

# АВТОРСКА СПРАВКА ЗА НАУЧНИ ПРИНОСИ

на гл. ас. д-р Светла Цветкова,  
ИА с НАО, БАН

Конкурс за заемане на академична длъжност „доцент” в ИА с НАО  
по темата „Магнитни полета и активност при звезди гиганти”

Звездните магнитни полета се наблюдават при обекти от цялата диаграма на Херцшпрунг-Ръсел – от младите звезди преди главната последователност (като Т Tauri, Herbig Ae/Be, кафяви джуджета), звезди от главната последователност с различни маси и вътрешен строеж (М джуджета, звезди от слънчев тип, магнитни Ap/Вр, масивни OBA звезди), гиганти, свръхгиганти, Мириди, звезди от тип RS CVn и FK Com до изродените обекти от крайните стадии на еволюция, като бели джуджета и неутронни звезди. Измерените магнитни полета при различните обекти варират от десети от гауса до  $10^{15}$  G. Наличието на магнитни полета се проявява чрез магнитни петна, факули, коронални примки, избухвания, емисии в ултравиолетовата, радио- и рентгеновата част на спектъра. Еволюцията на магнитните петна спомага за изучаването на магнитните цикли на звездите и параметрите на диференциално въртене.

В края на 80-те години на миналия век започва изучаването на магнитната активност на единични гиганти от късен спектрален клас. В България тематиката е развита от проф. д-р Ренада Константинова-Антова чрез фотометрични и спектрални наблюдения, а на по-късен етап и чрез спектрополариметрични данни. По това време част от звездите на главната последователност са били добре изучени и са съществували две хипотези за произхода на техните магнитни полета – действие на класическо динамо при звезди от слънчев тип и фосилни полета при Ap звездите. Така съвсем логично възникват въпросите какво се случва с техните магнитни полета след като преминават на следващия еволюционен етап, а именно клона на червените гиганти и асимптотичния клон, тъй като тогава звездите претърпяват структурни промени; какви са проявите и характеристиките на тези магнитни полета; какви са условията за тяхното действие.

След 2000-та година развитието на технологиите и пускането в експлоатация на спектрополариметри с висока разделителна способност, доведе до много нови открития относно магнитната природа на звезди от почти всички еволюционни етапи, включително единичните гиганти от спектрални класове GKM.

Кандидатът работи по тематиката от 2010 г. Наблюдателните данни са получени чрез спектрополариметрите Narval на 2-м телескоп “Bernard Lyot” (TBL) на обсерваторията Pic du Midi, Франция, и ESPaDOs на 3.6-м телескоп CFHT, Хавай. Обработката на спектрите и измерването на магнитното поле са извършени с метода Least Squares Deconvolution (LSD). За картографирането на едромасабната структура на магнитното поле на звездната повърхност е използван метода Zeeman Doppler imaging (ZDI). Основните приноси на кандидата по темата на обявения конкурс са както следва:

1. **V390 Aur** – гигантът е с маса 2.25 слънчеви маси и се намира в стадия на първо смесване в основата на клона на червените гиганти. Той е бързовъртящ се гигант с  $v \sin i = 29$  km/s и период на въртене 9.8 дни, известен от литературата. Измерените

стойности на магнитното поле  $B_l$  варират в интервала от (-13) G до 1 G. Установено е, че звездата има диференциално въртене и са определени параметрите му. Реконструирана е магнитна карта, която показва сложна структура на магнитното поле на повърхността. Наблюдава се тороидална компонента на магнитното поле близо до повърхността на звездата. Резултатите показват, че магнитната активност на V390 Aur се дължи на действие на динамо в конвективната обвивка. Използвани са еволюционните модели на Charbonnel & Lagarde (2010) за намиране на положението на гиганта върху диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел. Стандартните теоретични модели не могат да обяснят бързото въртене на V390 Aur на сегашния еволюционен стадий, което означава, че има допълнителен ълов момент, който може да е резултат от изнасяне от приядрените области. Наблюдателните данни за индикаторите на активност, формиращи се в хромосферата, показват по-дълъг период на въртене за CaII IRT и H $\alpha$ , в сравнение с CaII K и с фотометрично определения период. Този резултат за пръв път показва наличието на радиален (по радиуса на звездата) градиент на въртене в атмосферата, което е потвърждение на теоретичните модели на Palacios et al. (2006) и Brun & Palacios (2009).

Публикация № 14 от списъка с публикации.

- 2. EK Eri** – гигантът е с маса 1.9 слънчеви маси и се намира в началото на етапа на първо смесване. Той е бавновъртящ се гигант с  $v \sin i = 0.5$  km/s. Полученият чрез спектрополариметрични наблюдения период на въртене е 308.8 дни, който добре съвпада с периода по литературни данни. Измерените стойности на магнитното поле  $B_l$  варират в интервала от (-99) G до (-13) G. Реконструирана е една магнитна карта, като повече от 98% от магнитната енергия се съдържа в полоидалното магнитно поле и над 80% от нея принадлежи на диполната компонента. Променливостта на индикатори на активност в линиите CaII IRT, H $\alpha$  и CaII K по фаза (съгласно посочения период на въртене) са сравнени с литературни данни, в резултат на което е установено, че магнитното петно с отрицателна полярност от ZDI картата съвпада с фотометрично петно от предишни изследвания чрез други методи. В заключение, силното магнитно поле, бавното въртене и диполната структура на магнитното поле показват, че EK Eri е произлязла от Ar звезда на главната последователност и магнитната ѝ активност се дължи на взаимодействието на фосилното поле с конвекцията.

Публикация № 19 от списъка с публикации.

- 3.  $\beta$  Ceti** – обектът е бавновъртящ се гигант с  $v \sin i = 3.5$  km/s. Резултатите за този гигант са представени в две статии – първата е вече публикувана в *Astronomy & Astrophysics*, а втората е приета за печат в *Bulgarian Astronomical Journal* след предложени от рецензента корекции. В първото изследване бяха използвани еволюционни модели, които показва, че  $\beta$  Ceti е произлязла от късна B звезда на главната последователност, има маса от 3.5 слънчеви маси и радиус 18 слънчеви радиуса. В допълнение бяха сравнени стойностите на обилието на литий и отношението  $C^{12}/C^{13}$  получени от моделите с тези от литературата, което показва че звездата се намира в етап на горене на хелий в ядрото. Разполагахме с две сета от спектрополариметрични данни, което ни даде възможност да определим вероятен период на въртене на гиганта от 215 дни. Бяха реконструирани две магнитни карти, при които над 96% от магнитната енергия се съдържа в полоидалното магнитно поле и над 85% от нея принадлежи на диполната

компонента. Измереното магнитно поле  $B_l$  варира в интервала от 0.1 G до 8.2 G. Резултатите от това изследване за гиганта  $\beta$  Ceti водят до заключението, че също както и EK Eri е произлязла от Ar звезда на главната последователност и магнитната ѝ активност се дължи на фосилно поле. Във второто изследване представихме трети сет от спектрополариметрични данни, които бяха достатъчни за реконструирането на трета магнитна карта. Прецизирахме стойността на периода на въртене на 228 дни. Резултатите показаха запазване на доминиращата полоидална компонента и едромасщабната структура на магнитното поле на повърхността, което потвърждава заключението от първата публикация за произхода на магнитното поле на  $\beta$  Ceti. Много малки промени, забелязани на трите ZDI карти и индикаторите на активност в линиите CaII IRT, H $\alpha$  и CaII K, говорят за влиянието на конвекцията върху дребномащабните структури на магнитното поле.  
Публикация № 10 от списъка с публикации.

Изследванията за единичните гиганти  $\beta$  Ceti и EK Eri (намиращи се на различни стадии на еволюция) за пръв път показват, че магнитните полета на Ar звездите продължават да съществуват и в последващите еволюционни етапи след главната последователност.

- 4. Подборка от 48 G и K единични гиганти** – имат маси в интервала от 1.5 до 5 слънчеви маси и се намират в етапи от еволюцията от основата на клона на гигантите до етапа на горене на хелий в ядрото. При 29 гиганта са детектирани магнитни полета, като за някои от тях това се случва за първи път. Измерванията на  $|B_l|$  варира в интервала от 0 G до 100 G, като най-много гиганти има в интервала до 10 G. За част от обектите е известен периодът им на въртене и е установена зависимост между него и магнитното им поле  $|B_l|_{\max}$ . Знаейки периодът и стойностите на  $\tau_{\max}$ , получени от еволюционни модели, са изчислени числата на Росби и те са в интервала от 0.04 до 1. Резултатите показват, че магнитната им активност се дължи на действие на динамо от слънчев тип. Наблюдава се сгрупване на магнитно активните гиганти в областта на основата на клона на червените гиганти и областта на горене на хелий в ядрото. Четири звезди от подборката не попадат в получените зависимости (включително  $\beta$  Ceti и EK Eri) – те имат бавно въртене и силни магнитни полета и за тях се предполага, че произлизат от Ar звезди на главната последователност.  
Публикации № 5 и 12 от списъка с публикации.
- 5. 37 Com** – този гигант принадлежи на един рядък клас обекти от звезди (weak G-band stars), които имат ниско съдържание на въглерод и високо съдържание на литий в сравнение с нормалните G и K гиганти. В изследването бяха използвани синтетични спектри, за да се потвърди принадлежността на 37 Com към този клас. Еволюционните модели показаха, че гигантът се намира в празнината на Херцшпрунг близо до основата на клона на червените гиганти, има маса от 6.2 слънчеви маси и произхожда от късна B звезда на главната последователност. Намерен е периодът на въртене на звездата, който е равен на 111 дни. Измерените стойности на магнитното поле  $B_l$  варира в интервала от (-3.6) G до 6.5 G. Установени са и параметрите на диференциално въртене. Реконструирана е една магнитна карта, която показва сравнително сложна структура на магнитното поле (но не колкото на V390 Aur). Забелязана е времева променливост на индикаторите на активност в линии. Гигантът

попада върху зависимостта  $|B|_{\max}$ -период на въртене. Резултатите показват, че магнитната активност на 37 Com се дължи на действие на динамо.

Публикации № 1 и 8 от списъка с публикации.

- 6. Подборка от 45 GKM гиганти от слънчевата околност** – предварителните резултати от това изследване са представени на научен форум и публикувани; предстои пълното изследване да бъде публикувано в *Astronomy & Astrophysics*. Избрани са всички гиганти, които се намират до 40 pc, имат до  $V = 4$  mag и са достъпни за наблюдение с TBL. Те се намират на различни еволюционни етапи след главната последователност. Изборът им не зависи от тяхната скорост на въртене и дали проявяват или не магнитна активност. Около 52% от звездите от подборката са детектирани, че имат магнитни полета, които са до 10 G. Наблюдава се сгрупване на магнитно активните гиганти в две области – 1) основата на клона на червените гиганти и горенето на хелий в ядрото за средномасивните и 2) върха на клона на червените гиганти и ранни AGB за по-масивните.

Публикация № 7 от списъка с публикации.

Всички резултати са представени чрез постери и устни доклади на различни научни форуми.