Porijeklo magnetskog polja kod kemijski neobičnih zvijezda

Tamajo, Ettore

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2005, 223, 178 - 181**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:446939

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

ASTRONOMIJA

Porijeklo magnetskog polja kod kemijski neobičnih zvijezda

Ettore Tamajo[1], *Zagreb*

Ukupan je materijal na Suncu u obliku visokotemperaturne plazme. Takva materija u gibanju (npr. rotaciji, ali i konvekciji) uzrokuje nastanak magnetskog polja. Rotacija Sunca je brža na ekvatoru (oko 25 dana) nego na polovima (oko 28 dana) – to s vremenom uzrokuje promjene magnetskog polja, a posredno i neke vrlo spektakularne pojave na površini (pjege, prominencije i dr.). Magnetsko polje na površini Sunca iznosi oko 5×10^{-4} T, dok se unutar Sunčeve pjege procjenjuje na ≈ 0.1 T. Vjeruje se da su najjača zvjezdana magnetska polja $\approx 10^{11}$ T, a takve se zvijezde stoga nazivaju *magnetarima*.

Magnetizam se kod zvijezda uočava proučavanjem njihovih spektralnih linija. Spektralna linija je svijetla (ili tamna) linija na inače jednoličnom spektru, nastala kao višak (ili manjak) fotona u uskom frekventnom području u odnosu na bliske frekvencije. Modernim je uređajima moguće identificirati na tisuće linija u spektru zvijezda i njihovom analizom izvesti mnoge zaključke o kemijskom sastavu zvijezde i njenim drugim svojstvima. Proučavanje magnetizma kod zvijezda preko njihovih spektralnih linija bazira se na Zeemanovom efektu. Zeemanov efekt je razdvajanje jedne spektralne linije u više njih u prisustvu magnetskog polja. Profil i intenzitet spektralnih linija koje se opažaju u spektru zvijezda osjetljivi su, dakle, na srednju vrijednost magnetskog polja. Spektralne linije mogu biti i polarizirane, kod većine zvijezda prisutna je kružna polarizacija spektralnih linija. Razvijene su dvije osnovne spektropolarimetrijske tehnike. Jedna od njih bazirana je na spektropolarimetriji linija metala, a druga je polarimetrija širokopojasnih linija. Apsorpcijske linije iona metala relativno su zastupljene u optičkom spektru većine zvijezda i prednost njihove spektropolarimetrije jest u tome što njome dobivamo fundamentalne informacije. Glavna karakteristika kemijski neobičnih zvijezda jest neobičnost i u većini promjenjiv intenzitet spektralnih linija. Spektralne i fotometrijske promjene su periodične s podudarnosti ekstrema. Spora rotacija zvijezda je vidljiva u vrlo oštrim spektralnim linijama. I naravno prezastupljenost teških elemenata kao što su silicij, stroncij, krom i europij. Jaka magnetska polja izmjerena su za samo 5 do 10% kemijski neobičnih zvijezda gornjeg dijela glavnog niza Hertzsprung-Russelova dijagrama koji predstavlja evolucijski tok zvijezda. Zvijezde se klasificiraju u spektralne razrede koji se označavaju slovima O, B, A, F, G, K, M kako se efektivna temperatura zvijezde smanjuje. Nadalje se svaki spektralni razred dijeli na podrazrede od 0 (toplije) do 9 (hladnije).

Od kraja 19. stoljeća, nakon što je Antonia Maury otkrila neobičan spektar u zvijezda A-tipa, ta je pojava opažena u 15 do 20% zvijezda kasnoga B-, A-, i ranoga F-spektralnog tipa. Porijeklo i razvoj jakog magnetskog polja zvijezda gornjeg dijela glavnog niza nisu još u potpunosti razjašnjeni. Još se sa sigurnošću ne zna u kojoj se fazi razvoja tih zvijezda razvija magnetsko polje koje je za nekoliko redova veličine jače od polja normalnih A- i B-zvijezda. Prema jednoj teoriji ta su polja 'fosilna', odnosno,

[1] Autor je asistent na katedri za astrofiziku Fizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, e-mail: etamajo@phy.hr.

prisutna su još od faze prije dolaska zvijezde na glavni niz. Druga teorija govori o modelu nagnutog rotatora u kasnijoj fazi razvoja zvijezde na glavnom nizu. Istraživanja još nisu dovela do usuglašenog pogleda na razvoj magnetskog polja zvijezda. Relativno masivne Bp-zvijezde nađene su u zvjezdanim skupovima svih starosti u kojima se očekuje da se one još uvijek nalaze na glavnom nizu. Nasuprot tome, promatrački dokazi za manje masivne Ap-zvijezde nađeni su samo u starijim zvjezdanim skupovima. To predstavlja poteškoću za teoriju fosilnog polja. Međutim, jedno od mogućih objašnjenja koje ide u prilog teoriji fosilnog polja je promatrački selekcijski efekt. Budući da se radi o zvijezdama manje mase, pa tako i slabijeg sjaja, postoji mogućnost da one, zbog ograničenja prijašnjih promatračkih tehnika, nisu bile detektirane. U astronomiji, CCD-fotometrija je vrlo moćna opažačka tehnika. Kratica CCD dolazi iz engleskog jezika (*charge-coupled device*) i označava uređaj sparenih naboja na kojima počiva tehnologija današnjih instrumenata za snimanje svjetlosnih izvora. Na takvim se principima temelji i današnja CCD-fotometrija svjetlosnih izvora gdje se koriste različiti filtri propusnosti, ovisno o vrsti izvora kojeg opažamo.

Kao objekt istraživanja uzet je otvoreni zvjezdani skup NGC 6705 (M11), star 200 milijuna godina (relativno mladi skup) i bogat zvijezdama, te je vrlo prikladan za ovakvu vrstu istraživanja. Klasa zvijezda spektralnog tipa A s vrlo specifičnim spektrima, poznatih pod imenom "Ap-zvijezde", posjeduju linije silicija, kroma i nekih drugih elemenata. Danas su one poznate pod skupnim imenom "kemijski neobične", odnosno "CP-zvijezde" (od *engl*. chemically peculiar). Kemijski neobične zvijezde mogu se podijeliti u razne podgrupe, ovisno o jakosti njihovog magnetskog polja i njihovim drugim svojstvima. Grupa λ-Bootis smatra se još jednom podgrupom zvijezda kasnog B- do ranog F-spektralnog tipa, koje su bez značajnog magnetskog polja, sa slabom zastupljenošću teških elemenata (gdje C, N, O i S pokazuju gotovo sunčevu zastupljenost). Zvijezde spektralnog tipa A- glavnog niza pojavljuju se u području HR-dijagrama gdje modeli atmosfera temeljeni na hidrostatskoj ravnoteži dobro opisuju opaženi spektar. Promjene se uočavaju u intenzitetu spektralnih linija, jakosti magnetskog polja te u luminozitetu i boji. Model koji najbolje prikazuju takve promjene je model nagnutog rotatora. Temeljna postavka tog modela jest nepodudarnost osi magnetskog polja s osi rotacije zvijezde. Pretpostavlja se da je polje "zamrznuto" na površini zvijezde te da rotira zajedno sa zvijezdom. Klasične Ap-zvijezde imaju temperaturu kao normalne A-zvijezde i po spektralnom se tipu kreću u rasponu od kasnog B- do kasnog A-. Magnetska polja se od nedavno zamjećuju u He-jakim i He-slabim Bp-zvijezdama i danas se zna da se pojava nagnutog rotatora pojavljuje kod zvijezda od spektralnog tipa B2- prema kasnijim spektralnim tipovima. Postoje dvije hipoteze koje se odnose na prisutnost magnetskog polja kod zvijezda u području gornjeg dijela glavnog niza. Prva govori o postojanosti "fosilnog" magnetskog polja koje generira međuzvjezdana materija. Druga govori o postojanju nekog mehanizma poput dinama u samoj konvektivnoj jezgri zvijezde. Obje su teorije suočene s poteškoćama. Teorija "fosilnog" polja pretpostavlja da su polja stabilna tijekom stotina milijuna godina, a prema teoriji o postojanosti dinama unutar same jezgre očekivala bi se jaka veza između jakosti polja i perioda rotacije zvijezde, što se također ne opaža. Nedavno je otkriveno da se kemijski neobične zvijezde s trostruko manjom masom od mase Sunca nalaze u središnjem području glavnog niza. Smatra se da se magnetsko polje zvijezde stvara nakon što je zvijezda provela barem trećinu ukupnog vremena koje provodi na glavnom nizu. Suprotno toj tezi, neki znanstvenici tvrde da kemijski neobične zvijezde zauzimaju cijelo područje glavnog niza kao i normalne zvijezde istog spektralnog raspona. Maitzen (1976) sa suradnicima pronalazi dvokomponentnu uskopojasnu depresiju, sa središtem pri $\lambda 5175$

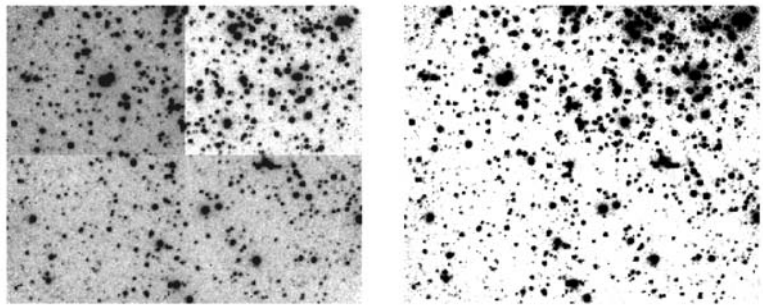
Å te širokopojasnu komponentu sa središtem pri $\lambda 5250 - \lambda 5300$ Å. Model depresije toka zračenja na višim se temperaturama pokazao padajućim a ne rastućim. Prisustvo depresije toka zračenja kod kemijski neobičnih zvijezda pri $\lambda 5200$ Å navelo je Maitzena da uvede Δa sustav fotometrijskih filtara kao sredstvo za dijagnosticiranje te depresije. Maitzenova Δa metoda utvrđuje dubinu depresije toka zračenja putem usporedbe tokova zračenja u nizu uskopojasnih fotometrijskih filtara. Tok u središtu depresije mjeri se pri $\lambda 5220$ Å (g_2 filtar), te na rubovima depresije pri $\lambda 5000$ Å (g_1 filtar) i $\lambda 5500$ Å (y filtar Strömgrenovog fotometrijskog sustava). Pojasevi filtara iznose 130 Å za g_1 i g_2, dok za Strömgrenov y filtar iznosi 230 Å. Kako bi se širokopojasno suženje na 5200 Å fotometrijski detektiralo, definira se sljedeći indeks:

$$a = g_2 - (g_1 + y)/2 \tag{1}$$

S obzirom da takva veličina vrlo slabo ovisi o temperaturi (raste prema nižim temperaturama), uvodi se "intrinzični indeks pekulijarnosti" koji je definiran kao

$$\Delta a = a - a_0 \left[(b - y);\ (B - V);\ g_1 - y)\right], \tag{2}$$

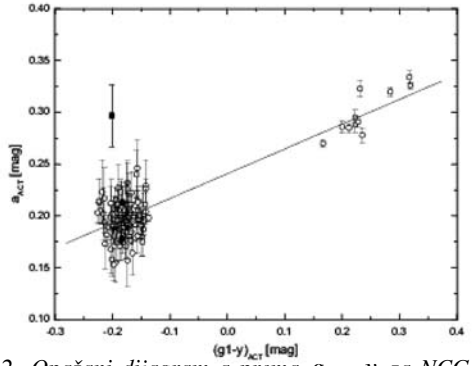
odnosno, kao razlika između pojedine a vrijednosti i vrijednosti indeksa zvijezde koja nije neobična, a iste je boje. Pravac na kojem se nalaze vrijednosti indeksa pekulijarnosti zvijezda koje nisu kemijski neobične, a iste su boje, naziva se pravac normiranosti.



Slika 1. "Sirova" CCD snimka, te CCD snimka nakon primjene fotometrijske redukcije.

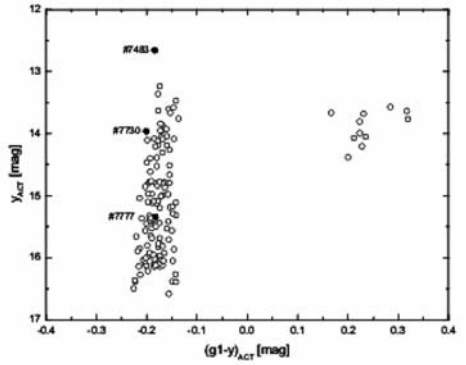
CCD-snimke sadrže brojne primjese i defekte koji nisu rezultat samog izvora koji se opaža. Stoga proces kalibriranja CCD snimaka uključuje otklanjanje bias-a, darka-a i flat-a od izvorno snimljene slike. Sama kalibracija započinje sa 'sirovim' snimkama bias-a, dark-a, flat-a, te sirovim snimkama neba. Važno je napomenuti da je bias ona količina naboja koju dodajemo CCD-senzoru kako bi aktivirao sposobnost prihvata fotona. To je adicioni defekt snimke CCD-a. Dark predstavlja tamnu struju koja se isto tako dodaje signalu CCD-a kao pozadina. Dark je također adicioni defekt koji se mora odstraniti od izvorno snimljene snimke. Flat je, za razliku od bias-a i dark-a, multiplikativni defekt snimke CCD-a. Ovim se postupkom otklanjaju nejednolikosti u osjetljivosti samog čipa kamere. Opažanje kemijski neobičnih zvijezda u otvorenim zvjezdanim skupovima s točno određenom starošću i udaljenošću od izuzetne je važnosti za razumijevanje porijekla jakog magnetskog polja kod takvih zvijezda. Nije još posve jasno zašto samo mali postotak zvijezda ima tako veliko magnetsko polje u odnosu na druge zvijezde istog tipa. Maitzenov Δa fotometrijski sustav upravo koristi glavno svojstvo kemijski neobičnih zvijezda, a to je depresija toka zračenja u području $\lambda 5200$ Å. Na uzorku od gotovo 140 zvijezda iz samog središta skupa provedeni su prilagodbeni postupci za određivanje PSF (od *engl.* point-spread-function) funkcije i fotometrijska analiza. Zvijezda #7730 u nomenklaturi Sunga i dr. (1999.) je jedina zvijezda našeg uzorka za koju je pronađena značajna pozitivna Δa vrijednost. Zatim

za "blue straggler" zvijezdu #7483 je utvrđeno da je vjerojatno promjenjiva na dugim vremenskim periodima. Zvijezda #7777, koju su Paunzen i dr. (2003.) izdvojili kao λ -Bootis zvijezdu, potvrđena je u ovom istraživanju kao normalna zvijezda. Obzirom na raspoloživu instrumentaciju i tehnička ograničenja tijekom opažanja (ekspozicije ne duže od 60 s), te donju granicu Δa fotometrije od 12 mag, nisu bila moguća opažanja hladnijih pekulijarnih zvijezda. Ovdje su prikazani rezultati fotometrijskog istraživanja otvorenog zvjezdanog skupa NGC 6705 na udaljenosti od 2 kpc.



Slika 2. Opažani dijagram a prema $g_1 - y$ za NCG 6705.

Mjerenja su načinjena CCD-kamerom 1-m ACT-a (Austro-Croatian Teleskope) uz korištenje Δa fotometrijskog sustava. Tako se granica pouzdanih mjerenja nalazi pri 14.5 mag. Takva mjerna granica odgovara udaljenosti oko Sunca od 1 kpc, pa je u slučaju NGC 6705 (udaljenost 2 kpc) bilo moguće opažati jedino vruće pekulijarne zvijezde (Tamajo E. & Pavlovski K., 2006., ASP Conference Series, Vol. 349, 351–354).



Slika 3. HR-dijagram opažanih zvijezda otvorenog skupa NGC 6705.

Dakle, na većoj udaljenosti uzimajući u obzir utjecaj raznih postotaka metaliciteta ili galaktičkog magnetskog polja, razumno je težiti prema pomaku takve mjerne granice za barem dvije magnitude. S obzirom na položaj opažanog zvjezdanog skupa (projiciran je spram zvjezdanog oblaka Scutum), značajnije pogreške pri mjerenjima zvijezda slabijeg sjaja mogu se pripisati većoj međuzvjezdanoj zacrvenjenosti pozadinskih zvijezda. Vidimo da ovako prikazana uskopojasna fotometrija daje dobre rezultate u detekciji jakih magnetskih polja kod kemijski neobičnih zvijezda. Kako bi točnost takvog istraživanja bila što veća potrebna su dugačka vremena ekspozicije snimanja, pošto efekt pekulijarnosti tj. neobičnosti biva detektiran na skali milimagnituda sjajnosti.