

Beta Ceti – как еволюират магнитните Ap звезди

Две са основните хипотези, които обясняват наличието на магнитни полета при звезди, които не са част от двойни и кратни системи. Едната хипотеза е действието на звездно динамо. Най-общите условия за наличието на динамо са звездата да има диференциално въртене и кон-

вективна обвивка около ядрото. Втората хипотеза е за т.нар. фосилни полета, или това са магнитните полета на междוזвездното пространство, които остават захванати в плазмата при процеса на образуване на звездите.

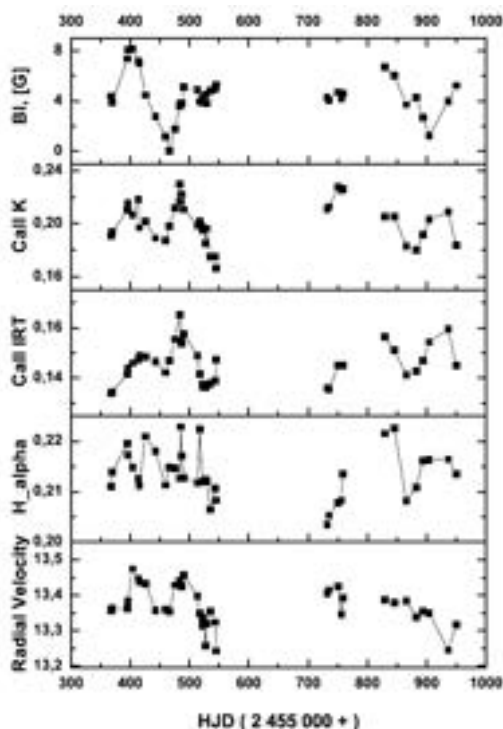
Звездата β Ceti е от спектрален клас K0 III със звездна величина $V = 2.04$ mag и е един от около 60-те единични хладни гиганти, които изследваме. Целта на проекта е измерване на силата на магнитните полета, получаване на карти със структурата на магнитните полета на звездната повърхност, сравняване на параметрите като

Звезди с магнитни полета се срещат на всички еволюционни стадии – млади звезди, които все още са в процес на образуване в молекулярните облаци; звезди от слънчев тип, които се намират на Главната последователност (ГП, етап на горене на водород в ядрото) на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел; проеволюирали звезди, които се намират на Червения клон на гигантите и на Асимптотичния клон на гигантите; както и изродени обекти като белите джуджета и неутронните звезди, които показват крайните етапи от живота на звезди с малка и средна маса.

маса, еволюционен етап, период и скорост на въртене и тяхната връзка с магнитната активност, проверка на хипотезите за произход на магнитните полета.

Проучването се базира на изследване на поляризираната светлина от тези обекти. Тази светлина се характеризира

чрез четирите параметъра на Стокс – I (неполяризирана светлина), Q и U (линейно поляризирана светлина), V (кръгово поляризирана светлина). Магнитните полета на единичните хладни гиганти са слаби, с интензитет от порядъка на няколко гауса до няколко десетки гауса. Освен това линейно поляризираната светлина е на порядък по слаба от кръгово поляризираната. Поради тези две причини не е възможно да бъде регистрирана засега линейно поляризираната светлина (Q и U) при единичните хладни гиганти, затова изследването се извършва чрез двата параметъра на Стокс I и V.



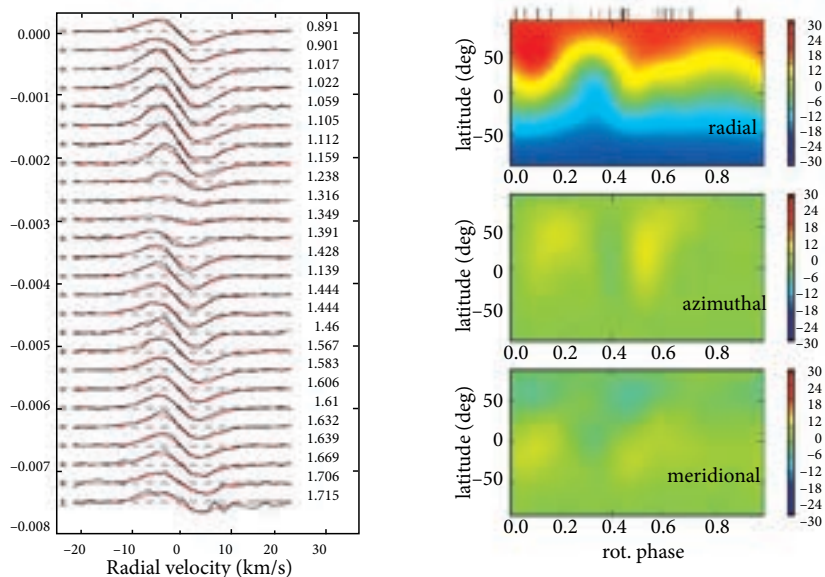
Времени промени на магнитното поле, спектралните линии CaII K, CaII IRT (854 nm), H α и скоростта по лъча на зрение (от горе надолу) в периода юни 2010 г. – януари 2012 г. за гиганта β Ceti

Наблюдателните данни за гиганта β Ceti са получени с ешелните спектрополариметри Narval (на двуметровия телескоп Bernard Lyot на обсерваторията Pic du Midi, Франция) и ESPaDOnS (на 3,6-метровия Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT)). Те имат спектрално разрешение от 65 000 и покриват спектралния диапазон от 370 nm до 1050 nm. С помощта на тази апаратура сме получили данни за неполяризираната и кръгово поляризираната светлина от звездата. За гиганта β Ceti са получени 25 спектъра за периода юни – декември 2010 г. и 13 спектъра за периода юни 2011 г. – януари 2012 г.

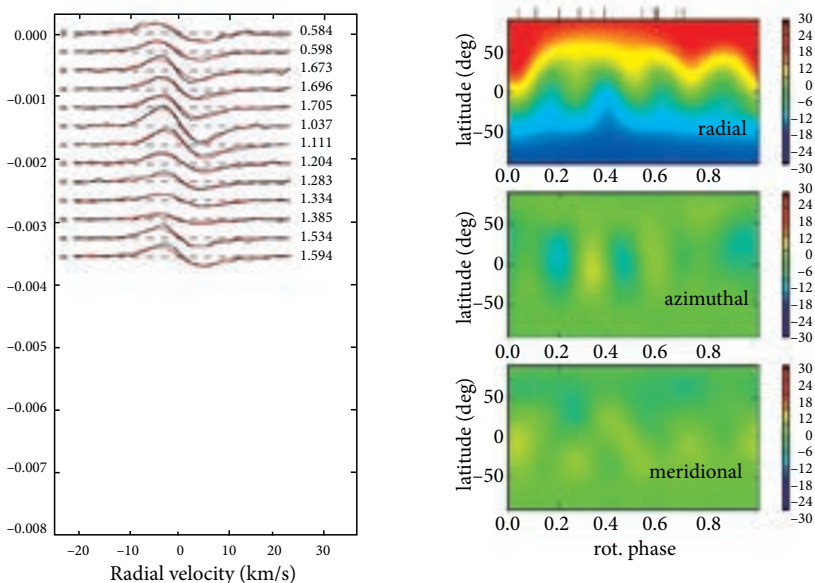
Измереното магнитно поле на β Ceti е в интервала 0,1 – 8,2 гауса. Освен магнитното поле са измерени и стандартните индикатори на активност в линиите CaII K, CaII IRT (854 nm), H β и скоростта на звездата по лъча на зрение.

Чрез получените от нас наблюдателни данни определихме периода на въртене на звездата, който е 215 дни. Досега този период не беше известен.

С това изследване за пръв път е реконструирана и структурата на магнитното поле на гиганта β Ceti. Получени са две карти за магнитното поле, като първата карта е за периода юни – декември 2010 г., а втората карта е за периода юни 2011 г. – януари 2012 г. От двете карти се вижда, че топологията на магнитното поле не е сложна и почти липсва еволюция на структурите между двата периода на наблюдение. Това се потвърждава и от формата на Стокс V профилите. Звезди, които имат сложна магнитна топология, показват и по-сложни форми на Стокс V профилите. Времето поведение на магнитното



Гигантът β Ceti в периода юни – декември 2010 г. Ляв панел: Профили на параметъра на Стокс V – получените от наблюдения профили са в черно, синтетичните (моделни) профили са в червено. Десен панел: Магнитна карта на гиганта β Ceti. Трите карти изобразяват трите компонента на магнитното поле в сферични координати – радиална, азимутална и меридионална компонента (от горе надолу). Стойността на магнитната индукция е изразена в гауси. Вертикалните чертички най-отгоре на радиалната карта показват фазите, в които са получени наблюденията



Гигантът β Ceti в периода юни 2011 г. – януари 2012 г. Означенията са същите като на горната фигура

поле и индикаторите на активност в линиите също потвърждава простата магнитна структура на гиганта β Ceti.

Анализът на магнитното поле показва, че топологията и на двете карти е доминирана от магнитен дипол. Големината на магнитната индукция на полето, създадено от дипола, е около 20 гауса.

Използвани са еволюционни модели и анализ на химическите обилия на елемента литий и въглеродното отношение $12\text{C}/13\text{C}$, за да се определи положението на гиганта β Ceti върху диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел. Установено е, че звездата се намира в етап на горене на хелий в ядрото си. Според тези модели звездата е произлязла от А звезда на Главната последователност и тогава е имала радиус от около 2 слънчеви радиуса. Знаейки сегашния радиус на звездата от около 18 слънчеви радиуса и големината на магнитната индукция на полето, създадено от дипола, която е около 20 гауса (измерено в настоящото изследване), е възможно да се изчисли големината на магнитната индукция на полето, създадено от дипола, когато звездата е била на ГП – тази стойност е около 1650 гауса.

Химически пекулярните магнитни звезди, или още наричани Ар/Вр звезди, са звезди от ГП и се различават от нормалните А/В звезди на ГП по това, че имат магнитно поле и необичайно повишено и/или понижено обилие на някои химични елементи. Те са около 5 – 10 % от всички А/В звезди на ГП. Наблюдателно е установено, че Ар/Вр звездите имат големина на магнитната индукция на полето, създадено от дипола, повече от 300 гауса. Според теорията тяхното силно магнитно поле има фосилен произход.

Имайки предвид всички резултати, които сме получили за гиганта β Ceti в настоящото изследване, а именно: а) че е била А звезда на ГП; б) изчислената стойност на

магнитната индукция на полето, създадено от дипола, когато звездата е била на ГП, типична за Ар/Вр звезди (над 300 гауса); в) простата структура на магнитното поле, която се вижда от двете реконструирани карти и потвърдена от времевото поведение на индикаторите на активност в линиите; г) липсата на промяна на магнитните структури с течение на времето; главният извод, до който стигаме е, **че гигантът β Ceti е произлязъл от Ар звезда на ГП и магнитната му активност се дължи на фосилно поле, което се запазва дълго след стадия на ГП.**

Известна е още една звезда, гигантът ЕК Eri, за която се предполага, че също е произлязла от Ар звезда на ГП и има фосилно поле. Звездата е с маса близка до тази на β Ceti (1,9 слънчеви маси за ЕК Eri и 3,5 слънчеви маси за β Ceti), но се намира на по-ранен еволюционен стадий от нея.

Проведените от нас изследвания на магнитните полета на тези две звезди, ЕК Eri и β Ceti, **за пръв път дават отговор на въпроса каква е съдбата на Ар звездите, след като те напуснат Главната последователност, и показват, че фосилните магнитни полета успяват да оцелеят през последващите етапи на звездната еволюция след ГП.**

Пълните резултати от изследването на гиганта β Ceti са публикувани в международното астрономическо списание *Astronomy & Astrophysics* през 2013 г. – „*Magnetic field structure in single late-type giants: β Ceti in 2010 – 2012*” – S. Tsvetkova, P. Petit, M. Aurière, R. Konstantinova-Antova, G.A. Wade, C. Charbonnel, T. Decressin, R. Bogdanovski.

Светла Цветкова,
асистент в ИА с НАО, БАН