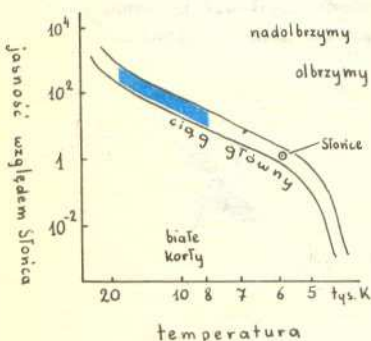
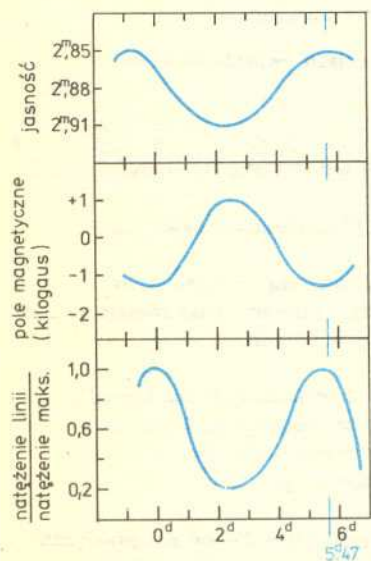


Gwiazdy magnetyczne

Doc. dr Kazimierz STĘPIEŃ



Rys. 1. Położenie gwiazd magnetycznych na diagramie Hertzsprunga-Russella (obszar zakresowany).

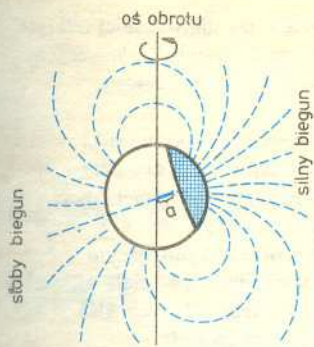


Rys. 2. Zmiany jasności w barwie żółtej, pola magnetycznego i natężenia linii pierwiastków ziem rzadkich w jednej z najjaśniejszych gwiazd magnetycznych $\alpha^2 CVn$, mającej okres 5,47 doby.

Pierwszą gwiazdą, u której wykryto istnienie pola magnetycznego, było Słońce. Ogólne pole magnetyczne Słońca jest jednak słabe, porównywalne z polem ziemskim. Poszukiwania pól magnetycznych u innych gwiazd nie przynosiły pozytywnych wyników przez wiele lat. Dopiero w 1947 r. astronom amerykański H. Babcock odkrył u jednej z jasnych gwiazd w gwiazdozbiornie Panny pole przewyższające natężeniem kilkaset razy pole Słońca. W następnych latach odkryto u wielu innych gwiazd pola o natężeniu typowo około $1000 \div 10\,000$ gausów ($= 0,1 \div 1$ tesli). Gwiazdy te otrzymały nazwę gwiazd magnetycznych. Do dziś zachowała ona swoje znaczenie, choć w świetle odkryć z ostatniego dziesięciolecia stała się nieco myląca. Okazało się mianowicie, że istnieje szereg białych karłów (zdegenerowanych, bardzo gęstych gwiazd, będących ostatnim stadium ewolucyjnym większości gwiazd) mających pola magnetyczne rzędu $10^7 \div 10^8$ gausów. Co więcej, gwiazdy neutronowe posiadają pola o natężeniu $\sim 10^{12}$ gausów, a więc sto milionów razy silniejsze niż klasyczne gwiazdy magnetyczne! Mimo to, dla uniknięcia zamieszania, nie zmieniono już utrwalonych w literaturze nazw i zachowano termin „gwiazdy magnetyczne” dla określenia tej pierwszej grupy gwiazd.

Dokładniejsze badania gwiazd magnetycznych pokazały, że tworzą one dość wyraźnie oddzieloną klasę gwiazd o charakterystycznych własnościach obserwacyjnych. Wszystkie leżą na ciągu głównym, a więc są w stadium palenia wodoru w jądrze. W tym samym stadium znajduje się Słońce, ale gwiazdy magnetyczne są od niego wyraźnie gorętsze. Ich temperatury na powierzchni wynoszą od 8000 K do około 18 000 K (rys. 1). Ciekawą ich własnością są okresowe zmiany blasku. Typowe okresy zmian są rzędu tygodnia, a typowe amplitudy — kilku procent. W niektórych wypadkach zmiany blasku zostały wykryte zanim stwierdzono obecność pola magnetycznego. Samo pole jest też zmienne, a okresy zmian pokrywają się z okresami zmian blasku. Ponadto gwiazdy magnetyczne posiadają widma istotnie różniące się od widm normalnych gwiazd. Jak wiemy, widmo daje nam informacje o składzie chemicznym atmosfery gwiazdowej. Otóż w widmach gwiazd magnetycznych, poza normalnymi liniami wodoru i wielu innych pierwiastków, występują silne linie niektórych egzotycznych pierwiastków nie obserwowanych w normalnych gwiazdach, np. europu, cyrkonu, skandu, gadolinu, a nawet uranu czy prometu, a linie innych, np. żelaza, chromu czy tytanu, są wyraźnie silniejsze niż w podobnych gwiazdach nie mających pola magnetycznego. Co więcej, w wielu wypadkach natężenia linii zmieniają się z tym samym okresem, co blask i pole magnetyczne (rys. 2). Nieobecność linii np. europu w normalnych gwiazdach nie oznacza, że nie ma go tam wcale. Badania Słońca pokazują, że europ (jak i inne wspomniane pierwiastki) jest obecny w atmosferze, ale w znikomych, śladowych ilościach. W efekcie linie widmowe tych pierwiastków są niezmiernie słabe i można je wykryć tylko w widmie Słońca. Jeżeli linie tych pierwiastków należą do najsilniejszych linii w widmach gwiazd magnetycznych, to zawartość ich musi być rzeczywiście znaczna. Jest to o tyle osobliwe zjawisko, że gwiazdy ciągu głównego mające w atmosferach materię, która nie uległa przemianom z wnętrzem, wykazują jednakowy skład chemiczny, charakterystyczny dla materii międzygwiazdowej, z której powstały. Skąd nagle więcej niektórych pierwiastków w gwiazdach magnetycznych? Należy dodać, że zwiększenie zawartości różnych pierwiastków nie jest jednakowe we wszystkich gwiazdach magnetycznych. Zawartości te różnią się znacznie od gwiazdy do gwiazdy i czasami danego pierwiastka jest tysiąc razy więcej niż na Słońcu, a czasami aż sto tysięcy razy więcej.

Tyle obserwacje. Rodzą one szereg pytań, na które musi odpowiedzieć teoria. A więc: skąd się biorą tak silne pola magnetyczne? Dlaczego występują tylko w podanym wyżej zakresie temperatur? Co powoduje obserwowaną zmienność pola, blasku i natężeń linii? Skąd się wzięły osobliwości składu chemicznego? Nie na wszystkie z tych pytań mamy jednoznaczną odpowiedź. Nie będziemy tu jednak dyskutować szczegółowo różnych hipotez i teorii dotyczących tego zjawiska, a przedstawimy raczej te najbardziej prawdopodobne, które zyskały największe poparcie obserwacyjne i są najbardziej zaawansowane w sensie szczegółowego opracowania. Otóż wydaje się, że obserwowane pola magnetyczne są pozostałością słabych pól występujących w materii międzygwiazdowej. Gdy z obłoku takiej materii powstaje gwiazda przez jego zagęszczenie, pole magnetyczne ulega też ściśnięciu wraz z materią i jego natężenie znacznie rośnie. Gwiazdy chłodniejsze niż wymieniona poprzednio dolna granica temperatury mają grubą otoczkę, w której występuje gwałtowne mieszanie materii (turbulencja). Wciąga ono zapewne pola magnetyczne do wnętrza gwiazdy, tak że nie obserwujemy go na powierzchni (przynajmniej z natężeniami rzędu kilogausa). Gwiazdy gorętsze niż górna granica tracą materię przez intensywny wiatr gwiazdowy, a więc atmosfery ich są też w stanie turbulencji. Ponadto wirują one



Rys. 3. Model gwiazdy magnetycznej. Pole magnetyczne jest dipolem, przesuniętym na odległość a względem środka gwiazdy. Oś dipola nachylona jest do osi rotacji, a w obszarze silnego pola magnetycznego (zakreskowanym) występuje koncentracja niektórych pierwiastków.

bardzo szybko, co wywołuje w nich wielkoskalowe tzw. prądy południkowe mogące również wciągnąć pole pod powierzchnię. Przedział $8000 \div 18\,000$ K jest pod tym względem najspokojniejszy, choć i tu gwiazdy szybko wirujące nie powinny mieć pól magnetycznych. Istotnie, obserwuje się taką korelację. Samo pole jest dipolem i to dość osobliwie umiejscowionym: nie dość, że jego oś nachylona jest do osi rotacji gwiazdy, to jeszcze jest on przesunięty od środka gwiazdy wzdłuż osi magnetycznej. W efekcie jeden biegun magnetyczny jest wyraźnie silniejszy niż drugi (rys. 3). Brak konwekcji i wiatru gwiazdowego powoduje, że atmosfery tych gwiazd są stabilne, a pole magnetyczne dodatkowo je stabilizuje. Przy braku jakichkolwiek ruchów w atmosferze pierwiastki mogą swobodnie dyfundować przez wodorowy gaz stanowiący *gros* atmosfery. Grawitacja ściąga pierwiastki w dół, ale ciśnienie promieniowania, powstające wskutek pochłaniania kwantów światła w liniach absorpcyjnych, wypycha je do góry. W zależności od tego, która z tych sił jest większa (i o ile), pierwiastek „tonie” w atmosferze lub zbiera się w jej górnej części. Szereg obliczeń pokazało, że te pierwiastki, których obserwujemy nadobfitość w stosunku do Słońca, ulegają wypychaniu w różnym tempie. Szczegółowe rachunki są bardzo złożone i wymagają znajomości wielu niepewnych wciąż parametrów. Na dyfuzję ma istotny wpływ pole magnetyczne, stąd w niektórych miejscach gwiazdy obserwujemy więcej, a w innych mniej danego pierwiastka. Mamy więc jakby plamy chemiczne związane z polem magnetycznym. Tam, gdzie pierwiastków ciężkich jest więcej, pochłaniają one w liniach więcej promieniowania, szczególnie w nadfiolecie, gdzie mają bardzo dużo linii i reemitują je w postaci promieniowania termicznego, a więc głównie w części widzialnej. Dlatego obserwacje fotometryczne w danym pasmie widmowym dają kilkuprocentowe fluktuacje blasku związane z plamami chemicznymi. Okres wszystkich zmian jest równy okresowi rotacji gwiazdy, która powoduje, że raz oglądamy okolice bieguna, potem równika magnetycznego, a potem drugiego bieguna.

Zadania



Redaguje mgr Tomasz CHLEBOWSKI

A1. Zasada kosmologiczna mówi, że Wszechświat jest w każdym punkcie taki sam. Innymi słowy, jego geometria nie wyróżnia żadnych punktów. Czy to stwierdzenie nie jest sprzeczne z prawem Hubble'a?

Prawo Hubble'a mówi, że prędkości oddalania się galaktyk od nas są proporcjonalne do odległości

$$v_r = H \cdot r,$$

gdzie H jest tzw. stałą Hubble'a i wynosi $H = 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, Mpc — megaparsek, czyli milion parseków.

Rozwiązanie na str. 2

A2. a) Dobą słoneczną nazywamy czas pełnego obiegu Słońca w ruchu dobowym wokół osi świata (tzn. prostej przechodzącej przez bieguna planety: północny i południowy). Ile dób słonecznych ma rok na Uranie, jeśli trwa on $a_U = 84,02$ lat ziemskich, a obrót planety w układzie inercyjnym trwa $d_U = 10^4 49^m$?

Uwaga! Uran toczy się po orbicie jak beczka w swoim ruchu wokół Słońca; kąt nachylenia osi obrotu (osi świata) do wektora normalnego do płaszczyzny orbity wynosi aż $\varepsilon_U = 98^\circ$.
Rozwiązanie na str. 3

b) Na jakich szerokościach „uranograficznych” φ nie występują dnie i noce polarne. Dzień polarny oznacza, że Słońce znajduje się ponad horyzontem dłużej niż jedna doba słoneczna.

Rozwiązanie na str. 7

A3. Obrazy wielu obiektów astronomicznych oglądanych z różnych stron lub w różnych miejscach sfery niebieskiej są kołami.

Wykazać, że powierzchnią bryły, której rzut prostokątny na dowolną płaszczyznę jest kołem, musi być powierzchnia kuli.

Rozwiązanie na str. 17

