

Non-evolved stars of spectral types A and F (lessons of the last 20 years)

Ilian Iliev, Ivanka Stateva
National Astronomical Observatory, Institute of Astronomy
Bulgarian Academy of Sciences
iliani@astro.bas.bg

(Contribution to the Balkan Astronomical Meeting, 2005, Rozhen NAO)

Abstract. Main observational characteristics of the intermediate type stars are summarized. Astrophysical processes and mechanisms responsible for those characteristics are discussed. The talk is focused on the experience collected during the last twenty years of spectroscopic observations with the 2-m RCC telescope of NAO "Rozhen". Successful observational modes are described in brief. A conclusion was drawn that long-range observational programs concerned with small group of stars or single objects of particular astrophysical interest could be most suitable for the future exploitation of the telescope. The challenge of the expected mounting and prosperous usage of ELODIE (the famous echelle spectrograph from OHP) at Rozhen is shortly discussed.

Key words: stars: intermediate type

Нееволюирали звезди от спектрални класове А и F (уроци от последните 20 години)

Илиан Илиев, Иванка Статева

Представени са основните спектрални характеристики на звездите от междинните спектрални класове А и F. Описани са астрофизическите задачи, с които е свързано изучаването на тези звезди. Съдържанието на доклада е фокусирано върху обобщаването на натрупан през последните двадесет години опит от работата с 2-м РКК телескоп. Обсъдени са основите на няколко успешни наблюдателни практики. Направен е изводът, че дълговременните наблюдателни програми, свързани с изучаване на неголеми групи от звезди или единични обекти от голям астрофизичен интерес, са най-подходящи за бъдещото използване на телескопа. В заключение е изразено мнението, че скорешното монтиране на спектрографа ELODIE от ОНР на Рожен и неговото успешно използване ще представляват поредното сериозно професионално предизвикателство пред астрономическата ни колегия.

Увод

Спектралните класове А и F често са наричани "междинни", защото се намират между "ранните" класове О и В и "късните" класове - G, K и M. Атмосферите и на "късните", и на "ранните" звезди са доминирани от едромасщабна динамика на веществото. При "ранните" това е преносът на материал навън, при "късните" - това е конвекцията. И двете форми на тази динамика, естествено, са свързани с начина, по който енергията от централните части на звездите се извежда към повърхността.

При атмосферите на звездите от спектрални класове А и F, и най-вече при обектите от главната последователност се осъществява главно лъчист пренос на енергия. Може със сигурност да се твърди, че такива атмосфери по своя вид и строеж са максимално близки до класическите звездни атмосфери - тези, на базата на които е построена цялата теория за строежа на звездните атмосфери въобще. При този тип звезди дори моделите с плоско-паралелна геометрия и локално термодинамично равновесие са достатъчно реалистични, а резултатите от тяхното използване - убедителни и непротиворечиви. Профилите на спектралните линии са симетрични, абсорбционни и доминирани от въртенето.

1 Какви задачи?

Свободните от макроскопични движения атмосфери са особено подходящи за изучаване на процеси и явления, проявите на които във всички други случаи са трудно установими.

На първо място това са процесите на дифузия под действие на излъчването, които водят до появата на вертикална и хоризонтална стратификация на химическите елементи в звездните атмосфери. Задачите тук започват от построяване на модели на звездните атмосфери с отчитане на стратификацията, получаване на "карти на разпределение" на отделните химически елементи по повърхността на изследваните звезди, изучаване химическия състав на звездните атмосфери и получаване в крайна сметка на информация за разпространеността на химическите елементи във Вселената. За изминалия почти четвърт век сме наблюдавали и работили със спектралните линии на близо 50 химически елемента, като се започне с хелий и се свърши с уран и торий.

На второ място това са процеси и явления, свързани с изучаване влиянието върху звездните атмосфери на такива глобални фактори като магнитното поле, околоосното въртене, взаимодействието с околос звездната среда и приливните взаимодействия. Първите два са от особена важност дори и поради често пренебрегвания факт, че всички небесни тела, освен че имат определена температура и маса, се въртят около определена ос и имат магнитно поле. Задачите тук започват от това как магнитното поле, въртенето и приливните взаимодействия всяко поотделно и всички заедно дирижират стратификацията на химическите елементи и оттам определят вида на звездния спектър, и стигат до това как магнитното поле и околоосното въртене управляват взаимодействието на звездната атмосфера с окръжаващата я среда.

На трето място ще поставим възможността за изучаване на големи групи от звезди в търсене не само на общи характеристики, но и на признаци, по които те се отличават от други подобни групи. Докато при "ранните" и "късните" звезди всеки един изучаван обект, заради специфичната фаза на еволюция, до която е достигнал, лесно придобива своя индивидуалност, тук ние имаме възможност да изучаваме обектите в група. Това винаги дава по-висока степен на значимост на направените изводи.

На четвърто място, не толкова неочаквано, колкото изглежда на пръв поглед, е изучаването на двойни и кратни звезди отново от "класически" тип - широки, разделени и полуразделени системи без изявен пренос на вещество от единия компонент към другия. Получаването на параметрите на орбитата, определянето размерите, масите и формата на компонентите винаги ще представлява информация от първостепенна важност.

На пето място ще поставим проблемите на звездната еволюция - пресечна точка на изброените вече четири кръга от задачи. Няма да бъде пресилено ако кажем, че никъде другаде проявите на звездната еволюция, особено на нейните най-продължителни етапи, не са така видими за специалиста. Действително, от наблюдателна гледна точка еволюцията на масивните звезди е ефективна, но за сметка на това скоротечна и скоропостижна, а звездите с маси по-малки от масата на Слънцето са направо застинали навеки. При звездите от спектрални класове А и F еволюцията може зримо да бъде проследена етап по етап. Един пример само - Вега, най-ярката звезда на северното небе, е само на 300 милиона години и само след още 300 милиона години тя ще напусне главната последователност, защото водородът в централните ѝ части ще бъде изчерпан.

2 Какви обекти?

Няколко десетки хиляди звезди, видими оттук със звездни величини в интервала от тази на Сириус до към $8^m.5$.

3 Наблюдателни предимства, методически ограничения

Звездите от посочените два спектрални класа сякаш са създадени, за да бъдат изучавани с куде-спектрографа на двуметровия Ричи-Кретиен-куде телескоп на

НАО "Рожен" - така, може би, би трябвало да гласи "антропния" принцип в неговата спектрално-роженска модификация. Дори в случая на спектри дълги само по сто ангстрьома могат да се наберат вече достатъчно (десетки и стотици) изявени линии за нуждите на двата основни мотора на почти всички спектрални методики - фотометрията на спектралните линии и позиционните измервания.

Нормалните звезди и звездите с химически аномалии от спектрални класове А и F са достатъчно ярки, за да се достига лесно отношение "сигнал/шум" 200–300–500, което е нужно за целите на спектралния синтез - една модерна методика за определяне на химическия състав на звездните атмосфери, за която ще стане дума малко по-нататък в текста. Ограниченията идват от физическото естество на приемника - за да се постигне два пъти по-добро отношение "сигнал/шум" трябва четири пъти по-дълга ефективна експозиция.

Можем да илюстрираме това с резултатите от една наша публикация (Budaĵ & Плев, 2003), за целите на която е получен (акумулиран) спектър на звезда от 6.5 величина със "сигнал/шум" по-голям от 1500. Използували сме предимството, че за времето на натрупване на сигнала - около 45 денонощия - обектът (Am звезда) не показва никакви спектрални изменения, защото няма динамика и няма едри структури в атмосферата си. Ефективната сумарна експозиция в този случай надхвърли десет часа. Определянето на лъчеви скорости на тази звезда става с разумна точност заради неголемите скорости на въртене - около 120–130 km/s и доброто спектрално разрешение на спектрографа (30 000–35 000). Точностите, които на практика могат да се достигнат са от десетина километра в секунда за най-бързо въртящите се звезди, до около един-два километра в секунда за звездите с най-бавно въртене. Точности под 1 km/s се постигат трудно и се получават чрез прилагане на специални (изискващи допълнителни ресурси) наблюдателни и софтуерни похвати. Ограниченията са свързани главно със самата конструкция на куде-спектрографа и възела за монтиране на CCD-камерата към него. Сериозни хардуерни подобрения на цена около 30 000–50 000 евро могат да изведат методически спектрографа до точности в интервала от десетки метри до метри в секунда, което е, сами се досещате, докосване до тематиката за екзопланетите.

4 Инструментариум (хардуер и софтуер)

Нашият главен инструмент е системата телескоп-спектрограф-детектор и ние, без сянка от съмнение, сме далеч от нейната оптимизация. Далеч по-добре изглеждат нещата по отношение на стандартизираната обработка (самите спектри като файлове се създават веднага IRAF-compatible) и спектралния синтез. Методът на спектралния синтез означава да се симулират наблюденията на базата на определен модел на атмосферата. Съдържанието на химическите елементи в звездната атмосфера се определя чрез сравняване на моделирания (синтезирания) с наблюдавания спектър. За целта е необходимо максимално точно да се представят процесите в атмосферата на звездата и да се държи сметка за измененията в спектъра, които настъпват след преминаване на излъчването през системата телескоп-спектрограф-детектор.

В последните десетина години за анализ на съдържанието на елементите в звездните атмосфери ние използваме кода за спектрален синтез SYNTH, разработен от проф. Николай Пискунов от Университета Упсала, Швеция. Работата с него включва три основни момента. Най-напред с помощта на Виенската база данни за атомни линии VALD се подбират спектрални линии с техните параметри в определен спектрален участък при зададени ефективна температура, ускорение на силата на гравитацията и химически състав. В определени случаи броят на спектралните линии може да надхвърли няколко хиляди. След това се използва самата програма SYNTH, с която се синтезира избрания спектрален участък. Използват се стандартните атмосферни модели на Kurucz. Най-накрая, резултатите

получени от SYNTH се коригират за инструменталния профил, въртенето и микро-турбуленцията и се сравняват с наблюденията. Ползването на VALD е без ограничения, необходима е само регистрацията чрез INTERNET на адрес valdadm@galileo.astro.univie.ac.at

Синтетичната процедура, реализирана в SYNTH, се ограничава с приближението на локално термодинамично равновесие. Друго ограничение е изискването за плоско-паралелна и статична атмосфера, т.е. изчисленията са по-малко точни за случая на гиганти и свръхгиганти и не са приложими за бързоразширяващи се обвивки. Освен това в процедурата се разглеждат само абсорбционни линии. Изследването на причините за грешките и ограниченията на метода показва, че точността при синтезиране е по-добра от $5 \cdot 10^{-4}$, което съответства на $S/N=2000$. Като резултат програмата SYNTH създава синтетичен спектър за определен спектрален участък. Ако полученият резултат от сравнението между синтетичния и наблюдаемия спектри не е задоволителен, процедурата се повтаря като се задават нови стойности на химическия състав, синтезира се нов спектър и отново се сравнява с наблюдаемия. Процедурата може да продължи итеративно, докато се получи удовлетворително съвпадение между синтетичния и наблюдаемия спектри.

5 Продуктивни подходи (успешни наблюдателни практики)

Изоставянето на фотографските емулсии като основен приемник на светлина в спектроскопията измести оптималния за нас спектрален диапазон в червено, защото там е максимумът на спектрална чувствителност на повечето CCD-чипове. Използването на сенсibiliзирани матрици, каквато е нашата Photometrics, не решава напълно проблема за наблюдения в сини участъци, особено ако самата звезда е червена.

По наше мнение близкият инфрачервен участък - от 6600 Å до към 9000 Å, а дори и до 10 000 Å, заслужава много по-голямо внимание, защото дава отлични възможности да се вземе максималното от приемника без да се налага приемането на други болезнени компромиси. Синият край на чувствителност - от 3900 Å до 4800 Å, остава ефективен, може би, само за ярките сини звезди. По своите главни характеристики цялата комбинация астроклимат-телескоп-спектрограф-приемник в нашия случай е особено подходяща за дълготрайно (две, три и повече години) изучаване на отделни обекти и на неголеми по обем (до 100 обекта) списъци от звезди. В това ние виждаме "астро-екологичната" ниша, в която ще бъдем конкурентноспособни и в близките десетина години - проекти, които, за съжаление може би, дават резултат не веднага, а само ако се реализират търпеливо и имат развитие в течение на няколко години. Нашият опит със звездите от спектрални класове A и F потвърждава ефективността именно на такива наблюдателни подходи и проекти.

В заключение, заслужават няколко думи и добрите наблюдателни практики. Опитът показва, че старателното планиране на наблюденията, създаването на основен и резервен "сценарий" на нощта и проиграването им "на сухо" през деня, изчистването, ако не на всички, то поне на повечето "досадни" подробности води като резултат до удвояване, нека подчертаем още веднъж думата **удвояване**, на използваното време през дадена наблюдателна нощ. В този случай то наистина отива за добиване на смислени от гледна точка на астрофизиката числени резултати. Елементарно, в много отношения направо тривиално, но далеч не излишно даже след двадесет години наблюдения изглежда напомним, че най-правилно и най-печелившо е обектите да се наблюдават в меридиана, да имат положителна деклинация и по възможност да са по-ярки.

6 Предизвикателството ELODIE

Докладът можеше да свърши тук, ако през месец май 2005-та година на хоризонта не се появи възможността прославеното ешелет на Haute-Provence - ELODIE да бъде монтирано в обозримо бъдеще на Рожен. Две са нещата, които трябва да се кажат веднага.

Първо, ешелето и класическото куде отлично се допълват като характеристики и задължително трябва да се мислят като инструменти, които е най-ефективно да се използват заедно. Би било сериозна грешка да се възприеме тезата "ELODIE вместо куде" вместо правилното и далеч по-професионалното "ELODIE и куде". Такова е единодушното мнение и на колеги от Европа, с които сме се консултирали - тук особено ценен за нас е изводът, направен от сегашните стопани на ELODIE.

Второ, изискванията към 2-м РКК телескоп и целия досегашен подход към наблюдателния процес - инженерна поддръжка, електроника, водене и гидиране, термостабилизация, планиране на наблюденията и ако щете - архивиране на данните, ще се наложи да бъдат съществено осъвременени. Искаме да се надяваме, че ще се справим успешно и с предизвикателството ELODIE.

Благодарности. Авторите благодарят на анонимния рецензент за ценните забележки и предложения. Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект Ф-1403/2004, финансиран от МОН-НФНИ.

Литература

Budaj, J., Iliev, I. Kh. "Abundance analysis of Am binaries and search for tidally driven abundance anomalies I. HD 33254, HD 178449, HD 198391", 2003, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 346, 27-36