

---

Българска академия на науките

Институт по астрономия  
с Национална астрономическа обсерватория

---

Фотометрично изследване на звезди от тип  
FU Orionis и EX Lupi

Стоянка Петрова Пенева

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ  
за присъждане на образователната и научна степен  
“доктор”

София, 2012 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на .....от .... ч в зала ..... на ..... бул. „Цариградско шосе” 72. Електронно копие на дисертационния труд може да бъде намерено на адрес <http://www.astro.bas.bg/~speneva>.

---

Българска академия на науките

Институт по астрономия  
с Национална астрономическа обсерватория

---

Фотометрично изследване на звезди от тип  
FU Orionis и EX Lupi

Стоянка Петрова Пенева

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ  
за присъждане на образователната и научна степен  
“доктор”

Научна специалност:  
01.04.02 Астрофизика и звездна астрономия

Научен ръководител:  
доц. д-р Евгени Семков

София, 2012 г.

Дисертационният труд съдържа 93 страници, включващи 23 таблици, 24 фигури и 96 цитирани заглавия. Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на Научния семинар на Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория, проведен на 09.01.2012 г. Дисертантът работи като асистент в Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория.

## Съдържание

1. Увод	7
1.1 Звезди преди Главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг – Ръсел	7
1.2 Фотометрична променливост на звездите преди Главната последователност	8
2. Цели и структура на дисертационния труд	11
3. Наблюдения	
3.1 Калибриране на вторични <i>BVRI</i> стандартни звезди около изследваните обекти	12
3.2 CCD наблюдения	13
3.3 Фотографски наблюдения	14
4. Резултати от наблюденията на обектите и анализ на получените резултати	15
4.1 V733 Cep	15
4.2 V1735 Cyg	19
4.3 Parsamian 21	22
4.4 GM Cep	24
4.5 Новооткрити променливи звезди	28
5. Заключение и научни приноси	31
6. Публикации и цитати	32
Библиография	34
Abstract	37

## **Благодарности**

Изследванията в дисертационния труд са реализирани с финансовата подкрепа на Национален фонд „Научни изследвания” по договори ДО 02-85, ДО 02-273 и ДО 02-362.

## 1. Увод

### 1.1 Звезди преди Главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел

*Звездите преди Главната последователност* с маса, по-малка от  $2M_{\odot}$  се асоциират със звезди от тип *T Tauri*, а тези с маси между 2 и  $8M_{\odot}$  – със звезди на Хербиг от спектрален клас *Ae/Be*. Спектралната и фотометрична променливост е основна характеристика и на двата типа звезди, открита в самото начало на тяхното изследване.

Звездите от тип *T Tauri* са обособени като нов тип променливи с прототип звездата Т Тау от Joy (1945) на базата на следните характеристики: 1) бързи и неправилни изменения в блясъка с амплитуда  $\sim 3^m$ ; 2) спектрален клас F5-G5 и наличие на силни емисионни линии в спектъра (особено линиите H и K на CaII); 3) ниска светимост (V); 4) звездите са свързани с тъмни или светещи мъглявини. Първата значителна стъпка към обяснение на физическата природа на звездите от тип *T Tauri* е направена от Ambartsumyan (1947; 1952), след откриването на *T Tauri* звезди в състава на звездните асоциации. Върху диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел, *T Tauri* звездите се намират над Главната последователност, в областта, заета от еволюционните трекове на звезди с маса  $0.3 - 3 M_{\odot}$  и възраст от порядъка на  $10^6 - 10^7$  г. Разпределението на енергията в спектрите на звездите от тип *T Tauri* се характеризира с ултравиолетов ексцес и инфрачервен ексцес. (Hartigan et al. 1989; Mendoza 1966, 1968). Излъчването в непрекъснатия спектър може да се разглежда като съставено три компоненти: звездна фотосфера, горещ газ и прах (Petrov 2003). Фотосферният спектър на звездите от тип *T Tauri* варира между спектрални класове F-M, като типичният спектрален клас е K7 V (Herbig 1962). Спектралният клас, определен по различни области от спектъра е различен. В синята област той е по-ранен, отколкото в червената (Walker 1980, Appenzeller 1986). Отличителен белег на фотосферния спектър е силната линия на Li 6707 Å – един от показателите, че това са млади звездни обекти.

В съвременната литература звездите, в чийто спектър еквивалентната ширина на линията  $H_{\alpha}$  е по-малка от  $5\text{\AA}$ , се наричат *T*

*Tauri* звезди със слаби емисионни линии или „голи“ (naked) *T Tauri* звезди (Walter 1986), а обектите със силни емисионни линии се наричат *класически T Tauri* звезди. Двата подкласа се различават основно по наличието на акреционни дискове при *класическите T Tauri* звезди (Adams and Shu 1986).

Темпът на акреция се променя между  $10^{-9} M_{\odot}/\text{г.}$  и  $10^{-7} M_{\odot}/\text{г.}$  и надвишава темпа на загуба на маса около 100 пъти.

*Звездите на Хербиг от спектрални класове Ae/Be* за пръв път са открити от Herbig (1960) при търсене по-масивния аналог на звездите от тип *T Tauri*. Herbig (1960) открива 26 звезди от спектрални класове Ae/Be, които се намират в райони на силно поглъщане и осветяват близки до тях мъглявини. Звездите са подбрани по следните критерии: 1) спектрален клас A или по-ранен с емисионни линии в спектъра; 2) намират се в тъмни облаци; 3) осветяват сравнително ярки мъглявини в непосредствена близост. Критериите на Herbig (1960) за класифициране на *Ae/Be* звездите с емисионни линии в спектъра покъсно са допълнени от van den Ancker et al. (1997). Разликата между двата типа звезди преди *Главната последователност – T Tauri* и *звездите на Хербиг от спектрални класове Ae/Be* не е само в масата, но и в техния вътрешен строеж и еволюционен статус (Water & Waelkens 1998).

## **1.2 Фотометрична променливост на звездите преди Главната последователност**

Herbst et al. (1994) дефинират три типа фотометрична променливост, които се наблюдават при *звездите преди Главната последователност*: ротационни модуляции на блясъка, причинени от студени магнитни петна; променливост, дължаща се на комбинация от студени и горещи петна и *променливост от тип UX Orionis* - променлива екстинкция от околосъзвезден прах, която води до промени в блясъка на звездата.

Съществуват две рядко наблюдавани явления на променливост при звездите *преди Главната последователност*, за които са характерни значителни повишения на блясъка (избухвания). Те са наречени *фуори* (Ambartsumyan 1971) и *ексори* (Herbig 1989), като имат за прототип съответно звездите FU Orionis и EX Lupi. И двата типа променливост са характерни за звездите от *T Tauri* тип, около



които съществуват масивни околосъзвездни дискове. Herbig (1977) обобщава основните характеристики на младите променливи звезди от *мин FU Orionis*, след като стават известни три представителя на този тип: FU Ori, V1057 Cyg и V1515 Cyg. Само за тези три обекта са построени детайлни криви на блясъка, получени от началото на избухването (Clarke et al. 2005).

Основните характеристики на *фуорите*, обобщени от Reipurth (1990), Bell et al. 1995, Clarke et al. 2005 и Reipurth & Aspin (2010) са:

- 1) покачване на блясъка с около 4-5 звездни величини в оптичния диапазон за няколко месеца или години, последвано от по-бавно спадане, продължаващо няколко десетилетия
- 2) *Фуорите* са млади обекти. Намират се в райони на активно звездообразуване и са свързани с отражателни мъглявини.
- 3) Спектралният клас на *фуорите* се променя с дължината на вълната. Оптичният спектър е типичен за F-G свръхгигант. Инфрачервеният спектър съответства на спектъра на свръхгигант от спектрален клас K-M.
- 4) Оптичният спектър на *фуорите* се характеризира с широки абсорбционни линии от балмеровата серия (особено H $\alpha$ ) и Na I 5890/5896 Å с ясно изразен P Cygni профил.
- 5) Разпределението на енергията в спектъра на всички *фуори* се характеризира със силен инфрачервен ексцес. При много от тях наблюдавания ексцес може да се моделира с акреционен диск.
- 6) Предшественици на *фуорите* са звезди джуджета с малка променливост, най-вероятно T Tauri звезди. Само V1057 Cyg има спектър, получен преди избухването, който има характеристиките на T Tauri звезда.

Reipurth & Aspin (2010) класифицират като *променливи от мин FU Orionis* десет обекта, на базата на спектрални характеристики и регистрирано избухване. Освен тях съществува друга група обекти, които притежават спектралните характеристики на *фуорите*, но тяхното избухване не е регистрирано. Тези обекти са наречени *фуороподобни* (Reipurth et al. 2002, Greene et al. 2008).

Според най-разпространения модел на избухването на *фуорите* повишаването на блясъка им се дължи на ускорена акреция на вещество от околосъзвезден диск върху звездната фотосфера (Hartman & Kenyon 1985; 1996). Темпът на акреция нараства от  $\sim 10^{-7} M_{\odot}/\text{г.}$  до  $\sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{г.}$  За избухване с продължителност от порядъка на 100 години върху звездата акретира вещество с маса по-голяма от  $0.01 M_{\odot}$ .

Характеристиките на другия тип *звезди преди Главната последователност* - *ексорите*, за които са характерни избухвания с голяма амплитуда не са толкова ясно определени, колкото тези на *фуорите*. *Ексорите* имат за прототип звездата EX Lupi. EX Lupi е *T Tauri* звезда, която през по-голямата част от времето показва промени в блясъка си с малка амплитуда, прекъсвани от периоди на рязко покачване на блясъка (Herbig 2007). *Ексорите* са обекти с по-ниска светимост от *фуорите*, избухванията им са с амплитуди до  $5^m$ , продължават по няколко месеца или година и в много случаи се повтарят. Поради малкото количество наблюдателни данни, получени за *ексорите*, характеристиките на типа променливи се определя най-вече от характеристиките на самата EX Lupi. Herbig (2007) изследва фотометричните и спектроскопични данни за EX Lupi и стига до извода, че избухванията се дължат на неравномерно стичане на маса. Доказателствата за това са воалирането на абсорбционния спектър от клас M0, обърнат P Cigni профил – абсорбционни компоненти на емисионните линии, отместени на до +340 km/s и силна променливост в структурата на емисионните линии.

25% от *звездите на Хербиг от спектрални класове Ae/Be* се характеризират с промени в блясъка с големи амплитуди – до  $3^m$  (V) (Bibo & Thé 1991). Това са обекти от спектрален клас A0 или по-късен. Прототип на тази група *звезди преди Главната последователност*, наречени *уксори*, е звездата UX Orionis. Съществува и друга група *звезди на Хербиг от спектрален клас по-ранен от A0*, за които са характерни изменения в блясъка с малки амплитуди  $\sim 0.1^m$  (Bibo & Thé 1991). Изследването на van den Ancker et al. (1997) показва, че амплитуди на изменение на блясъка, по-големи от  $0.5^m$ , са характерни само за звезди от спектрален клас A0 или по-късен, а 65% от всички изследвани от тях *звезди на Хербиг от спектрален клас Ae/Be* показват фотометрична променливост с амплитуди, по-големи от  $0.05^m$ . Най-общоприетото обяснение за фотометричната променливост на *уксорите* е, че дълбоките минимума в блясъка им се дължат на затъмнения от оптично дебели прахови облаци (Thé 1994). По време на минимумите в блясъка нараства степента на линейна поляризация на лъчението (Grinin et al. 1991; Grinin 1994). В дълбоките минимума на блясъка се наблюдава промяна на посоката на изменение на цвета на звездата върху диаграмите цвят – величина (“обръщане” на цвета или “посиняване” на звездата) (Zaitseva 1986, Herbst 1986, Grinin et al. 1991). Фотометричното изследване, направено от Herbst & Shevchenko

(1999) потвърждава, че променливостта с голяма амплитуда е присъща на звездите от спектрален клас, по-късен от В8. Авторите предлагат допълнителен механизъм на променливост при *уксорите* – променлива акреция. Променливата акреция предизвиква изменения на температурата и плътността във вътрешната част на диска, които водят до променливост в оптичния диапазон.

## 2. Цели и структура на дисертационния труд

Основната цел на настоящия дисертационен труд е да се изследва връзката между фотометричната променливост на *звездите от тип FU Orionis* и *EX Lupi* и процесите на взаимодействие на *звездите преди Главната последователност* с околосвездната среда и околосвездните дискове. За целта е извършен фотометричен мониторинг на четири подбрани *звезди преди Главната последователност* на *диаграмата на Херцшпрунг – Ръсел*: V733 Ser, V 1735 Cyg, Parsamian 21 и GM Ser. Построени са *BVRI* кривите на блясъка на обектите за дълъг период от време, като данните от съвременните CCD наблюдения са допълнени с данни от архивните фотографски плаки и са анализирани фотометричните характеристики на изследваните обекти.

Дисертационният труд е структуриран в шест глави. Първата глава е увод, в който са описани основните характеристики и типове променливост на *звездите преди Главната последователност*. Във втората глава са описани целите и структурата на дисертационния труд. В третата глава са представени използваните телескопи и CCD камери, процедурите за калибриране на вторични стандартни звезди и апертурна фотометрия. Резултатите от наблюденията и анализа на получените резултати за всеки обект са дадени в четвърта глава, а заключенията и научните приноси са формулирани в пета глава. Шеста глава съдържа списък с публикациите, на които се основава дисертационния труд, както и другите публикации на автора.

### 3. Наблюдения

#### 3.1 Калибриране на вторични *BVRI* стандартни звезди около изследваните обекти

За да се преобразуват инструменталните звездни величини в стандартни, в полето на всеки от изследваните обекти са калибрирани 15-16 вторични стандартни звезди във фотометрична система Johnson-Cousins. Използването на стандартни звезди в полетата около изследваните обекти е с голямо значение за точното измерване на звездните величини на обектите. Изследваните обекти се намират в области на активно звездообразуване, където голяма част от звездите са променливи. Калибровката на вторичните стандартни звезди е направена по наблюдения през голям брой нощи. Така се намалява вероятността променливи звезди с малки амплитуди да попаднат между звездите, подбрани за стандарти и се повишава точността на измерените *BVRI* звездни величини на вторичните стандартни звезди. Калибровката е извършена по наблюдения с 1.3-м РК телескоп на обсерваторията Скинакас (Гърция) в течение на шестнадесет фотометрични нощи в периода 2004 – 2009 г., като са използвани стандартни звездни площадки от Landolt (1992). Наблюденията на стандартните площадки са правени в началото, средата и края на ноща. Всяка нощ са наблюдавани между 40 и 50 звезди с различен цвят, намиращи се на различна въздушна маса. Извършена е апертурна звездна фотометрия на стандартните площадки с пакета DAOPHOT в IDL. Получени са инструменталните звездни величини на стандартните звезди с добра точност.

Връзката между стандартните *BVRI* звездни величини, инструменталните *bvri* звездни величини и въздушната маса  $X = 1/\cos Z$  се задава от следните уравнения:

$$B = b + k_1.(b - v) + k_2.X_b + k_3 \quad (1)$$

$$V = v + l_1.(v - i) + l_2.X_v + l_3 \quad (2)$$

$$R = r + m_1.(v - r) + m_2.X_r + m_3 \quad (3)$$

$$I = i + n_1.(v - i) + n_2.X_i + n_3 \quad (4)$$

$B$ ,  $V$ ,  $R$  и  $I$  са стойностите на стандартните звездни величини от Landolt (1992), а с  $X$  са означени стойностите на въздушната маса на която се

намират площадките в момента на наблюдение. Коефициентите  $k_{1,2,3}$ ,  $l_{1,2,3}$ ,  $m_{1,2,3}$  и  $n_{1,2,3}$  са определени по метода на най-малките квадрати.

В полето около V733 Сер са калибрирани петнадесет *BVRI* стандартни звезди по наблюдения, проведени в течение на дванадесет нощи в периода юни 2007 – юли 2009 г. Звездните величини на стандартните звезди са в интервала от  $15.05^m$  до  $19.70^m$  (*V*), а цветовите индекси (*B – V*) се променят от  $1.49^m$  до  $3.03^m$ . В полето около V1735 Суг са калибрирани шестнадесет вторични *BVRI* стандартни звезди в течение на четиринадесет ясни нощи през 2004, 2005, 2007 и 2008 г. Звездните величини на стандартните звезди са в интервала от  $15.08^m$  до  $20.19^m$  (*V*), а цветовите индекси (*B – V*) се променят от  $0.85^m$  до  $1.98^m$ . В полето около Parsamian 21 са калибрирани шестнадесет вторични *BVRI* стандартни звезди в течение на девет фотометрични нощи в периода юни 2007 – юли 2009 г. Звездните величини на стандартните звезди са в интервала от  $14.42^m$  до  $18.31^m$  (*V*), а цветовите индекси (*B – V*) се променят от  $0.91^m$  до  $2.33^m$ . В полето около GM Сер са калибрирани шестнадесет *BVRI* стандартни звезди. Калибровката е направена в течение на осем ясни нощи през 2008 и 2009 г. Звездните величини на стандартните звезди са в интервала от  $11.77^m$  до  $17.16^m$  (*V*), а цветовите индекси (*B – V*) се променят от  $0.57^m$  до  $2.28^m$ .

## 3.2 CCD наблюдения

CCD наблюденията на изследваните обекти са получени в две обсерватории с три телескопа: 2-м Ричи-Кретиен-Куде телескоп и 50/70/172-см Шмит телескоп на Националната астрономическа обсерватория Рожен и 1.3-м Ричи-Кретиен телескоп на обсерваторията Скинакас (Гърция), като са използвани седем различни CCD камери. При наблюденията са използвани са стандартни Jonson-Cousins *BVR<sub>c</sub>I<sub>c</sub>* филтри. Като правило, при всяко наблюдение са получавани по два кадъра във всеки филтър, което улеснява откриването на дефектни пиксели на камерата и следи от космически частици. Плоски полета във всеки филтър са получавани всяка ясна нощ във вечерния полумрак. Всички изображения, получени с камерите VersArray, Photometrics и ANDOR са коригирани за плоско поле и шум на четене (bias), а тези получени с камерите SBIG и FLI са коригирани за плоско поле и ток на тъмно. Извършена е апертурна звездна фотометрия на изследваните обекти с пакета DAOPHOT в IDL, като са използвани

вторичните *BVRI* стандартни звезди в полето на всеки обект. Наблюденията на даден обект, направени с различни телескопи и CCD камери са измерени с една и съща апертура. По този начин се осигурява максимална съвместимост на фотометричните данни, получени с различни инструменти.

### 3.3 Фотографски наблюдения

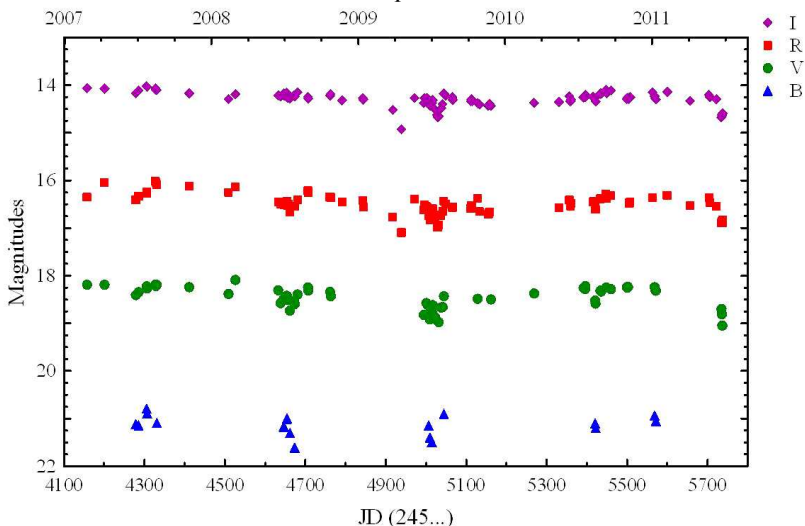
Построяването на кривите на блясъка на звездите от тип FU Orionis за дълги периоди от време е от съществено значение за изясняване на механизма на тяхното избухване. Единствена възможност за проследяване на фотометричната променливост на обектите преди *Главната последователност* във времето предоставят архивните фотографски плаки. За два от изследваните обекти – V733 Ser и V1735 Sgr е направено търсене в Базата данни от широкоъгълни астрономически наблюдения (Tsvetkov et al. 1997). Направеното търсене е ограничено до телескопи с апертура  $\geq 40$  см. Върху оцифрованите изображения на фотографските плаки е извършена апертурна звездна фотометрия с пакета DAOPHOT в IDL, като са използвани калибрираните вторични стандартни звезди в полето на всеки от изследваните обекти. Тъй като фотографските плаки са нелинейни приемници на лъчение, при измерване на звездната величина на изследваните обекти са използвани стандартни звезди със сходен блясък и цвят. Фотографската и CCD фотометрията са извършени с една и съща апертура за всеки отделен обект, за да се могат да се съвместят получените резултати при построяване на кривите на блясъка. За построяване на кривите на блясъка на изследваните обекти са използвани също фотографските наблюдения, получени с Шмит телескопа на обсерваторията Паломар, достъпни чрез сайта на Space Telescope Science Institute.

## 4. Резултати от наблюденията на обектите и анализ на получените резултати

### 4.1 V733 Сер

Звездата V733 Сер с координати  $\alpha = 22^{\text{h}} 53^{\text{m}} 33.3^{\text{s}}$ ,  $\delta = +62^{\circ} 32' 23''$  се намира в тъмния облак L1216, близо до асоциацията Cepheus OB3. Променливостта на V733 Сер е открита от шведския астроном Роджър Пърсън през 2004 г. (Persson 2004). Пърсън сравнява червените плаки от Първия и Втория паломарски обзор и установява, че на плаката от втория обзор (3 Септ. 1991) звездата е от  $15.7^{\text{m}}$ , а на плаката от първия обзор (31 Окт. 1953) обектът е под пределната звездна величина. Обектът е забележим върху плаката от обзора Quick-V от 1984 г.

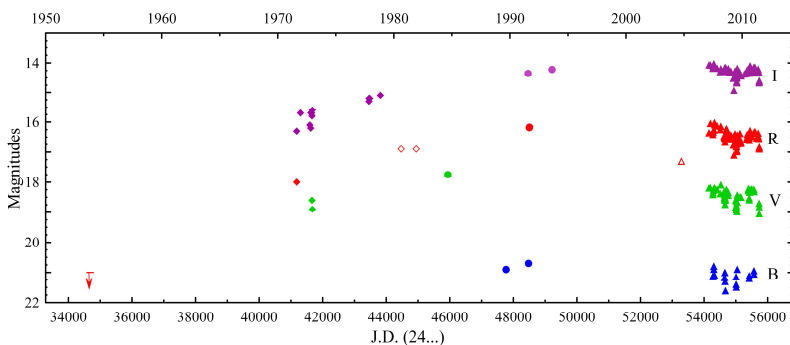
Reipurth et al. (2007) съобщават за наблюдение на звездата, получено през октомври 2004 г., при което блясъкът на звездата е  $R = 17.3^{\text{m}}$ . Авторите предполагат, че избухването е станало в периода 1953 – 1984 год. и откриват особености в оптичния и близкия инфрачервен спектър на звездата, сходни с тези в спектъра на самата FU Orionis.



Фигура 1: *BVRI* криви на V733 Сер за периода февруари 2007 – юни 2011

Нашите фотометрични *BVRI* наблюдения на обекта са получени в периода февруари 2007 – юни 2011 г. *BVRI* кривите на блясъка на V733 Сер са представени на Фиг. 1. Инструменталните грешки при CCD фотометрията са от порядъка на  $0.01 - 0.02^m$  в *I* и *R*,  $0.03 - 0.05^m$  за *V* и  $0.05 - 0.11^m$  в *B* филтри. Направено е търсене за архивни фотографски наблюдения на V733 Сер в архивите на обсерваториите по света, използвайки Базата данни от широкоъгълни астрономически наблюдения (БДШАН) (Tsvetkov et al. 1997). Намерени са 192 фотографски плаки в архивите от пет телескопа: 41-см и 61-см рефрактори в обсерваторията Харвард, 122-см Шмит телескоп в обсерваторията Паломар, 67-см Шмит телескоп в Азиаго и 105-см Шмит телескоп в Кисо. Фотометрирани са и две плаки, получени с 80/120-см Шмит телескоп и 123-см телескоп рефлектор на Института по астрофизика „Макс-Планк“, Хайделберг в обсерваторията Калар Алто. Пределната звездна величина на старите плаки, намерени в архивите на 61-см и 41-см рефлектори в обсерваторията Харвард е много ниска. Въпреки използваните дълги експозиции, върху тях обектът не се наблюдава. Плаките от обсерваторията Калар Алто са сканирани в Института по астрофизика „Макс – Планк“, Хайделберг. Върху оцифрованите изображения на плаките от Шмит телескопа на обсерваторията Паломар е направена апертурна фотометрия с пакета DAOPHOT в IDL, като са използвани *BVRI* звездните величини на стандартните звезди в полето около обекта. Плаките, получени със Шмит телескопа на обсерваторията Азиаго за изследвани визуално с микроскоп „Карл Цайс“ (Munari et al. 2001). Блясъкът на променливата е оценен чрез сравнение с вторичните стандарти в полето. На Фиг. 2 са представени *BVRI* кривите на блясъка, построени по всички налични фотографски и CCD наблюдения на променливата. Със запълнени триъгълници са означени нашите CCD наблюдения, със запълнени ромбове – фотографските наблюдения от Шмит телескопа в Азиаго, с кръгове – фотографските данни по Шмит телескопа в Паломар, с празни ромбове – фотографски данни от обсерваторията Калар Алто и с празен триъгълник – CCD наблюдение от 2.2-м телескоп в Мауна Кеа. Със стрелка е означена пределната звездна величина на червената плака от Първия паломарски обзор.

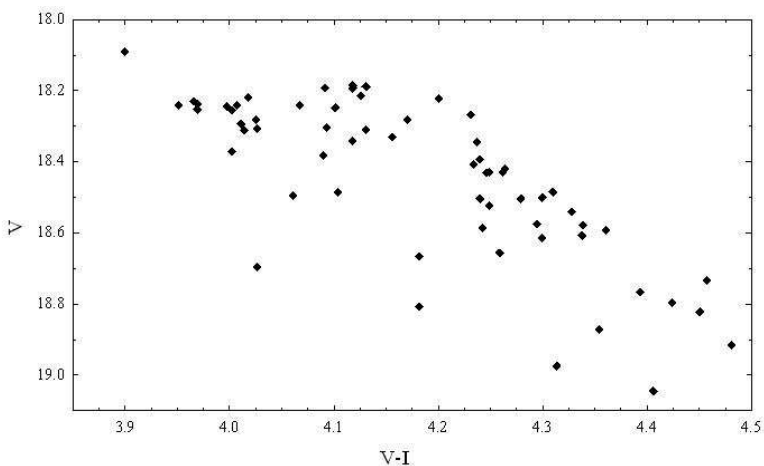




Фигура 2: *BVRI* криви на бляска на V733 Сер, построени по всички налични наблюдения

Направеното фотометрично изследване потвърждава, че V733 Сер е обект от *min FU Orionis*. Документирано е избухване и покачване на бляска в оптичния диапазон в периода 1971 – 1993 г. През този период покачването на бляска протича много бавно, като за 22 години блясъкът на звездата нараства с  $2.1^m$  (*I*). Кривата на бляска на V733 Сер в периода на покачването му е сходна с тази на друг *фуор*: V1515 Суг, но при V733 Сер покачването на бляска става по-бавно. Звездата вероятно достига максимума на бляска си в периода 1993 – 2004 г., но за този период няма публикувани фотометрични наблюдения. Амплитудата на регистрираното избухване надвишава  $4.5^m$  (*R*).

Друг важен резултат от фотометричното изследване е, че заедно с бляска на звездата се променя и нейният цветови индекс. На Фиг. 3 е представена диаграмата цвят (*V-I*) – величина (*V*), построена по нашите CCD наблюдения. Вижда се зависимост в периода на спадане на бляска: с отслабване на бляска, звездата става по-червена. Според Hartmann & Kenyon (1996) подобна промяна в цвета се наблюдава при *фуори*, чиито блясък спада сравнително бързо, например V1057 Суг. Обяснението за наблюдаваната промяна в цвета звездата е, че спектралният клас на V1057 Суг се променя от ранен A (Herbig 1977) близо до максимума на бляска към среден G (Herbig 2009). За *фуорите*, чиито блясък спада много бавно (V1515 Суг) не е характерна такава еволюция на цвета (Clarke et al. 2005).



Фигура 3: Диаграма цвят – величина на V733 Сер, построена по CCD наблюдения в периода февруари 2007 – юни 2011

Спадането на блясъка на V733 Сер протича неравномерно, наблюдавани са краткотрайни понижения, след което блясъкът се връща на предходното си ниво. Типичен пример за такова спадане наблюдавахме през периода юни – юли 2009 г. с амплитуда  $\Delta I = 0.4^m$  (Фиг. 1). Ново спадане на блясъка започна в края на май 2011 г. и до края на юни блясъкът на звездата отслабна с  $0.45^m$  ( $I$ ). Променлива фотометрична активност по време на спадане на блясъка е регистрирана и при други *фуори*, например V1515 Cyg (Clarke et al. 2005). Смята се, че пониженията на блясъка се дължат на затъмнение от прах, изхвърлен от самата звезда (Kenyon et al. 1991). Измереният относително слаб блясък на звездата през 2004 г. ( $R = 17.3^m$ ) (Reipurth et al. 2007) може да се обясни с подобна променлива екстинкция от прахови облаци. Фотометричните данни за V733 Сер, с които разполагаме, не са достатъчни, за да се разграничат ефектите от двете предполагаеми причини за промяна на цвета на звездата: промяна на спектралния клас и затъмнение от прах.

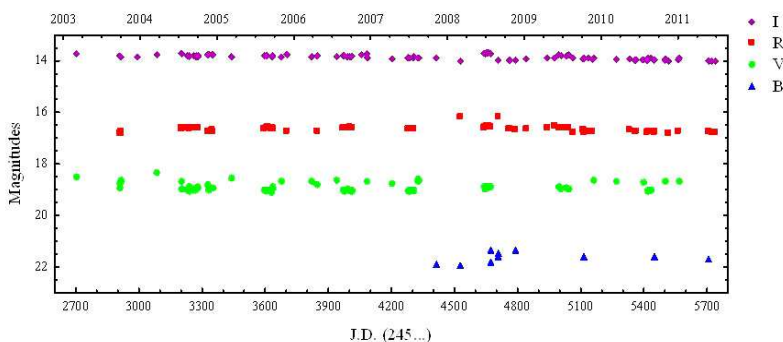
Кривите на блясъка на обектите, класифицирани като *фуори* се различават съществено, както в етапа на повишаване на блясъка, така и при неговото спадане (Clarke et al. 2005). Наличните фотометрични данни за V733 Сер не са достатъчни, за да се определи точната

амплитуда на избухването и момента на достигане на максимума на блясъка. Нашето заключение е, че в етапа на покачване на блясъка, кривата на блясъка на V733 Ser е подобна на тази на V1515 Cyg, а в етапа на спадане на блясъка формата на кривата е по-сходна с тази на V1057 Cyg. V733 Ser вероятно е първият *фуор* с приблизително симетрична крива на блясъка – времето на покачване на блясъка е съизмеримо с времето на неговото спадане.

Досега само десет обекта са класифицирани като *фуори* на базата на регистрирано избухване (Reipurth 2010) и поради малкия брой известни обекти класификацията им е много трудна. В някои случаи звезди, класифицирани като *фуори* въз основа на фотометрични и спектрални характеристики, се оказват променливи от друг тип, например UX Orionis. Според Grinin et al. (2009) тези два типа променливост могат да се наблюдават при един и същ обект в различни периоди от време. Събраните фотометрични данни за целия наблюдателен период ни позволяват да направим заключение, че V733 Ser е променлива от *mun FU Orionis*.

## 4.2 V1735 Cyg (Elias 1-12)

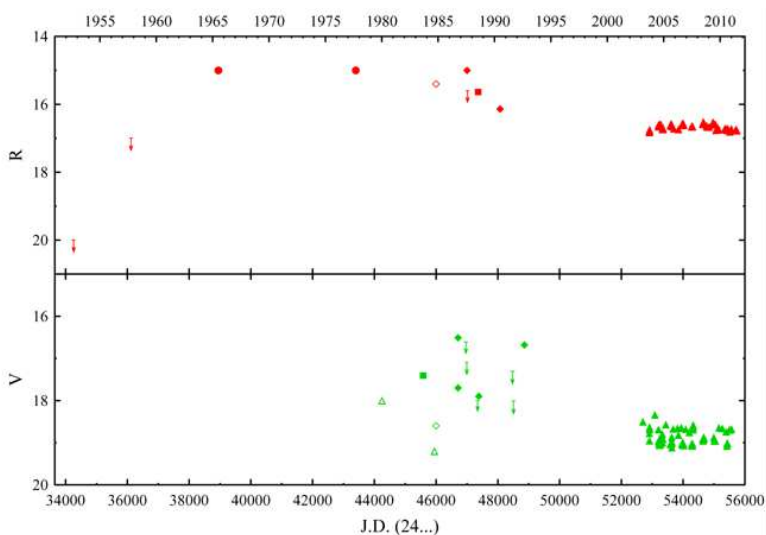
V1735 Cyg (Elias 1-12) е открита от Elias (1978) при инфрачервен обзор на областта на звездообразуване IC 5146. На червената плака от Първия паломарски обзор, получена през 1952 г., V1735 Cyg е под пределната звездна величина на плаката ( $R > 20^m$ ). Блясъкът на звездата се е увеличил с около  $5^m$  между 1957 и 1965 г. (Rodrigues et al. 1990). V1735 Cyg е класифицирана като *фуор* на базата на наблюдаваното избухване и спектрални характеристики. Впоследствие са публикувани само няколко фотометрични оценки на звездата (Goodrich 1987 and Levreault 1988) и кривата на блясъка около и след избухването остава неопределена.



Фигура 4: *BVR I* криви на бляска на V1735 Cyg за периода март 2003 – юни 2011

CCD наблюденията на V1735 Cyg са получени в периода 2003–2011 г. На Фиг. 4 са представени *BVR I* кривите на бляска. Средните инструментални грешки са  $0.015^m$  (*I*) и  $0.019^m$  (*V*) при наблюдения със CCD камерите Photometrics, ANDOR и Vers Array. При наблюдения със CCD камерите ST8 и ST11000, средните инструментални грешки са съответно  $0.022^m$  (*I*) и  $0.029$  (*V*). През периода 1984–1994 г. с Шмит телескопа на НАО Рожен са получени 82 фотографски плаки на областта IC 5146, като по-голямата част от плаките са в синия спектрален диапазон. При визуално изследване на *B* плаките установихме, че звездата V1735 Cyg не се вижда върху тези плаки, пределните им звездни величини са около  $17.5^m - 18.0^m$ . Обектът е забележим върху *V* и *R* плаките, които впоследствие бяха сканирани. Върху оцифрованите изображения е направена апертурна фотометрия с помощта на пакета DAOPHOT в IDL, като са използвани вторичните *BVR I* стандарти, получени в полето около обекта. Изследвани са също пет плаки, получени с 100/150-см Шмит телескоп на Бюраканската астрофизическа обсерватория. Обектът се вижда само върху една от плаките, като блясъкът му е  $B = (20.4 \pm 0.4)^m$ . Направеният преглед на оцифрованите плаки от Паломарския Шмит телескоп показва, че на червената и синята плака от Първия паломарски обзор (1952 г.), обектът не се вижда. Измерихме блясъка на звездата върху плаките от Втория паломарски обзор и обзора Quick-V:  $V = 17.4^m \pm 0.1$  (05.09.1983),  $R = 15.64^m \pm 0.05$  (20.07.1988),  $B = 20.8^m \pm 0.2$  (10.07.1989),  $I = 13.77^m \pm 0.03$  (25.09.1992).

Яркостта на V1735 Cyg е относително по-ниска в сравнение с трите *фуора* с най-детайлни криви на блясъка. Докато FU Ori и V1057 Cyg достигат в максимума на блясъка  $8^m$  (R), а максимума на V1515 Cyg е  $11^m$  (R), максималната звездна величина на V1735 Cyg е  $R \sim 15^m$ . Разликите в блясъка са още по-големи в спектрални диапазони V и B. На Фиг. 5 са представени R и V кривите на блясъка получени от всички наблюдения на V1735 Cyg. Със запълнени ромбове са означени фотографските наблюдения от Шмит телескопа на НАО Рожен, със запълнени триъгълници – нашите CCD наблюдения, със запълнени квадрати – фотографските данни от Паломарския Шмит телескоп, със запълнени кръгове – данните от Elias (1978), с празни триъгълници – звездните величини публикувани от Leveault (1988) и с празните ромбове – звездните величини, публикувани от Goodrich (1987). Със стрелки са означени пределните звездни величини на фотографските плаки, получени със Шмит телескопите от обсерваториите Паломар, Тонанцинтла и Рожен. Данните от фотографските наблюдения, направени с 50/70 см Шмит телескоп на НАО Рожен показват силна променливост с амплитуда  $\Delta V = 1.2^m$ .



Фигура 5: V и R криви на блясъка на V1735 Cyg за периода 1952 - 2011 г.

С отчитането на публикуваните от Goodrich (1987) и Levreault (1988) оценки на блясъка на звездата, регистрираната амплитуда на променливост става още по-голяма  $\Delta V = 2.7^m$ . Последните CCD наблюдения на обекта, получени в периода 2003 – 2011 г. (Фиг. 4), показват само вариации в блясъка с малка амплитуда ( $\Delta I = 0.35^m$ ). Подобна промяна във фотометричната активност в етапа на спадане на блясъка не е наблюдавана досега при никоя звезда от *mun FU Orionis*. Анализът на наблюдателните данни показва също, че блясъкът на V1735 Cyg спада много бавно, с  $1.8^m (R)$  за период от 46 години. Фотометричните данни, с които разполагаме не са достатъчни, за да се определи времето за достигане на максимален блясък, но темпа на спадане на блясъка е подобен на този, наблюдаван при FU Ori и V1515 Cyg. Наблюдателните данни показват, че V1735 Cyg може да се отнесе към групата *фуори*, които остават дълго време в състояние с повишен блясък и, че продължителността на това състояние е по-голяма от предполагаемата в предишни изследвания (Herbig 1977, Reipurth 1990).

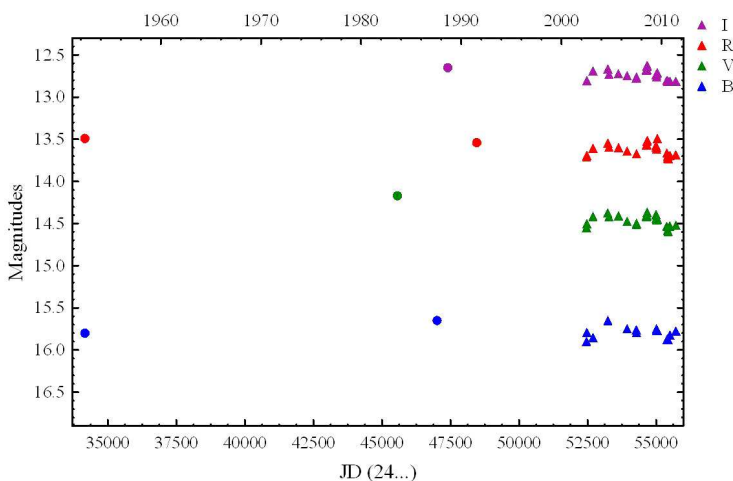
Получените досега фотометрични данни за V1735 Cyg потвърждават, че звездата е променлива от *mun FU Orionis*. Силната променливост в блясъка на обекта в периода 1986 – 1992 г. може да се дължи затъмнения прах, изхвърлен от самата звезда (Grinin et al. 1991). Подобни резки понижения на блясъка за няколко месеца с амплитуда  $\Delta B = 1.5^m$  са наблюдавани и при друг *фуор* – V1515 Cyg.

### 4.3 Parsamian 21

Parsamian 21 е млад звезден обект, заобиколен от обширна отражателна мъглявина, намиращ се в малки тъмни облаци в съзвездие Aquila. Открит е върху плаки от Паломарския обзор и е включен в каталога на кометарните мъглявини (Parsamian 1965). Staude & Neckel (1992) класифицират Parsamian 21 като *фуор* на базата на спектрални характеристики в червения и далечния инфрачервен диапазон. Въпреки, че Parsamian 21 е бил обект на много изследвания, досега за него са публикувани много малко фотометрични данни в оптичния диапазон (Parsamian & Petrosian 1978, Neckel & Staude 1984). Тъй като не е наблюдавано избухване в оптичния диапазон, Parsamian 21 е класифициран като *фуороподобен* обект (Green et al. 2008).

*BVRI* фотометричните данни за Parsamian 21 са получени чрез CCD наблюдения в периода 2003 – 2011 г. С цел да се минимизира

ефекта от заобикалящата мъглявина, направихме апертурна фотометрия с радиус на диафрагмата 2.5", а нивото на фона е пресметнато между две концентрични окръжности с радиуси 10" и 12.5". Типичните инструментални грешки при CCD фотометрията са  $0.01^m - 0.02^m$  при наблюдения във филтри *I* и *R*,  $0.03^m - 0.05^m$  при наблюдения във филтър *V* и  $0.05^m - 0.09^m$  при наблюдения във филтър *B*. За построяване на кривата на блясъка на обекта използвахме също така оцифрованите изображения на плаките от Паломарския Шмит телескоп. Извършена е апертурна фотометрия на плаките от Първия и Втория паломарски обзор и обзора Quick-V със същите параметри, както при CCD наблюденията. Получените *BVRI* криви на блясъка на Parsamian 21 са показани на Фиг. 6. Данните от CCD фотометричните наблюдения на Parsamian 21, получени в периода 2003 – 2011 г. показват, че блясъкът на обекта остава почти постоянен. Наблюдавани са колебания в блясъка около средното ниво с малка амплитуда  $\Delta I = 0.2^m$ .



Фигура 6: *B/Pg*, *V*, *R* и *I* криви на блясъка на Parsamian 21 за периода 1952 – 2011 г.

Сравнението на резултатите от нашите CCD наблюдения с фотографските данни от Паломарските обзори показва, че няма

съществени промени в блясъка на звездата за наблюдателния период от 59 години.

Резултатите от нашето изследване показват, че фотометричните характеристики на Parsamian 21 се различават от тези на трите най-добре изучени *фуора* (FU Ori, V1515 Cyg и V1057 Cyg). Parsamian 21 вероятно е представител на групата *фуори*, които запазват блясъка си почти постоянен за време, по-дълго от предполагащото в изследванията досега.

## 4.4 GM Cep

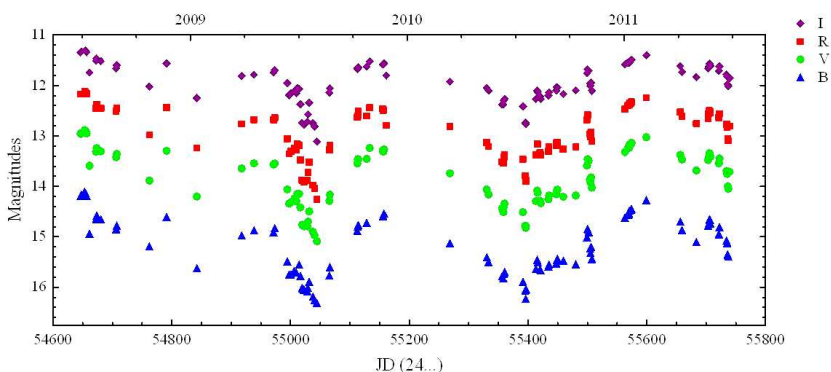
Променливата звезда GM Cep с координати  $\alpha = 21^h 38^m 16.48^s$  и  $\delta = +57^\circ 32' 47.6''$  се намира в полето на разсеяния звезден куп Trumpler 37 и най-вероятно е член на купа (Marschall & van Altena 1987, Sicilia-Aguilar et al. 2005). Първото многоцветно фотометрично изследване на GM Cep по наблюдения в оптичния и инфрачервения диапазон е направено от Sicilia-Aguilar et al. (2008). Според авторите основен принос в променливостта на звездата има променливият темп на акреция, водещ до избухвания от тип *ексори*, допълнен от променлива екстинкция от околосвездно вещество (променливост от *mun UX Orionis*). Xiao et al. (2010) построяват  $B$  и  $V$  кривите на блясъка на GM Cep за дълъг период от време (1895 – 2008 г.) и правят заключение, че кривите на блясъка се характеризират със затъмнения (вероятно от променлива екстинкция), редуващи се с периоди на почти постоянен блясък.

Нашите  $BVRI$  CCD фотометрични наблюдения на GM Cep са получени в периода юни 2008 – юни 2011 г. Многоцветната фотометрия на обекта ни дава възможност да изясним механизмите, предизвикващи неговата променливост. Получените  $BVRI$  кривите на блясъка на GM Cep, са представени на Фиг. 7. Стойностите на инструменталните грешки са от порядъка на  $0.01^m - 0.02^m$  за  $I$  и  $R$ ,  $0.01^m - 0.03^m$  за  $V$  и  $0.01^m - 0.05^m$  за  $B$  филтър. Получените наблюдателни данни потвърждават силната променливост в блясъка на GM Cep, за която се съобщава в предишните изследвания (Sicilia – Aguilar et al. 2008; Xiao et al. 2010). Регистрираната амплитуда на изменение на блясъка за наблюдателния период от три години е  $\Delta V \sim 2.3^m$ . През по-голямата част от времето звездата се намира около



максимума на бляска си, но са наблюдавани две понижения на бляска през интервал от  $\sim 350$  денонощия (Фиг. 7). Извън двата минимума звездата показва промени в бляска си с продължителност няколко дни или месеци. Най-бързите промени в бляска са наблюдавани през ноември 2010 г., когато за няколко денонощия блясъкът на звездата спада с  $0.57^m$  ( $V$ ).

На Фиг. 8 са показани диаграмите цвят – звездна величина, получени по CCD наблюдения на GM Сер. Диаграмите показват изменението на трите цветови индекса на звездата ( $B - V$ ), ( $V - R$ ) и ( $V - I$ ) в зависимост от  $V$  звездната величина. Диаграмите се характеризират с т. нар. „обръщане” на цвета в минимума на звездния блясък, характерно за младите променливи звезди от тип UX Orionis.

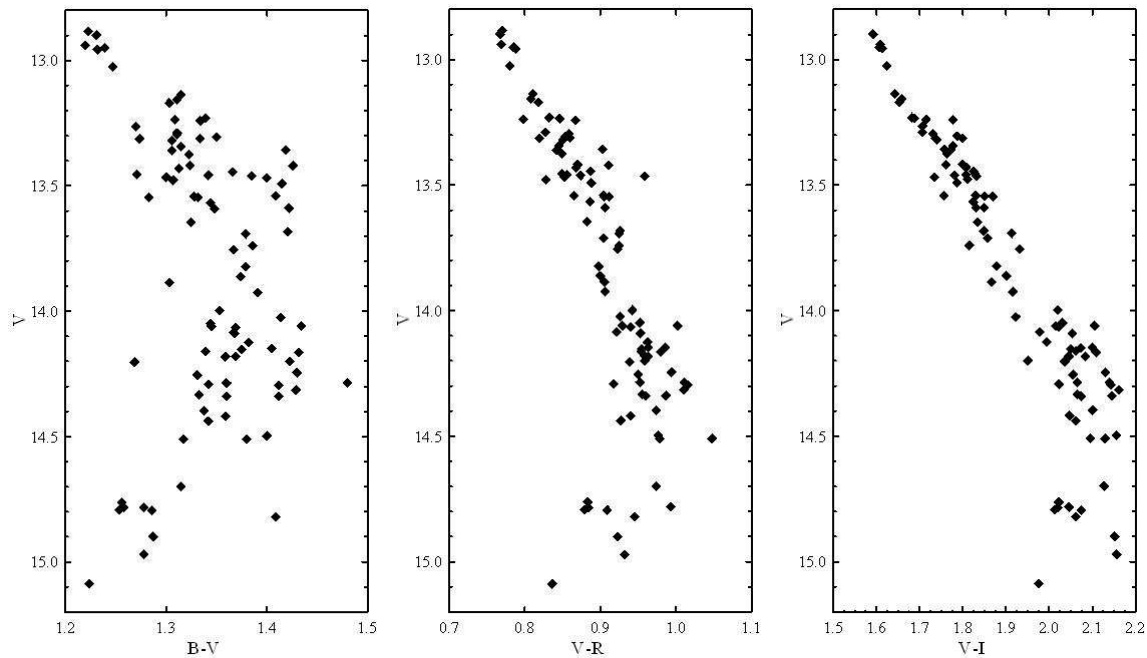


Фигура 7:  $BVRI$  криви на бляска на GM Сер за периода юни 2008 – юни 2011 г.

Полученият резултат е в подкрепа на предположението, че променливостта на GM Сер се определя от променлива екстинкция от околосъзвезден прах. Обикновено звездата става по-червена, когато лъчението и преминава през праха, разположен по зрителния лъч, но когато започва затъмнението, нараства относителният дял на разсеяната от праха светлина в общото излъчване на звездата и нейният цвят става по-син. В подкрепа на този модел е установената от Grinin et al. (1994) връзка между дълбоките минимума в бляска на звездата и нарастването на линейната поляризация на лъчението в оптичния диапазон.

По своите физически GM Сер може да се класифицира като *T Tauri* звезда от ранен спектрален клас и следователно да показва фотометрична променливост, характерна както за *класическите T Tauri* звезди, така и за *звездите на Хербиг* от спектрални класове Ae/Be. P Cigni профила на линията  $H_{\alpha}$  се разглежда от Sicilia-Aguilar et al. (2008) като доказателство за повишена акреция. Наблюдаваното от Xiao et al. (2010). преминаване от състояние с повишен блясък на звездата към състояние с понижен блясък може да се обясни с променлив темп на акреция, типичен за *класическите T Tauri* звезди. Този механизъм на променливост може да обясни бързите промени в звездния блясък и наблюдаваната дисперсия в диаграмите цвят – величина, особено в диаграмата  $V(B - V)$ .

Анализът на наблюдателните данни води до извода, че фотометричните характеристики на GM Сер могат да се обяснят чрез едновременното действие на два механизма: (1) променлива акреция на вещество от околзвездния диск и (2) затъмнения от околзвездни прахови облаци или затъмнения, причинени от геометрията на самия диск. Нашите фотометрични данни, получени в периода юни 2008 – юни 2011 г., потвърждават, че променливата екстинкция е основният механизъм, предизвикващ фотометричната променливост на GM Сер. Анализът на разпределението на звездните величини за периода 1895 – 2008 г., направен от Xiao et al. (2010) води до подобно заключение – през по-голямата част от времето звездата се намира в състояние с относително висок постоянен блясък, така че променливостта не би могла да се определя от избухвания, причинени от повишена акреция. При ниски темпове на акреция двата механизма на променливост биха могли да действат независимо един от друг в различни периоди и да определят сложната крива на блясъка на GM Сер. Подобно смесване на различни типове фотометрична променливост при звездите преди Главната последователност, дължащо се на многокомпонентната звездна обвивка, би могло да се очаква.



Фигура 8: Диаграми цвет – звездна величина на GM Сер за периода юни 2008 – юни 2011 г.

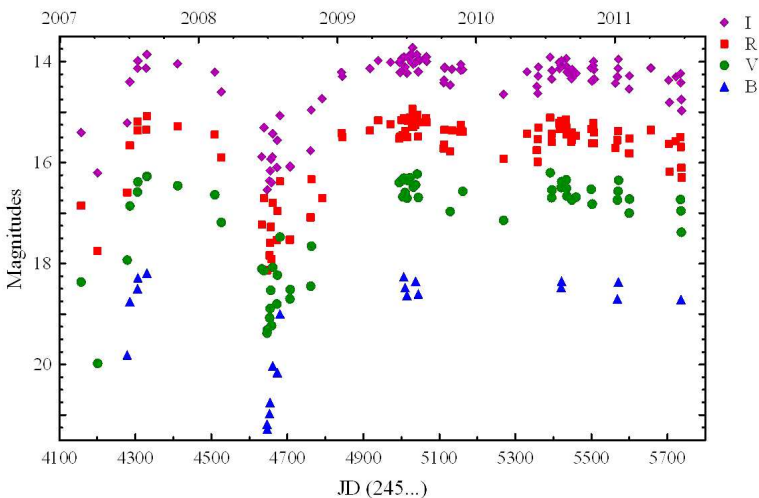
## 4.5 Новооткрити променливи звезди

При калибриране на вторични стандартни звезди в полетата около два от изследваните обекти (V733 Cep и V1735 Cyg) открихме три променливи звезди, неизвестни досега. В Табл. 1 са посочени каталожните им номера от каталога USNO-B1, координатите им, както и в полето на който от изследваните обекти са открити. Двете променливи, открити в полето на V733 Cep, са означени с Var.1, Var. 2. CCD наблюдения на двата обекта са получени в периода февруари 2007 – юни 2011 г.

Таблица 1: Новооткрити променливи звезди в околност на изследваните обекти

Звезда	USNO - B1	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	Изследван обект
Var. 1	1525-0418386	22:53:46.5	62:34:58.6	V733 Cep
Var. 2	1525-0418333	22:53:36.2	62:31:44.7	V733 Cep
Var. 3	1374-0526091	21:47:17.9	47:29:15.3	V1735 Cyg

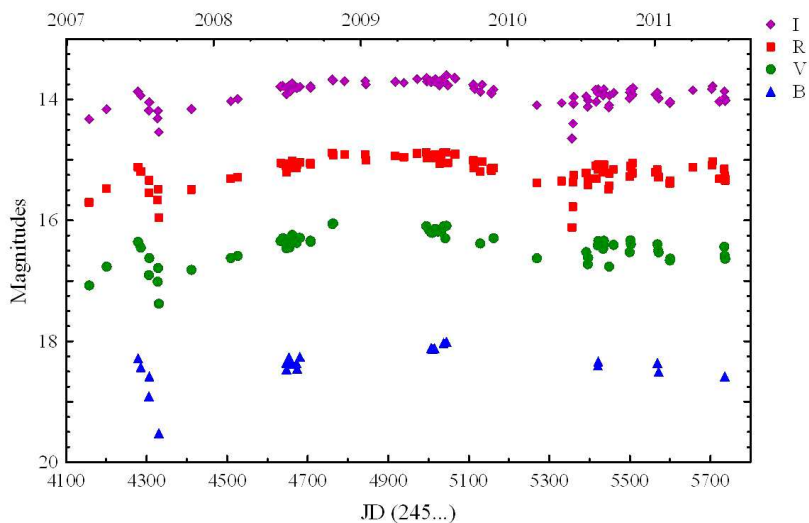
На Фиг. 9 е представена кривата на блясъка на променливата Var. 1. Кривата на блясъка се характеризира с дълбок минимум, наблюдаван през лятото на 2008 г., когато блясъкът на звездата отслабва с  $3.8^m$  (V). През останалото време звездата показва неправилна фотометрична променливост с малка амплитуда.



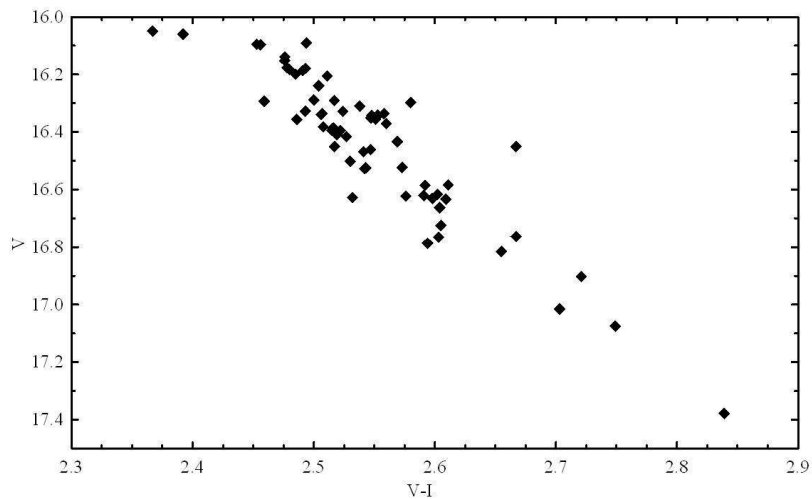
Фигура 9: *BVRI* криви на бляска на променливата Var. 1

На Фиг. 10 и Фиг. 11 са представени съответно *BVRI* кривите на бляска и диаграмата цвят – величина на другата открита променлива звезда в полето на V733 Сер – Var. 2. Кривата на бляска се характеризира с два минимума, съответно през 2007 г. и 2010 г. Двата минимума са с близки амплитуди  $\sim 0.8^m$  (*I*). В диаграмата цвят – величина на обекта се наблюдава следната зависимост: с отслабване на бляска, звездата става по-червена. Новооткритата променлива се намира на  $\sim 4'$  югоизточно от самата V733 Сер, в същия тъмен облак, затова предполагаме, че тя също е *обект преди Главната последователност*. Спектърът на звездата е емисионен, характерен за звездите от *тип T Tauri*. Munari (2009) прави оценка на бляска на двете новооткрити променливи по фотографски наблюдения с 67/92cm Шмит телескоп на обсерваторията Азиаго. Изследвани са 40 плаки, съдържащи областта Сер OB3, получени в периода август 1971 – ноември 1978. Измерванията на сините плаки потвърждават променливостта на звездата Var. 1. Регистрираната амплитуда е над  $2.5^m$  (*B*). Блясъкът на променливата Var. 2 през периода, през който са направени фотографските наблюдения остава почти постоянен.

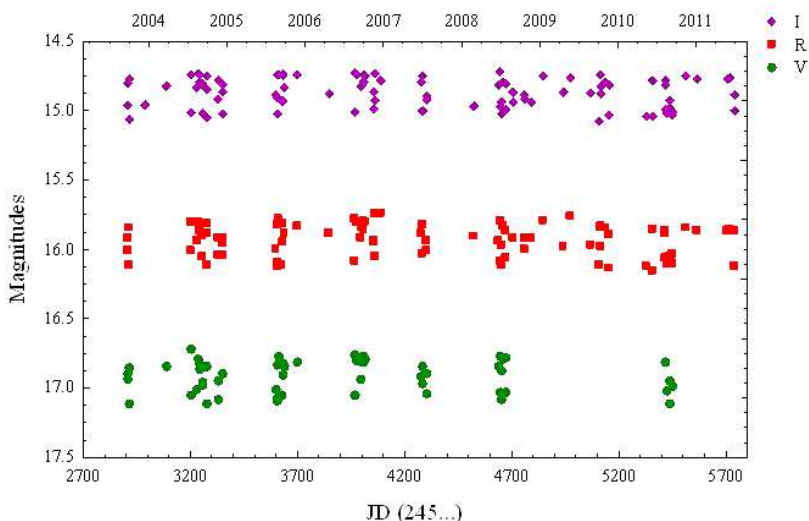
Третата новооткрита променлива Var. 3 се намира в полето на V1735 Суг.



Фигура 10: *BVRI* криви на бляска на променливата Var. 2



Фигура 11: Диаграма цвят – величина на променливата Var. 2



Фигура 12: *VRI* криви на блясъка на променливата Var. 3

На Фиг. 12 са показани *VRI* кривите на блясъка на променливата Var. 3, построени по CCD наблюдения в периода 2003 – 2011 г. Блясъкът на звездата се променя с амплитуда около  $0.4^m$  (*I*). Направеното търсене за периодичност във фотометричната променливост на обекта по наличните данни даде отрицателен резултат.

Наличните наблюдателни данни все още не са достатъчни за да се направи класификация на новооткритите променливи. Необходими са още фотометрични и спектрални наблюдения, за уточняване на типа променливост.

## 5. Заключение и научни приноси

1. Анализът на получените фотометричните данни ни позволява с точност да класифицираме V733 Ser като променлива от *min FU Orionis*. Кривата на блясъка за дълъг период от време е подобна на кривите на блясъка на други *фуори*. Наблюдаваната променливост по време на спадане на блясъка също е типична за други обекти от този тип. Покачването на блясъка на V733 Ser е продължило по-дълго, отколкото

при другите известни *фуори* и вероятно, това е първият обект от този тип с приблизително симетрична крива на блясъка.

2. Данните от фотографските наблюдения на V1735 Cyg показват променливост с голяма амплитуда. Подобна промяна във фотометричната активност в етапа на спадане на блясъка не е наблюдавана досега при никоя звезда от *mun FU Orionis*.

3. Наблюдателните данни за V1735 Cyg и Parsamian 21 показват, че след избухването тези обекти запазват блясъка си почти постоянен за дълъг период от време. Продължителността на това състояние с повишен блясък е по-голяма от предполагаемата в предишни изследвания.

4. Анализът на кривите на блясъка и на диаграмите цвят – величина на променливата GM Cep, класифицирана в предишни изследвания като *ексop*, показва, че променливостта на звездата се дължи на затъмнения от околосвездни прахови облаци, т.е. променливост от *mun UX Orionis*.

5. По време на фотометричния мониторинг на два от изследваните обекти са открити три нови променливи звезди в полетата около тях. Построени са кривите на блясъка на новооткритите променливи.

6. С цел постигане на висока точност на фотометричните измервания в полето около всеки изследван обект са калибрирани по 15 (16) вторични *BVRI* стандартни звезди.

## **6. Публикации и цитати**

### **6.1 Публикации, на които се основава дисертационният труд**

1. *BVRI photometric observations of V733 Cep (Persson's star)*, Semkov, E. H., Peneva, S. P., 2008, *IBVS*, No. 5831

2. *Photometric monitoring of FUORs and EXORs*, Peneva, S. P., Semkov, E. H., *Bul. Astr. J.*, 2008, 10, 29-36



3. *Photometric study of the FUor star V 1735 Cyg (Elias 1-12)*, Peneva, S. P., Semkov, E. H., Stavrev, K. Y. 2009, *Ap&SS*, 323, 329-335

4. *Optical Photometry of Parsamian 21*, Semkov, E., Peneva, S., 2010, *IBVS*, No. 5939, 1-4

5. *A long-term photometric study of the FU Orionis star V 733 Cephei*, S. Peneva, E. Semkov, U. Munari, K. Birkle, 2010, *A&A*, 515, A24

6. *Long-term Light Curves of 4 young variable stars*, Peneva, S., Semkov, E., Stavrev, K., 2010, *Bulg. Astr. J.*, 14, 79-87

#### **Цитати на публикация No 1:**

1. *Plate Archive Photometry of Candidate Variable Stars in Cepheus OB3 Association*, Munari, U., 2009, *IBVS*, No. 5885

#### **Цитати на публикация No 5:**

1. *PTF10nvg: An Outbursting Class I Protostar in the Pelican/North American Nebula*, Covey, K. R., Hillenbrand, L. A., Miller, A. A., et al., 2011, *AJ*, 141, 40

2. *The Importance of Episodic Accretion for Low-mass Star Formation*, Stamatellos, D., Whitworth, A. P., & Hubber, D. A. 2011, *ApJ*, 730, 32

## **6.2 Други публикации**

1. *Short-term flux and colour variations in low-energy peaked blazars*, Rani, B. et al., 2010, *MNRAS*, 404, 1992-2017

2. *Short Term Optical Variability of Blazars: First Results from Joint International Collaborations*, Semkov, E. et al., 2010, *Bulg. Astr. J.*, 14, 37-41

3. *A possible new FUor star in NGC 7000*, Semkov, E., Peneva, S., 2010, *ATel* 2801, 1

4. *Photometric follow-up observations of the new FUor candidate HBC 722*, Semkov, E., Peneva, S., 2010, *ATel* 2819, 1
5. *Optical follow-up observations of blazar 3C 454.3*, Semkov, E., Peneva, S., Bachev, R., Strigachev, A., 2010, *ATel* 3005,1
6. *The large amplitude outburst of the young star HBC 722 in NGC 7000/IC 5070, a new FU Orionis candidate*, Semkov, E., Peneva, S., Munari, U., Milani, A., Valisa, P. 2010, *A&A*, 523, L3
7. *Multi-ring structure of the eclipsing disc in EE Cep - possible planets*, Galan, C. et al., 2010, *ASP Conference Series*, 423
8. *Intranight variability of 3C 454.3 during its 2010 November outburst*, Bachev, R. et al., 2011, *A&A*, 528, L10
9. *The FUor Candidate V582 Aurigae: First Photometric and Spectroscopic Observations*, Semkov, E., Peneva, S., Dennefeld, M., 2010, *Bulg. Astr. J.*, 15, 65-69
10. *Photometric follow-up of the FUor star HBC 722: Change in the brightness decreasing rate*, Semkov, E.; Peneva, S.; Dimitrov, D.; Kjurkchieva, D., 2011, *ATel* 3296, 1
11. *Spectral Energy Distribution variation in BL Lacs and FSRQs*, Rani, B., Gupta, A. C., Bachev, R., Strigachev, A., Semkov, E., D'Ammando, F., Wiita, P. J., Gurwell, M. A., Ovcharov, E., Mihov, B., Boeva, S., Peneva, S., 2011, *MNRAS*, **417**, 1881-1890

## **Библиография**

- Adams, F. C., Shu, F. H., 1986, *ApJ*, 308, 836  
 Ambartsumian, B. A., 1971, *Astrofizika*, 7, 557  
 Ambartsumian, V.A., 1947, in *Stellar Evolution and Astrophysics*, Acad. Sci. Armenian SSR, Erevan  
 Appenzeller, I., 1986, *Physica Scripta T11*, 76  
 Bell, K. R., Lin, D. N. C., Hartmann, L., Kenyon, S. J., 1995, *ApJ*, 444, 376  
 Bibo, E. A., Thé, P. S., 1991, *A&AS*, 89, 319

Clarke, C., Lodato, G., Melnikov, S. Y., Ibrahimov, M. A., 2005, MNRAS, 361, 942  
 Elias, J. H., 1978, ApJ, 223, 859  
 Goodrich, R. W., 1987, PASP, 99, 116  
 Greene, T. P., Aspin, C., Reipurth, B., 2008, AJ, 135, 1421  
 Grinin V. P., 1994, in Nature and evolutionary status of Herbig Ae/Be stars, ASP Conf., eds. The P.S., Perez M.R., van den Heuvel E.P.J., Ser. Vol. 62, p. 63  
 Grinin, V. P., Arkharov, A. A., Barsunova, O. Yu., Sergeev, S. G., Tambovtseva, L. V., 2009, Astr. Let., 35, 114  
 Grinin, V. P., Kiselev, N. N., Minikulov, N. Kh., Chernova, C. P., Voshchinnikov, N. V. 1991, Ap&SS, 186, 283  
 Hartigan, P., Hartmann, L., Kenyon, S., Hewet, R., Stauffer, J.: 1989, ApJS., 70, 899  
 Hartmann, L. & Kenyon, S.J. 1985, ApJ, 299, 462  
 Hartmann, L. & Kenyon, S.J. 1996, ARA&A, 34, 207  
 Herbig G. H., 1962, Adv. Astron. Astrophys. 1, 47  
 Herbig, G. H. 2007, AJ, 133, 2679  
 Herbig, G. H., 1960, ApJS, 4, 337  
 Herbig, G. H., 1977, ApJ, 217, 693  
 Herbig, G. H., 1989, in ESO Workshop on Low-Mass Star Formation and Pre-Main-Sequence Objects, ed. B. Reipurth (Garching, ESO), 233  
 Herbig, G. H., 2009, AJ, 138, 448  
 Herbst, W., & Shevchenko, V. S., 1999, AJ, 118, 1043  
 Herbst, W., 1986, PASP, 98, 1088  
 Herbst, W., Herbst, D. K., Grossman, E. J., & Weinstein, D., 1994, AJ., 108, 1906  
 Joy A. H., 1945, ApJ, 102, 168  
 Kenyon, S. J., Hartmann, L. W., & Kolotilov, E. A. 1991, PASP, 103, 1069  
 Landoldt, A. U., 1992, AJ, 104, 340  
 Levreault, R. M., 1988, ApJS, 67, 283  
 Marschall, L. A. & van Altena, W. F., AJ, 94, 71  
 Mendoza, E.E., 1966, ApJ, 143, 1010  
 Mendoza, E.E., 1968, ApJ, 151, 977  
 Munari, U., 2009, IBVS, 5885  
 Munari, U., Jurdana-Sepic, R., Moro, D., 2001, A&A, 370, 503  
 Neckel, T., Staude, H. J., 1984, A&A, 131, 200  
 Parsamian, E. S., 1965, Izv. Akad. Nauk Armyan. SSR., Ser. Fiz.-Math., 18, 46

- Parsamian, E. S., Petrosian, V. M., 1978, *Astrofizika*, 14, 521
- Persson, R., 2004, *IAU Circ.*, 8441
- Petrov, P. P. 2003, *Astrophysics*, 46, 506
- Reipurth, B., & Aspin, B., 2010, in *Evolution of Cosmic Objects through their Physical Activity*, eds. H. Harutyunyan, A.Mickaelian, Y. Terzian (Yerevan, Gitutyun), 19
- Reipurth, B., 1990, in *IAU Symp. 137, Flare Stars in Star Clusters, Associations and the Solar Vicinity*, eds. B. Pettersen, L. Mirzoyan, M. Tsvetkov (Boston, Kluwer), 229
- Reipurth, B., Aspin, C., Beck, T. et al., 2007, *AJ*, 133, 1000
- Reipurth, B., Hartmann, L., Kenyon, S. J., Smette, A. & Bouchet, P. 2002, *AJ*, 124, 2194
- Rodriguez, L. F., Hartmann, L. W., & Chavira, E., 1990, *PASP*, 102, 1413
- Sicilia-Aguilar, A., Merin, B., Hormuth, F. et al., 2008, *ApJ*, 673, 382
- Thé P.S., 1994, in *Nature and evolutionary status of Herbig Ae/Be stars*, ASP Conf., eds. The P.S., Perez M.R., van den Heuvel E.P.J., Ser. Vol. 62, p. 23
- Tsvetkov, M. K., Stavrev, K. Y., Tsvetkova, K. P., Semkov, E. H., Mutafov, A. S., Michailov, M.-E., 1997, *Balt. Astr.*, 6, 271
- van den Ancker, M. E., et al., 1997, *A&A*, 324, L33
- Walker, M.F., 1980, *PASP*, 92, 66
- Walter, F. M., 1986, *Ap. J.*, 306, 573
- Waters, L. B. F. M. and Waelkens, C., 1998, *ARA&A*, 36, 233
- Xiao, L., Kroll, P., Henden, A., 2010, *AJ*, 139, 1527
- Zaitseva, G. V., 1986, *Afz*, 25, 471

## Abstract

The main purpose of this thesis is to investigate the relationship between the photometric variability of FUors and EXors and the processes of interaction of PMS stars and their circumstellar environments and circumstellar disks. We present the results of our photometric monitoring of variability for some selected stars: V733 Cep, V 1735 Cyg, Parsamian 21 and GM Cep. To construct the historical light curves of variable stars new data from CCD observations are complemented with data from photographic plate archives. On the basis of *BVRI* monitoring we study the photometric behavior of these objects. In order to facilitate transformation from instrumental measurement to the standard Johnson-Cousins system 15 (16) comparison stars in the field of each studied object were calibrated in *BVRI* bands.

The analysis of the available photometric data has allowed us to classify V733 Cep as a FUor variable. The longtime light curve of the star is similar to the light curves of other FUor objects. The observed photometric variations in the period of fading are also typical of some FUor stars. V733 Cep is presently the FUor object with the longest time of increase in brightness and probably the first found to have an approximately symmetrical light curve.

The data from photographic observations of V1735 Cyg from 1986 to 1992 show a strong light variability. Such change of the photometric activity during the period of set in brightness was not observed for the other FUor objects.

Our data show that V 1735 Cyg and Parsamian 21 must be added to the group of long-lived FUors and that the time-scale of the FUor phenomenon must be much longer than the assumed in previous studies.

The analysis of longtime light curves and color-magnitude diagrams of GM Cep indicates that the high amplitude variability and the observed color reversal in the minimum light are caused by variable extinction from the circumstellar environment, typical of UX Ori variables.

During the photometric monitoring of V733 Cep and V1735 Cyg we founded three variable stars unknown to the present. *BVRI* light curves and color-magnitude diagrams of the newly discovered variables are constructed.