP-0516, we employed the method of Kovtyukh (2007), based on $T_{\rm eff}$–line depth relations (we used 59 relations in total, and derived $T_{\rm eff}$= 6526 ± 20, σ = 139 K). The microturbulent velocity $V_{\rm t}$ and gravity log g were found using the standard analysis (see, for example, Kovtyukh et al., 2016). The atmospheric parameters $T_{\rm eff}$, log g and $V_{\rm t}$ are listed in Table 2.

The abundances of different elements were derived in the LTE approximation using atmosphere model interpolated for the atmosphere parameter within the grid of ATLAS9 models by Castelli & Kurucz (2004). We discarded strong lines (with EWs>150 mÅ) due to noticeable damping effects. The oscillator strengths, log gf, were adopted from the Vienna Atomic Line Database (VALD, Ryabchikova et al., 2015, version 2023). The reference solar abundances were taken from Asplund et al. (2009).

The results are given in Table 2.

Table 2: LTE abundance in OGLE GD-CEP-0516. Model 6526/2.4/1.4 ($T_{\rm eff}$, log g, $V_{\rm t}$)

Ion	Code	[El/H]	σ	NL	(El/H)
Li I	3.00	2.44	–	1	3.60
C I	6.00	–0.12	0.07	7	8.44
O I	8.00	–0.00	0.07	3	8.81
Na I	11.00	–0.12	0.09	2	6.20
Mg I	12.00	–0.18	–	1	7.42
Al I	13.00	–0.20	–	1	6.10
Si I	14.00	0.02	0.14	12	7.53
Si II	14.01	0.14	–	1	7.65
S I	16.00	0.28	0.27	3	7.49
Ca I	20.00	0.16	0.15	7	6.54
Sc II	21.01	–0.13	0.25	5	3.12
Ti I	22.00	0.14	0.16	13	5.09
Ti II	22.01	0.03	0.22	5	4.98
V I	23.00	0.01	0.16	3	4.12
V II	23.01	0.05	0.15	2	4.16
Cr I	24.00	0.11	0.16	9	5.87
Cr II	24.01	0.11	0.12	6	5.87
Mn I	25.00	–0.21	0.12	6	5.33
Fe I	26.00	0.01	0.12	149	7.51
Fe II	26.01	0.02	0.10	19	7.52
Co I	27.00	0.08	0.30	2	5.07
Ni I	28.00	–0.03	0.12	28	6.27
Y II	39.01	0.11	0.08	5	2.30
Zr II	40.01	0.02	0.34	2	2.90
La II	57.01	–0.04	0.09	4	1.29
Ce II	58.01	0.05	0.16	5	1.76
Pr II	59.01	0.04	0.19	3	0.85
Nd II	60.01	–0.28	0.10	4	1.24
Eu II	63.01	0.02	0.18	2	0.98

Remark: (El/H) is absolute abundance value on the scale where hydrogen abundance is 12.00.

5. Discussion and Conclusions

We have discovered new lithium Cepheid in the Milky Way, which brings the number of such rare objects to a grand total of seven stars (six in the Galaxy, one in the LMC). This Cepheid (OGLE GD-CEP-0516) shows the presence of strong resonance LiI 6707.766 Å line. The abundances of carbon and sodium determined for OGLE GD-CEP-0516, being close to the solar values, indicate that this Cepheid has never been through the first dredge-up (Adamczak & Lambert, 2014; Takeda et al., 2013, and references therein). Otherwise, we should expect the abundances of these elements to have been significantly altered by the dredge-up.

Note that lithium has been measured in a variety of Cepheids: one very long-period LMC Cepheid pulsating in the fundamental mode, and five double-mode Milky Way Cepheids pulsating either in the P0/P1 or P1/P2 modes; only V1033 Cyg is a common P≈4.9 d fundamental mode pulsator (Table 1). This might indicate that Li observed in the atmosphere of Cepheids could be produced via different channels, for instance via accretion of sub-stellar companions, pollution from a companion star, planet ingestion, or internal production of Li during the RGB/RC stage (for details, see Liu et al. 2014, Kirby et al 2016, Kovtyukh et al. 2019, and references therein).

Acknowledgements. Based on observations collected at the European Southern Observatory under ESO programme ID 105.20MX.

References

Adamczak J. & Lambert D. L.: 2014, *ApJ*, **791**, 58.

Asplund M., Grevesse N., Sauval A.J., Scott P.: 2009,*ARA&A*, **47**, 481.

Castelli F. & Kurucz R.L.: 2004, ArXiv: astro-ph/0405087.

Catanzaro G., Ripepi V., Clementini G. et al.: 2020, *A&A*, **639**, 4.

Dekker H., D'Odorico S., Kaufer A., Delabre B., Kotzlowski H.: 2000, *SPIE*, **4008**, 534.
Kirby E.N., Guhathakurta P., Zhang A.J. et al.: 2016, *ApJ*, **819**, 135.
Kovtyukh V.V.: 2007, *MNRAS*, **378**, 617.
Kovtyukh V., Lemasle B., Chekhonadskikh F. et al.: 2016, *MNRAS*, **460**, 2077.
Kovtyukh V., Lemasle B., Kniazev A. et al.: 2019, *MNRAS*, **488**, 3211K.
Lemasle B., Hajdu G., Kovtyukh V. et al.: 2018, *A&A*, **618**, A160.
Liu Y. J., Tan K. F., Wang L., Zhao G., Sato B., Takeda Y., Li H. N.: 2014, *ApJ* **785**, 94.
Luck R.E. & Lambert D.L.: 1992, *ApJS*, **79**, 303.
Luck R.E. & Lambert D.L.: 2011, *AJ* **142**, 136.
Ryabchikova T., Piskunov N., Kurucz R. L. et al.: 2015, *Physica Scripta*, **90**, 054005.
Skowron D.M., Skowron J., Mróz P. et al.: 2019, *AcA*, **69**, 305.
Takeda Y., Kang D.-I., Han I., Lee B.-C., Kim K.-M.: 2013, *MNRAS* **432**, 769.
Udalski A., Soszyński I., Pietrukowicz P. et al.: 2018, *Acta Astron.*, **68**, 315.