

Институт по Астрономия с НАО



Българска академия на науките

Бърза променливост при избрани хромосферно активни звезди джуджета и апаратура за изследването им

Румен Г. Богдановски

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ
за присъждане на образователна и научна степен "доктор"

Юли, 2015

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 28.09.2015г. от 15:00 часа в зала 301 на институт по Електроника, БАН, бул. Цариградско шосе, 72. Материалите по защитата са на разположение в библиотеката на ИА с НАО, БАН и на адрес <http://www.astro.bas.bg/~rgb/PhD/>

Институт по Астрономия с НАО



Българска академия на науките

Бърза променливост при избрани хромосферно активни звезди джуджета и апаратура за изследването им

Румен Г. Богдановски

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"
в професионално направление 4. Природни науки, математика и
информатика,
4.1 Физически науки (Астрофизика и звездна астрономия)

Научен ръководител:

Проф. д-р Ренада Константинова-Антова

Научно жури:

проф. д-р Таню Бонев
проф. д-р Ренада Константинова-Антова
проф. д-р Диана Кюркчиева
проф. д-р Драгомир Марчев
доц. д-р Валери Голев

Юли, 2015

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от обединения научен семинар на Институт по Астрономия с НАО, БАН и катедрата Астрономия при ФзФ на СУ "Св. Климент Охридски", проведен на 29.06.2015 г.

Дисертационният труд съдържа 170 страници, включващи 32 фигури, 6 таблици и 114 цитирани източника.

Дисертантът работи в Институт по Астрономия с Национална астрономическа обсерватория, БАН, като програмист.

Съдържание

Увод	5
Структура на дисертацията	6
1 Обзор	7
1.1 Хромосферно активни звезди джуджета	7
1.2 Цели на изследването	8
2 Синхронна мрежа за бърза фотометрия с отдалечени телескопи	11
3 Изследване на избухванията на EV Lacertae и AD Leonis	13
3.1 EV Lacertae	13
3.1.1 Избухването на 14 септември 2004	13
3.1.2 Избухването на 12 септември 2004	14
3.1.3 Колориметрични резултати от UBVRI наблюденията .	15
3.2 AD Leonis	16
3.2.1 Честота на избухванията и цикъл на активност	17
3.2.2 Оптични осцилации по време на избухванията	18
Заклучение	21
Основни приноси	23
Списък с публикации	25
Забелязани цитати в ADS	27
Благодарности	29
Използвана литература	31

Увод

Действието на магнитното динамо е основната причина за хромосферната активност на звездите джуджета. В зависимост от масата и спектралния клас на звездата динамото работи в различна област от вътрешността на звездата. Едно от проявленията на действието му са спорадичните избухвания, които са обект на изучаване в този труд. Обикновено по време на избухванията звездата бързо увеличава блясъка си след което постепенно се връща в нормално състояние. Те са резултат от внезапното освобождаване на натрупана в атмосферата магнитна енергия, при което се излъчва радиация в почти целия електромагнитен спектър от радиовълни до рентгенови и гама лъчи. Понякога тези събития са съпътствани от кратковременни явления като оптични осцилации, които са рядко наблюдавани и недобре изучени при звездите.

Оптичните осцилации по време на избухванията са докладвани за първи път от Rodono (1974), а потвърждение се появява по-късно от Zhilyaev et al. (2000) и други публикации. Допълнителни изследвания на тези фини явления с по-добра времева резолюция и по-висока точност биха довели до по-доброто разбиране и обяснение на предизвикващите ги процесии.

Наблюдението на променливи звезди, особено тези, които показват бърза променливост, изисква високоскоростна и високоточна фотометрия. За изучаването на явления, като нискоамплитудните оптични осцилации и фините флукутации в кривите на блясъка, се изискват синхронни наблюдения. Те трябва да бъдат проведени едновременно на два или повече, за предпочитане отдалечени, телескопи (Romanyuk et al., 2001). Това позволява идентифицирането и отстраняването на артефакти, предизвикани от апаратурата или атмосферни смущения, като по този начин се получава достоверна информация за кривата на блясъка.

За изучаване на тези явления трябваше да бъде проектирана и изработена нова фотометрична апаратура, която да отговаря на посочените изисквания. Чрез използването ѝ е проведено изследване на хромосферно активни звезди джуджета, като тук са представени тези на EV Lacertae и AD Leonis.

Структура на дисертацията

Част I

В тази част е направен обзор на хромосферно активните звезди джуджета и са описани целите на изследването. Също така е направено кратко описание на няколко често използвани в астрономията фотодетектора от гледна точка на тяхната приложимост за високоскоростна фотометрия.

Част II

Тази част описва принципите, използвани при проектирането и изработване на синхронната система за високоскоростна фотометрия с отдалечени телескопи. Дадено е описание на хардуера и софтуера, разработени за целта.

Част III

В тази част са описани наблюденията и методите за обработка на данните и са представени резултатите от изследването на EV Lacertae и AD Leonis.

Приложения

В приложенията са дадени пълни описания на отделните хардуерни модули и на софтуера, разработени за синхронната мрежа. Приложени са още време-диаграми на сигналите, комуникационни протоколи, хардуерни сигнали и други.

1.1 Хромосферно активни звезди джуджета

Хромосферно активните звезди джуджета са разположени в долната дясна част на главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел и са от спектрални класове G до M. Разликите между тези звезди са доста големи. В този интервал на спектрални класове температурите варират от 6000K до 2500K, масите на тези звезди са от $1M_{\odot}$ до $0.06M_{\odot}$, радиусите са от $1R_{\odot}$ до $0.1R_{\odot}$ и светимостта е в интервала от $1L_{\odot}$ до $0.0008L_{\odot}$. Заедно с тези значителни количествени разлики има и важни качествени разлики в тяхната вътрешна структура. При G джуджетата в ядрото протича термоядрено горене на водорода и имат лъчист пренос на енергия до конвективната зона, която достига в дълбочина до около 30% от звездния радиус, докато при звездите от спектрални класове близки до M3.5 с маси около $0.35M_{\odot}$ слой между ядрото и конвективната зона изчезва и звездите стават напълно конвективни.

Магнитната топология се различава значително при напълно конвективните и ненапълно конвективните звезди джуджета. Donati et al. (2008) са изследвали 6 звезди джуджета, които имат зона на лъчист пренос, от спектрални класове между M0–M2.5 и маси между $0.48M_{\odot}$ и $0.75M_{\odot}$, 4 от които със значително диференциално въртене. Резултатите показват, че за звездите с маси $>0.5M_{\odot}$ тороидалният компонент доминира над аксиално симетричния полоидален компонент. От друга страна, при звезди с маси $<0.5M_{\odot}$ аксиално симетричният полоидален компонент е доминиращ. Изследване, проведено от Morin et al. (2008) на 5 звезди близки до границата на пълна конвективност със спектрални класове между M3–M4.5 и маси около $0.35M_{\odot}$ показва, че магнитните полета на тези звезди са доминирани от аксисиметричен полоидален компонент. Друга извадка от 11 напълно конвективни M джуджета е изследвана от Morin et al. (2010). Звездите са със спектрален клас между M5 и M8 и маси в интервала $0.08M_{\odot}$ – $0.22M_{\odot}$. Всички звезди в извадката имат доминиращ полоидален компонент, но те са разделени на две групи: при едната група магнитното поле е аксисиметричен полоидален дипол, а при другата група то е по-сложно със значителен тороидален компонент. Тези изследвания показват, че звездите, по-масивни от $0.5M_{\odot}$

имат магнитни полета с топологии, сходни с по-горещите K или G звезди, които се генерират предимно в зоната с най-силно изразена диференциална ротация, разположена между радиативната зона и конвективната обвивка, наречена tachocline. От друга страна, звездите с по-малки маси и по-слабо диференциално въртене са също способни да поддържат магнитно динамо, но неговото действие е по-различно (работи в конвективната обвивка).

Близо до M9 червените джуджета преминават в кафяви джуджета при маса около $0.07 M_{\odot}$. Температурата в ядрата на тези звезди не е достатъчна, за да поддържа "горенето" на водорода, откъдето следва, че те нямат термо-ядрен източник на енергия. Въпреки това, преминаването от джуджета от главната последователност към кафяви джуджета вероятно не е свързано със значително изменение на активността (Gershberg, 2002), поради факта, че те също имат конвективна зона и значително околоосно въртене, а това са едни от основните фактори за действието на магнитното динамо при звездите с малки и средни маси и съответно тяхната хромосферна активност. Откриването на рентгеново излъчване при млади кафяви джуджета подкрепя това твърдение (Neuhauser & Comeron, 2001).

1.2 Цели на изследването

Хромосферно активните червени джуджета са най-многобройните променливи звезди и една от техните характерни особености са спорадичните избухвания. Те са наблюдавани в целия електромагнитен спектър от радио вълни до рентген. Понякога по време на избухванията тези звезди показват фина структура в своите криви на блясъка, като оптичните осцилации, които са слабо изучени и се счита, че са свързани с магнитните примки на повърхността на звездата. Изучаването на тези явления би разкрило някои от особеностите на магнитните структури на повърхността на звездата, което би спомогнало за по-пълното разбиране на процесите, протичащи в звездните хромосфери.

Избрани са две звезди за това изследване – EV Lacertae и AD Leonis. И двете са много активни M джуджета, за които има индикации, че притежават сложна магнитна топология и показват висока честота на избухванията. Високочестотни осцилации са наблюдавани в оптичния диапазон само на EV Lacertae от Zhilyaev et al. (2000). Що се отнася до AD Leonis, има свидетелства за такива в радио диапазона (Stepanov et al., 2001; Zaitsev et al., 2004), но не и в оптичния диапазон.

Тези оптични осцилации с ниски амплитуди са доста краткотрайни – от няколко секунди до няколко десетки секунди. Също така някои други флук-

туации, като например фликеринга, имат сходни характеристики, което ги прави трудни за наблюдаване и изучаване. Поради тази причина изследването на тези кратковременни явления изисква сравнително висока времева резолюция, често <0.1 сек, за да бъде възможно да се регистрират фините структури. Също така ниската им амплитуда изисква едновременно наблюдение от няколко телескопа, за да се елиминират шумовете, предизвикани от апаратурата и околната среда – например земната атмосфера. От друга страна, избухванията са най-силно изразени в ултравиолетовата част на оптичния диапазон, което го прави предпочитан за това изследване. За да се изпълнят тези изисквания, е разработена нова фотометрична апаратура, която е описана в дисертационния труд.

Синхронна мрежа за бърза фотометрия с отдалечени телескопи

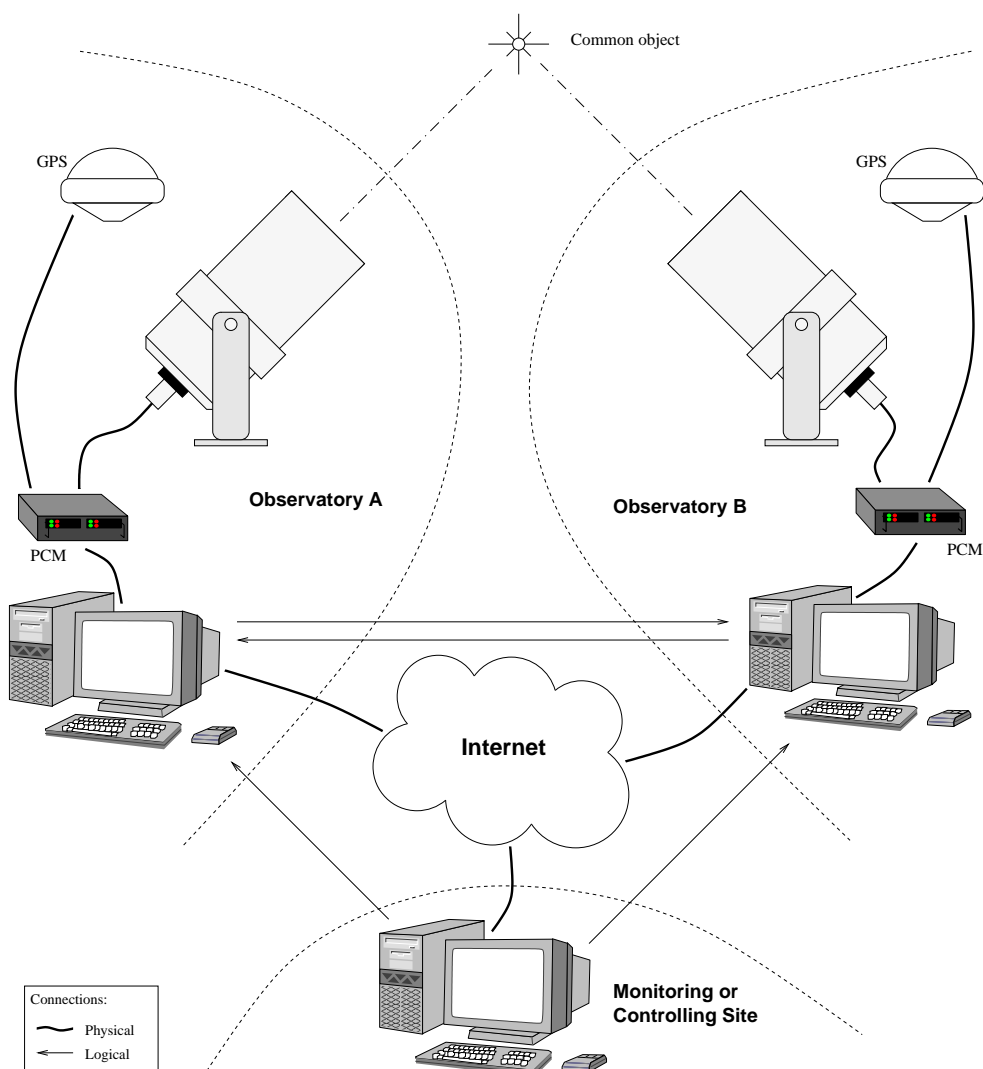
2

Синхронната мрежа от телескопи, описана тук, е проектирана да изпълни изискванията за изследване на бързата променливост при звездите. Тя позволява време на интеграция до 0.001 сек. и няма мъртво време между измерванията, защото използва фотоумножител (PMT), работещ в режим на броене на фотони, като фотодетектор. Освен това този детектор има висока чувствителност в ултравиолетовия диапазон. Тази система позволява централизирано управление и мониторинг на фотометричната апаратура, свързана в мрежата. Също така позволява провеждането на едновременни наблюдения от много телескопи на един обект, синхронизирани до няколко микросекунди. Софтуерът има възможност за бърз предварителен анализ на получените данни в реално време, като резултатите се визуализират на компютърния екран. За прецизното синхронизиране на времето между отделните телескопи се използва GPS, а обменът на данни в реално време и дистанционното управление се извършват чрез компютърна мрежа (локална или Интернет).

На Фигура 2.1 е показана схема на синхронната мрежа от телескопи. Основните случаи на употреба са описани по-долу. Телескопите в обсерватория А и обсерватория В наблюдават един и същи обект по едно и също време, използвайки собствен GPS за синхронизиране на времето. И двете наблюдения могат да бъдат управлявани от всяка една от обсерваториите или друго място наречено "Control site". Друг сценарий е, когато всяка от обсерваториите управлява собствените си наблюдения но те са синхронизирани с другите обсерватории в мрежата (всяко измерване започва и приключва в точно определено време на всички места) като само данните се обменят в реално време между участниците в мрежата. Трети сценарий е когато няма компютърна връзка между обсерваториите. В този случай обмен на данни в реално време не е възможен но синхронните наблюдения могат да бъдат

проведени при предварително уточнен план, поради факта, че времевата синхронизация се осъществява чрез GPS.

Ядрото на системата е модула за броене на фотони – Photon Counting Module (PCM) и софтуерът към него. Системата предлага инструменти за управление на телескопа, филтърния блок и фотометъра. Хардуерните компоненти на системата са: модул за броене на фотони (PCM) и Контролер на филтрите (FTC). Софтуерът за управление е работи на принципа клиент-сървър и се състои от следните компоненти: photsrv – сървърна част работеща на компютъра свързан с PCM; photcliet – клиентски софтуер за връзка със сървъра, управление, събиране и визуализация на данните; devsim – софтуерен симулатор на PCM; photview – програма за визуализиране и редактиране на вече получените данни. Пълно описание на системата е дадено в приложенията на дисертационния труд.



Фигура 2.1 Архитектура на синхронна фотометрична мрежа от телескопи

Изследване на избухванията на EV Lacertae и AD Leonis

3

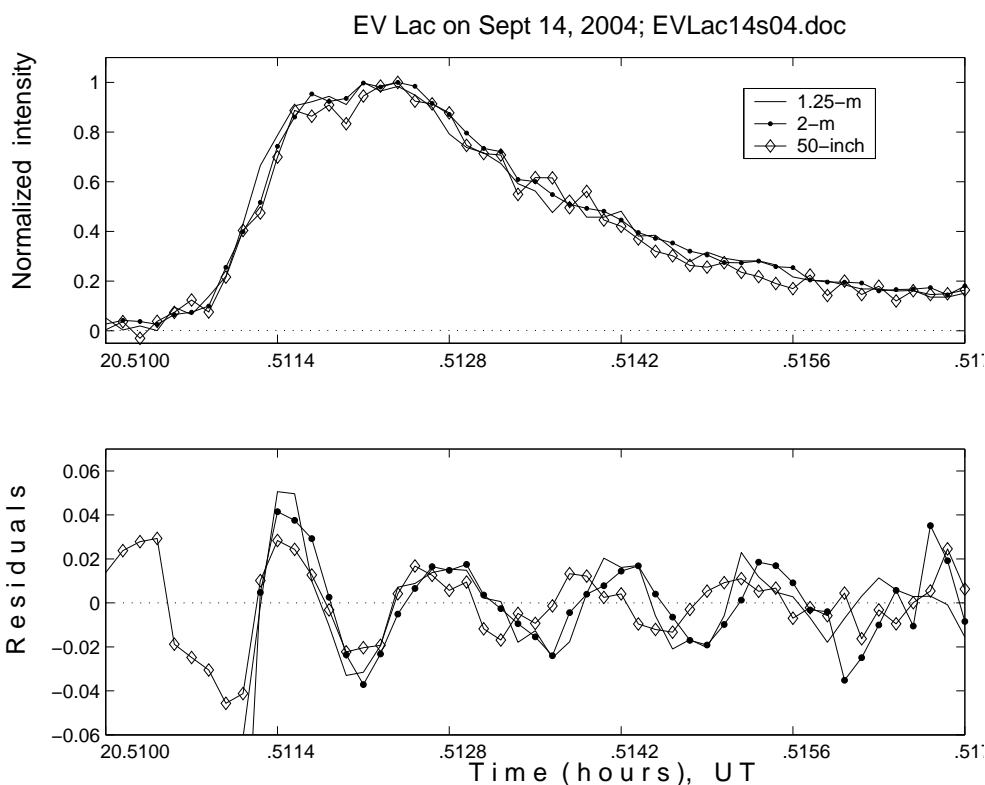
3.1 EV Lacertae

EV Lacertae е червено джудже от спектрален клас M3.5 (Osten et al., 2005). Тя е една от най-ярките избухващи звезди с $V = 10.26^m$ (Gliese & Jahreiss, 1991). Звездата има $V_{\text{sin}i} = 4.5 \text{ km/s}$ (Johns-Krull & Valenti, 1996), което е сравнително висока стойност за M джудже. Високата активност на EV Lacertae предполага, че звездата има силно магнитно поле. Като се вземе предвид, че радиусът на звездата е $R \approx 0.36 R_{\odot}$ (Chabrier & Baraffe, 1997), ротационният период се получава около 4 дена, което е потвърдено от фотометричния период от 4.4 дена, определен от Pettersen & Sandmann (1992). Масата на звездата е $M = 0.35 M_{\odot}$ (Phan-Bao et al., 2006).

3.1.1 Избухването на 14 септември 2004

Фигура 3.1 показва част от кривата на блясъка на избухването на EV Lac (горен панел) и филтрираната с високочестотен филтър крива (долен панел), получена по време на синхронните наблюдения на 3 телескопа в Крим и Терскол на 14.09.2004. Данните са получени в U филтър и не са изгладени, а само са нормализирани. В оригиналните данни има слаби индикации за присъствието на високочестотни осцилации, но след филтрацията на долния панел те се виждат ясно. Параметрите на използвания филтър на Кайзер са: честота на задържане $f = 0.167 \text{ Hz}$, преходна честота $\Delta f = 0.1 \text{ Hz}$ и затихване в лентата на задържане е 50 dB . За да се намали шума, допълнително е приложен филтър тип "пълзяща средна" с ефективна ширина на пропускане 1.5сек. Вижда доброто припокриване на данните, получени на трите телескопа, което поддържа твърдението, че осцилациите са реални.

Фигура 3.2 показва кривите на блясъка в U и I филтри и техните апроксимации по метода на най-малките квадрати. Апроксимацията представя



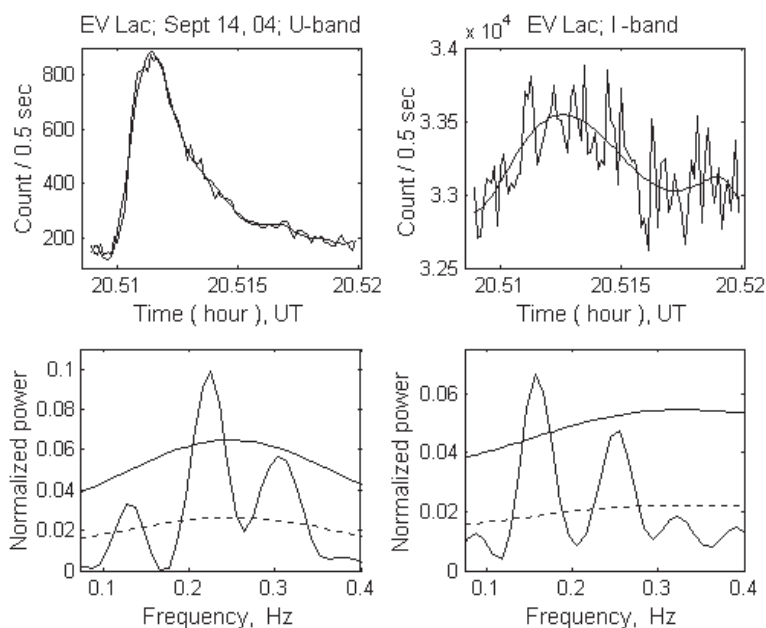
Фигура 3.1 Избухване на EV Lac от 14.09.2004, 20:31 UT (максимум), U филтър, данни от синхронни наблюдения от Терскол – 2м телескоп и Крим – 1.25м и 50инча телескопи (горен панел). Долния панел показва осцилациите след филтрация.

основната форма на кривата на избухването, и по този начин са анализирани само високочестотните остатъци. За да се направи честотния анализ, върху данните е приложен честотен прозорец на Tukey (Jenkins & Watts, 1969). Честотните спектри на остатъците в U и I (долния ред на фигура 3.2) показват слабо кохерентни осцилации с периоди съответно $P_U = 4.5 \pm 0.1s$ и $P_I = 6.3 \pm 0.1s$. Възможно е всяка една от двете осцилации да се проявява по различно време, но трябва да се отбележи голямата разлика в честотите в U и I.

3.1.2 Избухването на 12 септември 2004

Фигура 3.3 показва кривата на блясъка на избухването, регистрирано на 12.09.2004. То има продължителност 107сек. и е наблюдавано от всички обсерватории в Украйна, Русия, Гърция и България. На фигурата се забелязва добро припокриване на кривите на блясъка в U филтър, получени в Крим, Стефанион и Белоградчик. Изгладените данни показват наличие на високочестотни осцилации след максимума на избухването.

Фигура 3.4 показва честотния спектър на високочестотните остатъци, получени от данните от 3 отдалечени телескопа, AZT-11 (1.22-m) в Крим, 76cm в

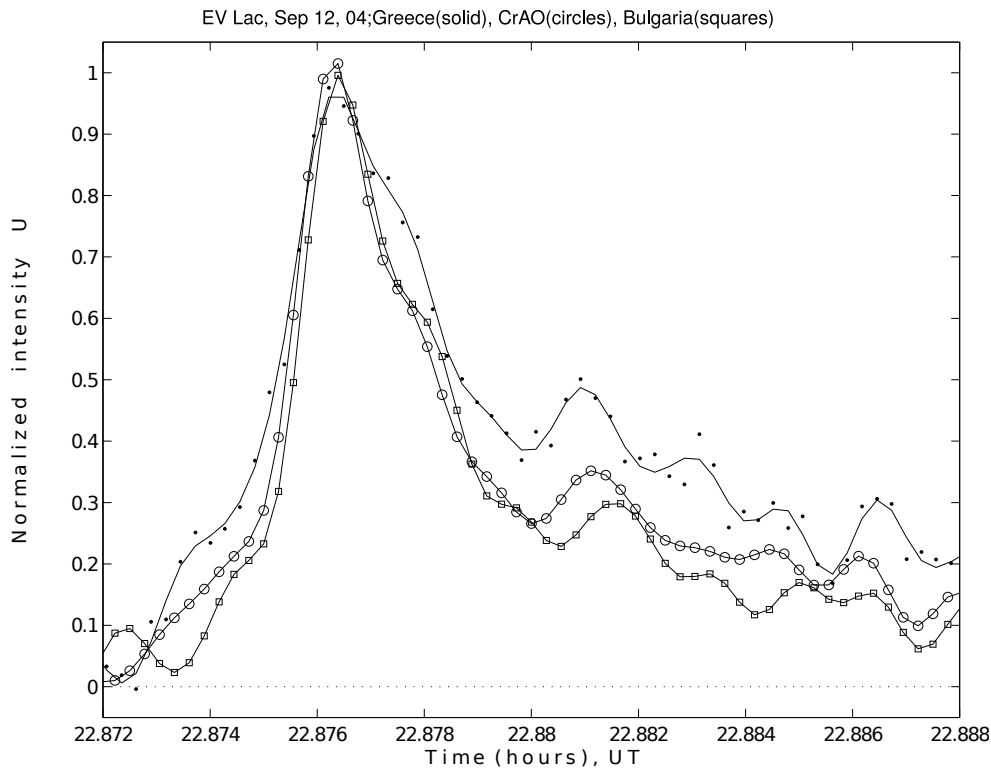


Фигура 3.2 Криви на блясъка на избухването от 14.09.2004 в U (горе ляво) и I (горе дясно) филтри и техните полономиални апроксимации. Честотните спектри (долен ред) на остатъците показват слабо кохерентни осцилации в U и I с периоди съответно 4.5 и 6.3 сек. Плътните линии дават доверителен интервал от 99%.

Стефанион и 60см в Белоградчик. И трите спектъра показват наличието на слабо кохерентни осцилации с честоти $F_0 = 0.06 \pm 0.01 Hz$, $F_1 = 0.12 \pm 0.01 Hz$ и $F_2 = 0.16 \pm 0.01 Hz$ и периоди съответно $P_0 = 17 \pm 0.1 s$, $P_1 = 8 \pm 0.1 s$ и $P_2 = 6 \pm 0.1 s$, най-силно изразеният от тях е този с най-ниска честота – F_0 . Той е регистриран в данните от трите телескопа, докато по-високочестотните периоди, F_1 и F_2 , са регистрирани на двата по-големи телескопа. Те са също видими и на данните от 60см телескоп в Белоградчик, но не надвишават избрания праг на достоверност, вероятно заради по-малката апертура на телескопа.

3.1.3 Колориметрични резултати от UBVRI наблюденията

На базата на колориметричните резултати Zhilyaev et al. (2007) заключават, че излъчването по време на максимума на избухването има спектъра на излъчване на абсолютно черно тяло. По този начин, като се използва модела на абсолютно черно тяло за фотосферата на EV Lac в спокойно състояние и колориметричните данни за избухването може да се изчислят температурата и размера на зоната на избухването.

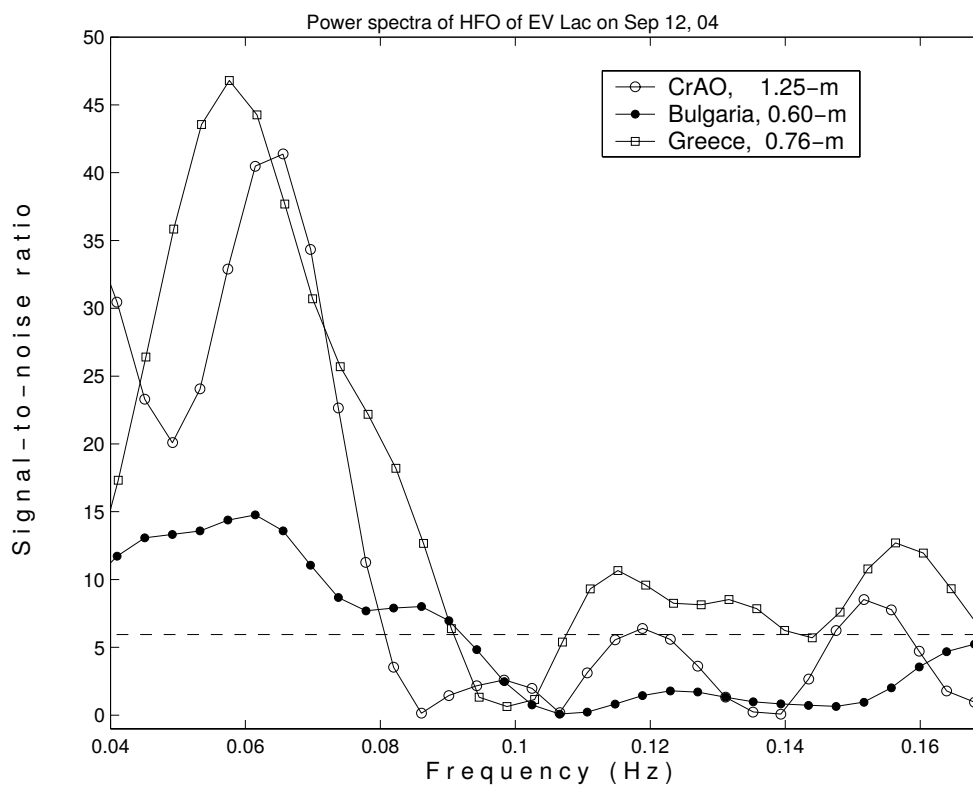


Фигура 3.3 Криви на бляска на избухването от 12.09.2004, 22.876 (максимум) в U, наблюдавано едновременно на три телескопа: AZT-11 Крим, Украйна (кръгове), 76см, Стефанион, Гърция (пътна линия) и 60см Белоградчик, България (квадрати).

Светимостите в U на избухването и на фотосферата са определени чрез конволюцията на спектъра на абсолютно черно тяло и характеристиката на U филтъра. Наблюдаваната амплитуда в U е $\Delta U = 1.47^m$ на 12.09 и $\Delta U = 2.10^m$ на 14.09. Цветовите индекси около максимума на избухванията са U - B $\approx -1.1^m$ и B - V $\approx -0.1^m$, от тук температурата на избухващата зона е определена и е около 18500K. Температурата на EV Lac в спокойно състояние е $T_{eff} = 3300$ K (Pettersen, 1980). Въз основа на тези резултати, зоните, засегнати от двете избухвания са оценени на приблизително 1.1% от видимия звезден диск за 12.09 и приблизително 1.3% за избухването на 14.09. Тези данни отговарят на резултатите, докладвани от Alekseev & Gershberg (1997) за 9 големи избухвания на EV Lacertae с $\Delta U > 1.8^m$.

3.2 AD Leonis

AD Leo е добре известна активна звезда от спектрален клас M3.5eV (Shkolnik et al., 2009), разположена в слънчевата околност. Разстоянието до нея е 16 светлинни години (van Altena et al., 1995). Температурата на повърхността е 3,390K (Rojas-Ayala et al., 2012), видимата звездна величина $V = 9.4^m$ (Gliese & Jahreiss, 1991) а абсолютната звездна величина е $M_v = 10.9^m$ (Gliese &



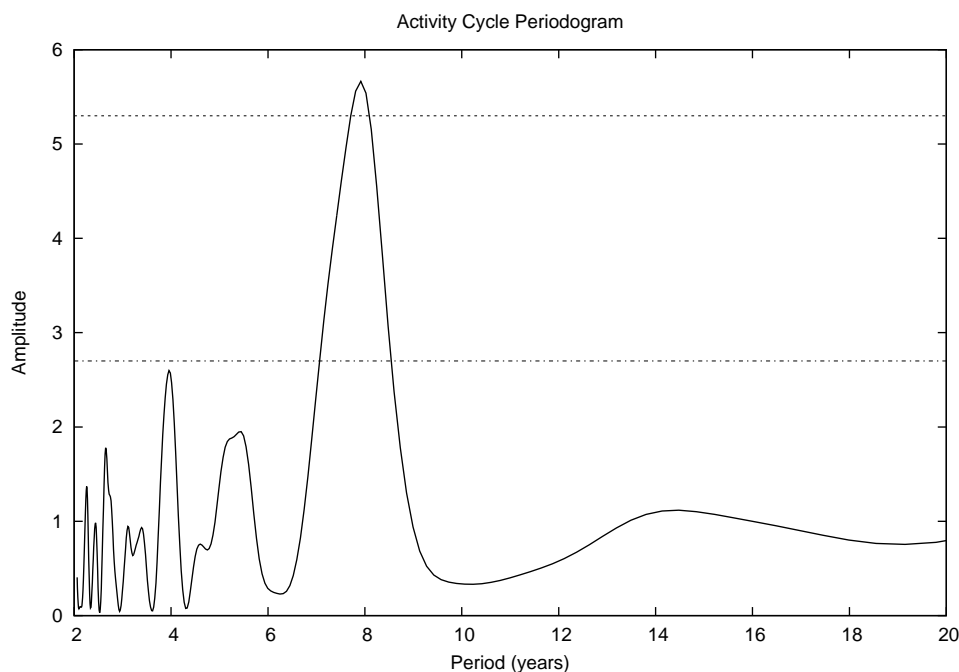
Фигура 3.4 Честотните спектри на избухването от 12.09.2004, получени по данни от синхронни наблюдения на три телескопа. Нивото на достоверност от 99%, показано с пунктирна линия, е определено по Zhilyaev et al. (2000).

Jahreiss, 1991). Радиуса е определен на $0.39R_{\odot}$ (Reiners et al., 2009), масата е $0.42M_{\odot}$ (Reiners et al., 2009) а светимостта $0.024L_{\odot}$ (Pettersen & Coleman, 1981). Масата и спектралният клас на AD Leo предполагат, че звездата е много близо до прага за пълна конвективност.

3.2.1 Честота на избухванията и цикъл на активност

През 2006 година по време на 17.95 часа ефективно наблюдателно време на звездата са регистрирани 20 избухвания. През 2007 са регистрирани 13 избухвания за 28.45 часа и 2 за 4.42 часа през 2008. Това дава честоти на избухване от 1.11 ± 0.25 избухвания/час за 2006 година, 0.46 ± 0.12 избухвания/час за 2007 и 0.45 ± 0.32 за 2008.

Според Pettersen et al. (1986) максимуми в активността са наблюдавани през 1974 година (0.77 избухвания/час) и 1982 (0.89 избухвания/час). Те са определили средна честота на избухванията за периода 1971 – 1985 от 0.66 избухвания/час и са предположили че звездата има цикъл на активност с период около 8 години. Повече данни свидетелстващи за съществуването този период са публикувани от Konstantinova–Antova & Antov (1995). Те са



Фигура 3.5 Lomb-Scargle периодограма на честотата на избухвания на AD Leonis по данни от 1971 до 2008. Периодограмата показва добре изразен цикъл на активност $P_{ac} = 7.91_{-0.10}^{+0.11}$ години.

докладвали 0.95 избухвания/час за 1989 година и 0.70 избухвания/час за 1990. Сравнението на тези данни и данните публикувани преди предполага, че следващият максимум на активност трябва да е около 2005–2006 година. Наблюденията, представени тук, са в съгласие с това предположение. Освен това бързото намаляване на активността от 2006 до 2007 повтаря бързото намаляване на активността, докладвано от Konstantinova–Antova & Antov (1995) от 1990 до 1992.

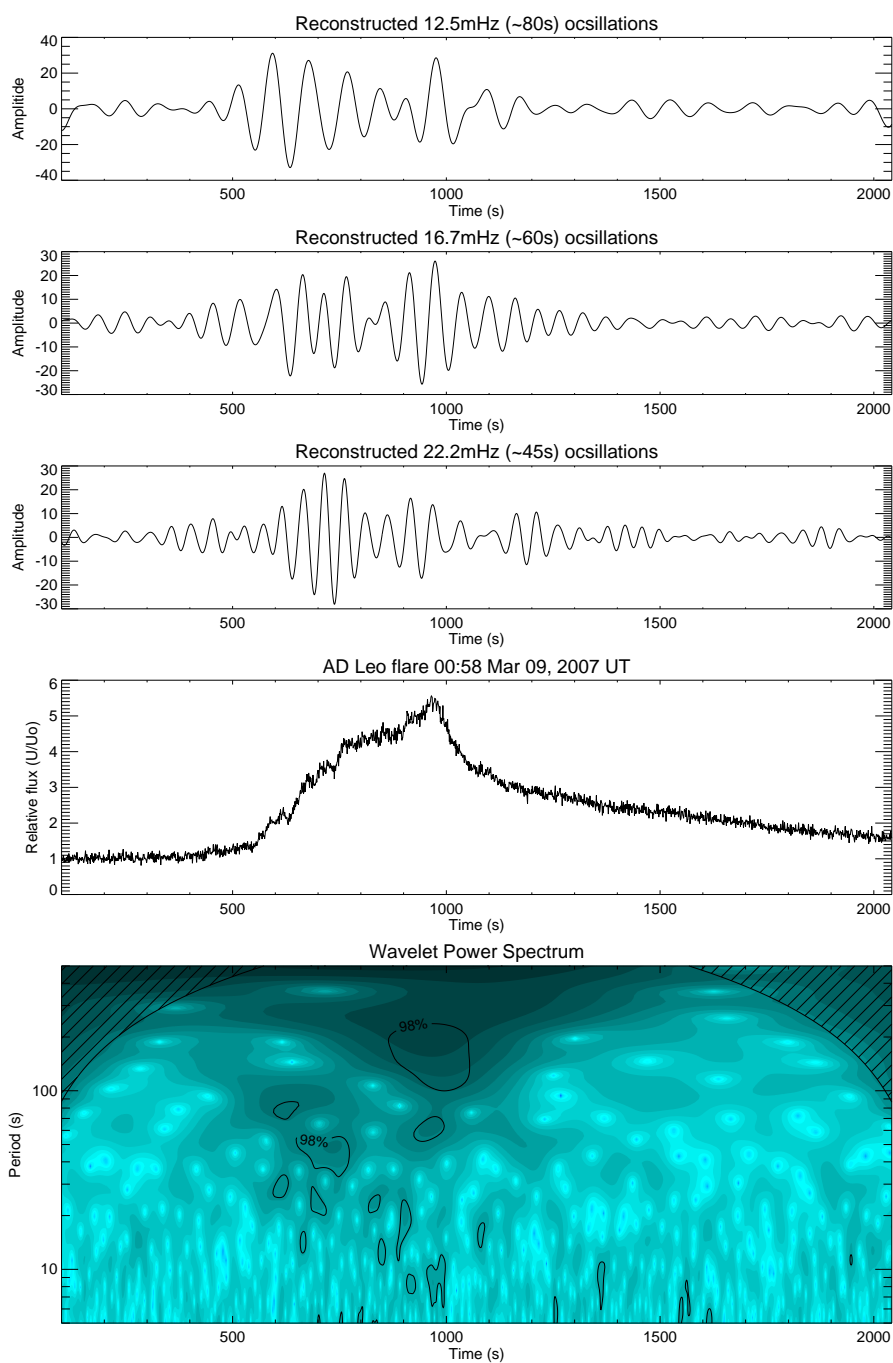
Всички достъпни данни от литературата и данните, получени тук, са използвани за търсене на цикъла на активност на звездата чрез Lomb-Scargle (Scargle, 1982) периодограмен анализ. Използвани са 9 точки от Pettersen et al. (1986), 6 точки от Konstantinova–Antova & Antov (1995) и 3 точки, определени тук. Анализът показва (виж фиг.3.5) добре изразен период $P_{ac} = 7.91_{-0.10}^{+0.11}$ години. Този резултат потвърждава заподозрения 8-годишен цикъл на активност.

3.2.2 Оптични осцилации по време на избухванията

Всички наблюдавани избухвания на AD Leo са изследвани за наличието на осцилации чрез уейвлет анализ, но само няколко показаха признаци на съществуването им. Единственото избухване с надеждно регистрирани осци-

лации е дадено на фигура 3.6. Това е голямо избухване с амплитуда 1.86^m наблюдавано на 09.03.2007 на 60см телескоп в НАО Рожен. Събитието започва в 0:49:35 UT, максимумът е достигнат в 0:58:59 UT, а продължителността е 43 мин. Най-дългопериодичните затихващи осцилации започват с избухването и имат период около $80 \pm 4s$ (12.5mHz). Скоро след като осцилациите достигат първия максимум (25 сек. след началото), започват най-краткопериодичните усилващи се осцилации с период $45 \pm 2s$ (22.2mHz). Би могло да се предположи, че те са провокирани от 80-секундните осцилации. Около максимума на избухването тези осцилации спират и започват затихващи осцилации с период $60 \pm 2s$ (16.7mHz). Peak-to-peak амплитудите на осцилациите са измерени от реконструирания сигнал и са приблизително $\Delta U_{pp} \approx 0.12^m$ за 80-секундните, $\Delta U_{pp} \approx 0.10^m$ за 45-секундните и $\Delta U_{pp} \approx 0.09^m$ за 60-секундните.

Необикновената форма на избухването с бавно нарастване на светимостта и бързото ѝ намаляване след максимума и съпътстващите го многобройни осцилации са индикатор за взаимодействие между различни магнитни примки в сложна магнитна структура. Друго възможно обяснение е взаимодействието на няколко активни области. Но краткото време между първата и втората осцилации и фактът, че 60-секундната осцилация започва около максимума, предполагат близки разстояния между осцилиращите магнитни примки. Също така, затихващите осцилации с период 80сек. и увеличаващите своята амплитуда 45-секундни осцилации наподобяват прехвърляне на енергия както при свързани генератори, въпреки че честотата им не е една и съща. Тези доводи поддържат предположението, че избухването е генерирано от една активна област. Като се има предвид, че при равни други условия примките с различен размер осцилират с различни честоти, при по-малък диаметър честотата е по-висока и обратно, може да се направи изводът, че в избухването участват множество примки с поне три различни диаметъра.



Фигура 3.6 Крива на бляска на избухването от 09.03.2007 и нейната уейвлет трансформация. Осцилациите с най-дългия период (80сек.) започват с началото на избухването. Около 25сек. по-късно започват осцилациите с най-кратък период (45сек.). Около максимума тези осцилации спират и започват осцилации с период 60сек. Реконструираните осцилации са показани в горните панели.

Заклучение

Въпреки че електрофотометрията се използва от повече от 50 години, тя все още има предимства пред останалите фотометрични методи за определени изследвания. Електрофотометрите имат висока чувствителност, особено в близкия ултравиолет, което позволява кратко време на интеграция с малки и сравнително малки телескопи. Друго предимство е отсъствието на мъртво време между отделните измервания, което ни дава високо времево разрешение, много полезна при изследването на високочестотната структура на кривите на блясъка на различни астрономически обекти. Високата чувствителност в ултравиолетовата част на спектъра я прави много ефективна при изучаването на хромосферно активните звезди, тъй като избухванията са с най-голяма амплитуда в този диапазон. Синхронизираните по време наблюдения от няколко телескопа правят данните по-точни и по-надеждни, особено в случаите на фина структура на вариациите на блясъка с малка амплитуда както и на кратковременните явления.

Фотометричната система, описана тук, вече е инсталирана на повечето места, участвали в наблюдателната кампания през 2004: на три телескопа в България – 60см телескоп в Белоградчик и на 2м и 60см телескопи в НАО Рожен, всичките оборудвани с едно-канален фотометър, един в Кримската АО на AZT-11, оборудван с пет-канален UBVRI фото-поляриметър и един на 2м телескоп в Терскол, оборудван с двуканален фотометър.

Използването на новите техники за наблюдение и обработка на резултатите се оказва доста плодотворно. Съществуването на високочестотни осцилации по време на избухванията е потвърдено и е открита бърза промяна на цвятните индекси на излъчването по време на избухване, което изглежда е типична характеристика за избухванията. Потвърдено е, че излъчването по време на избухване има тенденцията да се променя от излъчване на абсолютно черно тяло в максимума към излъчване на водородна плазма по време на затихването.

Първите осцилации, наблюдавани на EV Lacertae от Zhilyaev et al. (2000) са интерпретирани от Kourpianova et al. (2004), определени са височината на

примките, плътността и температурата на плазмата, силата на магнитното поле и е направено предположение, че осцилациите се пораждат в основата на магнитните примки. Следващата необходима стъпка за разбирането на природата на осцилациите е да се обедини магнитохидродинамиката (Kouprianova et al., 2004) и радиативния хидродинамичен подход (Katsova et al., 1997; Allred et al., 2006).

Часовете наблюдателно време на AD Leo в периода 2006-2008 и броя на регистрираните избухвания даде възможност да се определели честотата на избухване на тази звезда за този период. Най-високата честота от 1.11 избухвания/час за 2006.2 е и най-високата публикувана стойност за тази звезда. Комбинирането на тези данни с данни от литературата потвърди съществуването на заподозрения от Pettersen et al. (1986) цикъл на активност, който бе определен на 7.91 години.

Основни приноси

1. По време на избухванията на EV Lacertae високочестотни оптични осцилации с периоди от 4.5 сек. до 17 сек. бяха регистрирани едновременно на три телескопа.
2. Заподозреният цикъл на активност от ≈ 8 години (Pettersen et al., 1986) на AD Leonis е потвърден и определен на 7.91 години.
3. За първи път се използва уейвлет анализ за търсене на кратковременни високочестотни оптични осцилации по време на избухванията на хромосферно активни звезди джуджета. Този метод има няколко полезни характеристики: висока чувствителност към кратковременни процеси, понеже тяхната мощност в честотната област остава значима; лесно е да се определи момента на започване и спиране на тези кратковременни процеси, защото резултатите се визуализират чрез ясна времево-честотна графика.
4. За пръв път са наблюдавани оптични осцилации (периоди 45, 60 и 80 сек.) по време на избухване на AD Leonis
5. Създадена е нова фотометрична система за синхронни наблюдения на един обект с отдалечени телескопи, която позволява изучаването на нискоамплитудни високочестотни кратковременни явления в кривите на блясъка на звездата. Тази система по настоящем работи на 60-см и 2-м телескопи в НАО Рожен и 60-см телескоп в АО Белоградчик, на телескоп АЗТ-11 в Кримската астрофизическа обсерватория с пет-каналния фото-поляриметър и на 2-м телескоп в обсерватория Терскол с дву-каналния електрофотометър.

Списък с публикации

Резултатите в дисертацията са публикувани в статиите:

“Network–based synchronous system for high-speed stellar photometry with distant telescopes”

Bogdanovski, R.

2006, Bulgarian Astronomical Journal, Vol. 8, p. 117

“Fast colorimetry of the flare star EV Lacertae from UBVRI observations in 2004”

Zhilyaev, B. E.; Romanyuk, Ya. O.; Svyatogorov, O. A.; Verlyuk, I. A.; Kaminsky, B.; Andreev, M.; Sergeev, A. V.; Gershberg, R. E.; Lovkaya, M. N.; Avgoloupis, S. J.; Seiradakis, J. H.; Contadakis, M. E.; Antov, A. P.; Konstantinova-Antova, R. K.; *Bogdanovski, R.*

2007, Astronomy and Astrophysics, Volume 465, 1, P.235-240

“Flare Activity of AD Leo in the Period 2006 - 2007”

Konstantinova-Antova, R.; *Bogdanovski, R.*; Antov, A.; Spassov, B.

2008, Romanian Astronomical Journal, Vol. 18, Supplement, p. 55-60

“Synchronous network of distant telescopes”

Zhilyaev, B.; Svyatogorov, O.; Verlyuk, I.; Andreev, M.; Sergeev, A.; Lovkaya, M.; Antov, A.; Konstantinova-Antova, R.; *Bogdanovski, R.*; Avgoloupis, S.; Seiradakis, J.; Contadakis, M. E.

2012, Bulgarian Astronomical Journal, V.18, No. 1, P.62

Доклади и постери:

VI Serbian-Bulgarian Astronomical Conference 2008, Belgrade

Bogdanovski, R., Konstantinova-Antova, R.: "Photoelectric study of the flare activity of AD Leo"

SREAC, 2007, Athens

Konstantinova-Antova, R., Bogdanovski, R., Antov, A., Spassov, B.: "Flare Activity of AD Leo in the Period 2006 – 2007"

25 years NAO- Rozhen, SAB, 2006, Sofia

Bogdanovski, R., "Synchronous network of distant telescopes"

Забелязани цитати в ADS

“Fast colorimetry of the flare star EV Lacertae from UBVRI observations in 2004” – Zhilyaev et al., 2007

1. Godunova et al., 2008, Communicating Astronomy with the Public 2007: Proceedings from the IAU/National Observatory of Athens/ESA/ESO Conference, Athens, Greece, 8-11 October 2007, Christensen L. L., Zoulias M. & Robson, I. (eds.)
2. Kowalski et al., 2010, ApJ Letters, V.714, 1, P.L98-L102
3. Sharon et al., 2010, ApJ, V.718, 2, P.876-893
4. Hilton et al., 2010, AJ, V.140, 5, P.1402-1413
5. Dal & Evren, 2011, AJ, V.141, 2
6. Kowalski et al., 2011, 16-th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun. ASP Conference Series, Vol. 448, proceedings of a conference held August 28- September 2, 2010 at the University of Washington, Seattle, Washington., Christopher M. Johns-Krull, Matthew K. Browning, and Andrew A. West. (eds), San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., P.1157
7. Kowalski et al., 2012, Solar Physics, V.277, 1, P.21-29
8. Welsh et al., 2012, New Horizons in Time-Domain Astronomy, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, V.285, p.99-102
9. Kowalski et al., 2013, ApJ Supplement, V.207, 1

“Flare Activity of AD Leo in the Period 2006 - 2007” – Konstantinova-Antova et al, 2008

1. Buccino et al., 2014, ApJ Letters, V.781, 1, L9

“Synchronous network of distant telescopes” – Zhilyaev et al., 2012

1. Rieznik, K. & Rechetnyk, M., 2013, WDS'13 Proceedings of Contributed Papers, Part III, 13-18, ISBN 978-80-7378-252-8

Благодарности

Бих искал да изразя моето дълбоко уважение към моя научен ръководител д-р Ренада Константинова-Антова, която ми оказа безценна подкрепа в това начинание. Благодаря на нея и на съпруга и доц. д-р Александър Антов за топлото приемане, когато като осмोकласник за пръв път посетих обсерваторията в Белоградчик. С подкрепата и насоките си те изиграха много важна роля в моите астрономически начинания.

Издавам благодарност и на д-р Милчо Цветков, който беше моят първи научен ръководител, както и извинение, че не продължих работата по неговите проекти.

Благодаря на инж. д-р Радик Градинарски, който ми помогна в изработката на първия прототип на модула за броење на фотони и на инж. Атанас Балджийски за помощта в проектирането на хардуера и сглобяването на системата за наблюдения, описана в този труд.

Искрени благодарности към д-р Костадинка Колева и доц. д-р Петър Духлев за ползотворните дискусии, към всички колеги, които ми помагаша с наблюденията и към съавторите на публикациите, използвани в този труд.

Бих искал да изкажа своята дълбока благодарност към родителите си Здравка и Гошко Богдановски и сестра си Биляна за тяхната подкрепа през годините, особено към баща ми, който запали интереса ми към астрономията в много ранна възраст.

Бих искал да изразя своето дълбоко уважение, благодарност и любов към съпругата си Мариана за нейната безусловна подкрепа. Тя понесе търпеливо всички несгоди, породени от любовта ми към астрономията.

Благодаря на всички хора, които не съм споменал по-горе, но които ми помогнаха за тази дисертация.

Используемая литература

- Alekseev, I., & Gershberg, R., 1997, In: The Earth and the Universe, Eds. Asteriadis, G., Bantelas, A., Contadakis, M., Katsambalos, K., Papadimitriou, A., & Tsiavos, I., Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Ziti Editions, p. 53
- Allred, J. C., Hawley, S. L., Abbett, W. P., Carlsson, M., et al., 2006, *ApJ*, 644, 484
- Chabrier, G., & Baraffe, I. 1997, *A&A*, 327, 1039
- Donati, J.-F., Morin, J., Petit, P., Delfosse, X., Forveille, T. et al. 2008, *MNRAS*, 390, 545
- Gliese, W. and Jahreiss, H., 1991, Preliminary Version of the Third Catalogue of Nearby Stars.
- Gershberg, R. E., 2002, Активность солнечного типа звезд главной последовательности, ISBN9665498266
- Jenkins G.M. & Watts D.G., 1969, *Spectral Analysis and its Applications*, (Holden-Day: San Francisco)
- Johns-Krull, C. M., & Valenti, J. A. 1996, *ApJ*, 459, L95
- Katsova, M. M., Boiko, A. Ya., Livshits, M. A., 1997, *A&A*, 321, 549
- Konstantinova–Antova, R.K., Antov, A.P., 1995, in Proc. of the IAU Colloquium No. 151 "Flares and Flashes Lecture Notes in Physics; vol. 454, J. Greiner, H. Duerbeck, R. Gershberg (eds), 87
- Kouprianova, E. G., Tsap, Y. T., Kopylova, Y. G., Stepanov, A. V., 2004, in Multi-wavelength investigations of solar activity (Cambridge Univ. Press), ed. A. V. Stepanov et al., Proc. IAU Symp., 223, 391
- Morin, J., Donati, J.-F., Petit, P., Delfosse, X., Forveille, T. et al., 2008, *MNRAS*, 390, 567–581

- Morin, J., Donati, J.-F., Petit, P. et al. 2010, MNRAS, 407, 2269
- Neuhauser, R. & Comeron, F., 2001, in 11th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun, ASP Conference Proceedings, V.223, Ramon J. Garcia Lopez, Rafael Rebolo, and Maria Rosa Zapaterio Osorio (eds), Astronomical Society of the Pacific, ISBN: 1-58381-055-2, P.1097
- Osten, R. A., Hawley, S. L., Allred, J. C., et al. 2005, ApJ, 621, 398
- Pettersen, B., 1980, A&A 80, 53
- Pettersen, B., Coleman, L., 1981, ApJ, V.251, P.571–582
- Pettersen, B. R.; Panov, K. P.; Ivanova, M. S.; Sandmann, W. H., 1986, A&A Suppl. Ser. 66, 235
- Pettersen, B. R., Olah, K., & Sandmann, W. H. 1992, A&A, 96, 497
- Phan-Bao, N., Martin, E., Donati, J.-F., Lim, J., 2006, ApJ. 646, L73-L76
- Reiners, A., Basri, G., Browning, M., 2009, ApJ, 692, 538–545
- Rodono, M., 1974, A&A, V.32, P.337
- Rojas-Ayala, B. et al. 2012, ApJ 748, 93
- Romanyuk, Y., Svyatogorov, O., Verlyuk, I., Zhilyaev, B., 2001, The synchronous network of optical telescopes: a new instrument for stellar photometry., Proceedings of the 5th Hellenic Astronomical Conference 2001.
- Scargle, J., 1982, ApJ 263, 835-853
- Shkolnik, E., Liu, M., Neil Reid, I., 2009, ApJ 699
- Stepanov, A. V., Kliem, B., Zaitsev, V. V., Furst, E., Jessner, A., Kruger, A., Hildebrandt, J., Schmitt, J. H. M. M., 2001, A&A 374, 1072
- van Altena W., Lee J., Hoffleit E., 1995, The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes (Fourth ed.).
- Zaitsev, V. V., Kislyakov, A. G., Stepanov, A. V., Kliem, B., Furst, E., 2004, Astronomy Letters, vol. 30, 319
- Zhilyaev, B., Romanyuk, Y., Svyatogorov, O., Verlyuk, I., Kaminsky, B., Andreev, M., Sergeev, A., Gershberg, R., Lovkaya, M., Avgoloupis, S., Seiradakis, J., Contadakis, M., Antov, A., Konstantinova-Antova, R., Bogdanovski, R., 2007, A&A, 465, 1, 235-240
- Zhilyaev B. E., Romanyuk Ya. O., Verlyuk I. A., et al., 2000, A&A, 364, 641