

УДК 524.3-355

Н. Г. Михайлицька

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27

Аналіз ліній літію в атмосфері α Ar-зорі HD 24712

Методом синтетичного спектру проаналізовано обидві лінії літію в спектрі α Ar-зорі HD 24712. Виконано розрахунки синтетичного спектру у спектральних ділянках $\lambda\lambda = 610.2\text{--}610.4$ та $670.5\text{--}670.8$ нм. Враховано магнітне розщеплення ліній та блендування літію лініями рідкоземельних елементів. Для аналізу була використана програма розрахунку синтетичного спектру С. А. Хана SynthM, що враховує вплив магнітного поля на спектральні лінії поглинання. Визначено верхню межу вмісту літію $\lg N/N_{\text{tot}} = -10.0$.

АНАЛИЗ ЛИНИЙ ЛИТИЯ В АТМОСФЕРЕ α Ar-ЗВЕЗДЫ HD 24712, Михайлицькая Н. Г. — Методом синтетического спектра проведен анализ обеих линий лития в спектре α Ar-звезды HD 24712. Сделаны расчеты синтетических спектров в областях $\lambda\lambda = 610.2\text{--}610.4$ и $670.5\text{--}670.8$ нм. При расчетах учтены магнитное расщепление линий и блендирование лития линиями редкоземельных элементов. Для анализа была использована программа расчета синтетического спектра С. А. Хана SynthM, что учитывает влияние магнитного поля на спектральные линии поглощения. Определен верхний предел содержания лития $\lg N/N_{\text{tot}} = -10.0$.

ANALYSIS OF LITHIUM LINES IN THE ATMOSPHERE OF THE α Ar-STAR HD 24712, by Mykhailiyska N. G. — Two lithium lines in the spectrum of the α Ar-star HD24712 were analysed by the synthetic spectra method. Calculations for synthetic spectra were carried out for spectral regions from 610.2 to 610.4 nm and from 670.5 to 670.8 nm. The magnetic splitting of the lines and blending of lithium by rare earth elements were taken into account. Our analysis was performed with the use of the calculation program SynthM developed by S. A. Khan which takes into consideration the magnetic field influence on spectral absorption lines. The upper limit to lithium abundance is determined to be $\lg N/N_{\text{tot}} = -10.0$.

ВСТУП

Зірка HD 24712 — швидко осцилююча хімічно пекулярна (α Ar) зоря класу F0 V. В роботі Престона [17] визначено період її обертання $P = 12.448^d$ та швидкість обертання $v \sin i = 7$ км/с, також було вказано на наявність в

атмосфері зорі рідкоземельних елементів. Визначено також, що магнітне поле зорі має дипольну структуру: поздовжня складова магнітного поля B_l має відносно мале значення 0.4—1.5 Тл, поверхнева складова магнітного поля B_s має значення 0.29—0.35 Тл. Конфігурацію магнітного поля та мале значення поздовжньої складової B_l було відмічено також в роботах [5, 12, 13, 16].

Куртц [10] визначив період осциляцій блиску HD 24712 6—15 хв з амплітудою 0.014^m та відніс її до групи швидко осцилюючих гоАр-зірок. Групу гоАр складають швидко осцилюючі магнітні зорі класів А і F з осциляціями блиску 6—16 хв, у спектрах яких спостерігається аномальний вміст хімічних елементів.

Т. А. Рябчикова та ін. [18] проаналізували хімічний склад гоАр-зорі в рамках моделі атмосфери з параметрами $T_{\text{ef}} = 7250$ К, $\lg g = 4.3$, $\xi_r = 1$ км/с; у розрахунках враховане магнітне поле, що має дипольну структуру, модуль магнітного поля на полюсі $B_p = 0.44$ Тл, поверхнева складова $B_s = 0.30$ Тл. В цій роботі також уточнено значення періоду обертання зорі $P = 12.461^d$ та параметр $v \sin i = 5.6 \pm 2.3$ км/с. Особливості хімічного складу та структури магнітного поля автори постулюють в рамках моделі неоднорідного (плямистого) розподілу хімічних елементів.

В роботі [14] у спектрі поглинання зорі в області лінії літію було ідентифіковано сильну лінію Pr III λ 670.67 нм.

Лінії літію в атмосфері гоАр-зорі HD 24712 не сильні. Детальний аналіз спектру гоАр-зорі HD 24712 поблизу ліній літію $\lambda\lambda = 610.3$ та 670.8 нм з урахуванням магнітного розщеплення ліній та блендування літію лініями рідкоземельних елементів даній роботі проводиться вперше.

ЛІТІЙ

Літій відіграє важливу роль в еволюції хімічних елементів. Він належить до групи небагатьох елементів (разом з воднем та гелієм), які утворилися в результаті Великого Вибуху. Вміст Li в зоряних атмосферах залежить від фізичних та ядерних процесів, що відбуваються в надрах зір. Цей хімічний елемент руйнується при температурах $2.5 \cdot 10^6$ К. За рахунок конвекції та інших механізмів перемішування речовина зі зниженим вмістом літію виноситься в атмосферу зорі. Взагалі на вміст Li впливає вік зорі, маса, температура, а також ефективність фізичних процесів, таких як конвекція, обертання, зоряний вітер тощо. Саме тому атмосфери молодих зір, як правило, мають вищий вміст літію. Зорі, що проевoluціонували, мають відносний дефіцит літію, але зустрічаються зорі з аномально високим вмістом літію.

Сам факт збереження літію в зорях, що проевoluціонували, свідчить про фізичні чинники, що перешкоджають його вичерпанню. Такими фізичними чинниками можуть бути: магнітне поле зорі, що перешкоджає конвекції та іншим процесам перемішування; реальні процеси утворення літію в зоряних атмосферах, наприклад реакції сколювання, при яких прискорені у магнітних полях протони та альфа-частинки руйнують важкі атоми CNO, в результаті чого утворюється літій [8, 20].

Літій традиційно досліджують за резонансною лінією $\lambda = 670.8$ нм, та рідше — за досить слабкою лінією $\lambda = 610.3$ нм, розташованою у крилі сильної лінії Fe II. В досліджуваних ділянках спектру розташовані досить сильні лінії рідкоземельних елементів (табл. 2). Особливе значення при аналізі ліній літію спектру поглинання гоАр-зорі HD 24712 має те, що розрахунки синтетичних спектрів виконано з урахуванням вкладу ліній

Таблиця 1. Обставини спостережень

<i>N</i>	<i>UT</i>	Експозиція, хв	$\lambda\lambda$, нм	<i>R</i>
37×07211	05 ^h 30 ^m	34	608.0—612.5	83000
37×07208	04 43	34	612.8—617.1	83000
34×07639	02 08	40	669.6—671.9	170000
34×07640	02 49	40	669.6—671.9	170000

рідкоземельних елементів, які блендують Li. Уточнення списку ліній поглинання, що утворюють бленди з лініями літію, є однією з основних задач цієї роботи.

Синтетичні профілі обчислено за допомогою програми SynthM С. А. Хана, в якій враховано вплив магнітного поля. При обчисленнях використано модель атмосфери Я. В. Павленка з параметрами $T_{\text{ef}} = 7225 \text{ K}$, $\lg g = 4.3$. Значення вмісту хімічних елементів та мікротурбулентної швидкості $\xi_t = 1 \text{ км/с}$ взято з роботи [18].

СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В роботі використані спектри HD24712 з високим розділенням $R \approx 80000$, 170000 і високим відношенням сигнал/шум (> 100). Ці спектри були отримані 12 серпня 1997 р. І. Ільїним за допомогою спектрографа SOFIN [7], встановленого на 2.56-м телескопі NOT (Nordic Optical Telescope). Вони були оброблені пакетом 4A та нормалізовані до континууму пакетом SPE [1]. Дані про спектри наведені в табл. 1.

СПЕКТРАЛЬНІ ДАНІ АТОМНИХ ЛІНІЙ

Для розрахунків синтетичних спектрів використані:

- списки ліній із бази даних спектральних ліній атомів VALD [9];
- списки рідкоземельних елементів із бази даних DREAM [6], доповнені значеннями термів та факторами Ланде зі списку даних NIST [15];
- списки ліній рідкоземельних елементів, важливі для визначення літію, взяті із роботи [19].

Основний вклад в область спектру поглинання $\lambda\lambda = 610.2\text{—}610.4 \text{ нм}$ вносять лінії Ca II $\lambda 610.272 \text{ нм}$, Ce II $\lambda 610.276 \text{ нм}$, Fe I $\lambda 610.319 \text{ нм}$, Fe I $\lambda 610.329 \text{ нм}$, Fe II $\lambda 610.350 \text{ нм}$, Li I $\lambda 610.354 \text{ нм}$, Ce II $\lambda 610.397 \text{ нм}$. Дані для лінії Ce II $\lambda 610.276 \text{ нм}$, Ce II $\lambda 610.397 \text{ нм}$ взяті із списку рідкоземельних елементів бази даних DREAM, значення термів та фактори Ланде — із списку даних NIST. Інформація для лінії Ca II $\lambda 610.272 \text{ нм}$, Fe I $\lambda 610.319 \text{ нм}$, Fe I $\lambda 610.329 \text{ нм}$, Fe II $\lambda 610.350 \text{ нм}$, Li I $\lambda 610.354 \text{ нм}$ почерпнута із бази даних спектральних ліній VALD.

Основний вклад в область спектру поглинання $\lambda\lambda = 670.57\text{—}670.82 \text{ нм}$ вносять лінії Ce II $\lambda 670.605 \text{ нм}$, Pr III $\lambda 610.67 \text{ нм}$, Sm II $\lambda 670.734 \text{ нм}$, Sm II $\lambda 670.747 \text{ нм}$, Li I $\lambda 670.8 \text{ нм}$, Nd II $\lambda 670.803 \text{ нм}$, Ce II $\lambda 670.71 \text{ нм}$ для розрахунку профілів лінії Ce II $\lambda 670.605 \text{ нм}$, Pr III $\lambda 610.67 \text{ нм}$, Ce II $\lambda 670.81 \text{ нм}$ із списку рідкоземельних елементів бази даних DREAM, значення термів та фактори Ланде із списку даних NIST. Інформація для лінії Sm II $\lambda 670.747 \text{ нм}$ — з бази даних спектральних ліній VALD. Довжини хвиль Sm II $\lambda 670.734 \text{ нм}$, Nd II $\lambda 670.776 \text{ нм}$, Nd II $\lambda 670.803 \text{ нм}$ були розраховані в роботі [19] з використанням інформації про рівні енергії рідкоземельних елементів із бази даних NIST, при цьому було враховано

Таблиця 2. Атомні дані ліній рідкоземельних елементів

Лінія λ , нм	$\lg gf$	E'' , см ⁻¹	J''	E' , см ⁻¹	J'	Джерело	T_{lov}	g''	T_{up}	g'	Джерело
Ce II λ 610.2762	-1.67	7259	3.5	23641	4.5	[6]	² F	1.140 [15]	⁴ F	1.333 calc	[15]
Ce II λ 610.3967	-1.59	15236	1.5	31614	0.5	[6]	⁴ F	0.650 calc	—	—	[15]
Ce II λ 670.6051	-0.95	14828	3.5	29735	4.5	[6]	² G	0.889 calc	—	1.112	[15]
Pr III λ 670.6703	-1.64	4454	7.5	19360	6.5	[6]	⁴ I	1.141 calc	² I	1.077 calc	[15]
Sm II λ 670.7473	-1.477	7525	2.5	22429	2.5	[9]	⁸ H	0.700 [15]	—	1.300	[9]
Nd II λ 670.8030	-1.13	12276	5.5	27179	4.5	[6]	—	0.870 [15]	—	0.915	[15]
Ce II λ 670.8099	-2.12	5651	5.5	20555	5.5	[6]	⁴ H	1.085 [15]	² H	1.091 calc	[15]

правило відбору ($\delta j = 0, \pm 1$) та правило парного і непарного рівнів енергії. Значення $\lg gf$ для лінії Sm II λ 670.734 нм було підібрано із найкращого збігу розрахованого та спостереженого спектрів гоAr-зірки HD 101065. Верхня межа $\lg gf = -2.2$. Для сусідніх ліній — Nd II $\lambda\lambda$ 670.776 і 670.803 нм взято оцінки $\lg gf = -3.55$ та -1.13 відповідно [19].

Для визначення магнітного поля зорі використовувались спектральні лінії Ca II λ 610.27 нм, Fe II λ 614.93 нм із бази даних спектральних ліній VALD, та Pr III λ 610.67 нм із бази даних рідкоземельних елементів DREAM. Дані про спектральні лінії атомів рідкоземельних елементів, що вносять основний вклад в досліджувані області, наведені в табл. 2.

ПАРАМЕТР $v \sin i$

Для гоAr-зір амплітуда осциляцій блиску, як і інтенсивність магнітного поля, може модулюватись обертанням зорі. Щоб пояснити це явище, Куртц [11] запропонував модель нахиленого пульсатора, в якому напрямок осі пульсацій збігається з напрямком осі магнітного поля, нахиленої до осі обертання. Розширення спектральних ліній внаслідок обертання не завжди можна відрізнити від розширення внаслідок пульсацій, обидва ефекти є результатом доплерівських зміщень і модулюються параметром обертання $v \sin i$ [4].

Параметр $v \sin i$ визначався за лінією Fe II λ 614.9 нм. Під впливом магнітного поля вона розщеплюється на дві складові, а розширення складової буде наслідком обертання та пульсацій зорі $v \sin i$, що дає можливість відокремити ці два впливи. На рис. 1, а показано чутливість лінії до параметра $v \sin i$, на рис. 1, б — до напруженості магнітного поля H_{ef} .

Найкращий збіг синтетичного спектру та спостереженого має місце при значенні параметра $v \sin i = 4.5 \pm 0.5$ км/с, що узгоджується з оцінкою 5.6 ± 2.3 км/с [18].

МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗОРІ

Магнітне поле впливає на процес формування спектральних ліній в зоряних атмосферах. В силу складного ефекту Зеемана спектральні лінії поглинання виявляються розщепленими на ряд компонентів з різною поляризацією π -компонента та σ -компонента. При спостереженнях вздовж ліній маг-

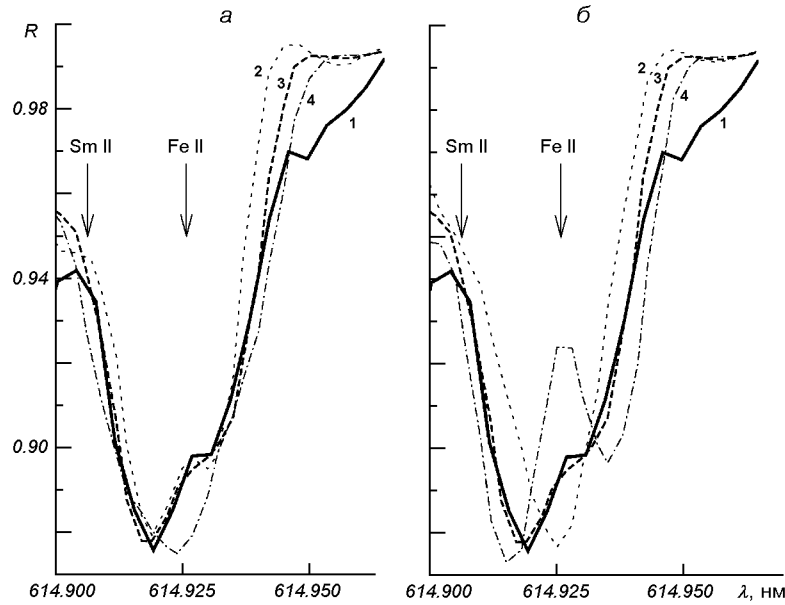


Рис. 1. Спостережений (лінія 1) та синтетичні профілі лінії Fe II λ 614.926 нм: а — для $B_{\text{еф}} = 310$ мТл та трьох значень параметра $v \sin i = 3, 4.5, 6$ км/с (криві 2—4 відповідно); б — для $v \sin i = 4.5$ км/с та трьох значень модуля напруженості магнітного поля $B_{\text{еф}} = 210, 310, 410$ кА/м (криві 2—4 відповідно)

нітного поля π -компонентів немає, при спостереженнях поперек магнітного поля сума інтенсивностей всіх π -компонентів дорівнює сумі інтенсивностей всіх σ -компонентів.

Абсолютна величина розщеплення визначається модулем напруженості магнітного поля H та фактором Ланде g :

$$\Delta\lambda = (M_{j1}g_1 - M_{j2}g_2)eH\lambda^2/(4\pi mc^2),$$

де $H = (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2}$ — напруженість магнітного поля, g_1, g_2 і M_{j1}, M_{j2} — відповідно фактори Ланде та магнітні квантові числа для верхнього і нижнього рівнів, а $M_j = -J, \dots, +J$. Якщо $\Delta M_j = 0$, то утворюються π -компоненти, якщо $\Delta M_j = \pm 1$, то утворюються дві групи σ -компонентів [2].

У програмі SynthM С. А. Хана для оцінки магнітного поля використовуються узагальнені характеристики магнітного поля: $B_{\text{еф}}$ — ефективне магнітне поле, B_l — поздовжня складова поля, B_s — поверхнева складова поля. Необхідно лише підібрати таку модель поля, щоб синтетичний та спостережений спектри збігалися. Програма дає можливість відділити вплив магнітного поля на розширення спектральної лінії від впливу мікротурбулентної швидкості або параметра обертання та пульсацій $v \sin i$ [3].

Для визначення модуля напруженості магнітного поля та його конфігурації в гоАр-зорі HD 24712 використано чутливі до магнітного поля лінії Fe II λ 614.93 нм, Ca II λ 610.27 нм, Pr III λ 670.77 нм. Додаткове розширення враховано з параметрами $\xi_t = 1$ км/с, $v \sin i = 4.5$ км/с.

Лінія Fe II λ 614.9 нм дуже чутлива до сили магнітного поля, під впливом якого розділяється на дві складові, але мало чутлива до конфігурації поля. На рис. 1, б показано розраховані профілі лінії Fe II

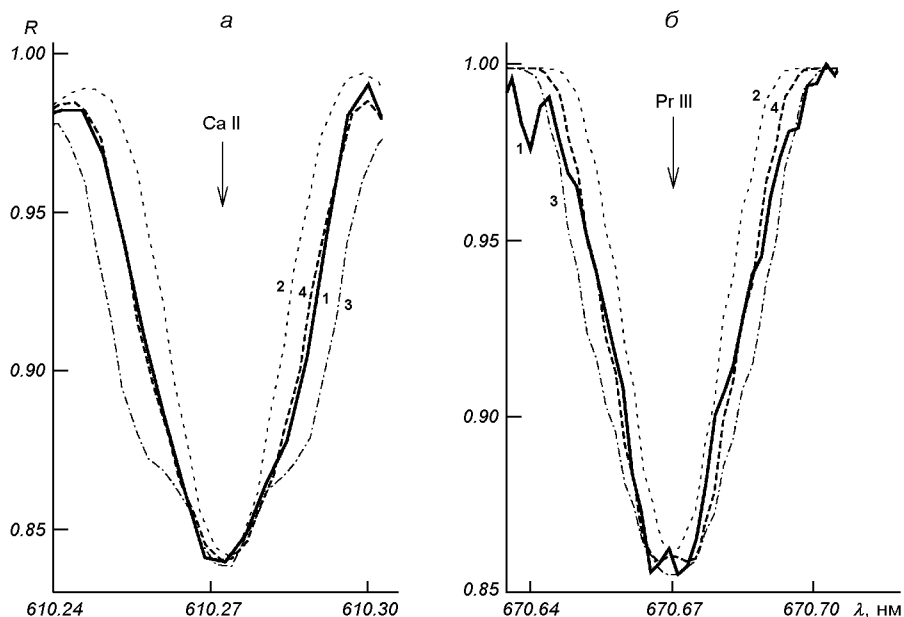


Рис. 2. Спостережений та синтетичні профілі ліній з різною чутливістю до магнітного поля: а — лінія Ca I λ 610.272 нм (1 — спостереження, 2 — $B_{\text{эф}} = 254.4$ мТл, 3 — $B_{\text{эф}} = 454.4$ мТл, 4 — $B_{\text{эф}} = 354.4$ мТл); б — лінія Pr III λ 670.670 нм (1 — спостереження, 2 — $B_{\text{эф}} = 280$ мТл, 3 — $B_{\text{эф}} = 480$ мТл, 4 — $B_{\text{эф}} = 380$ мТл)

λ 614.9 нм для трьох варіантів: $B_{\text{эф}} = 410, 310, 210$ мТл. Найкраще відповідає спостереженому спектру значення $B_{\text{эф}} = 310$ мТл.

Лінії Ca II, Pr III чутливі до величини магнітного поля та конфігурації магнітного поля. На рис. 2 показано залежність чутливості ліній до величини магнітного поля, зроблено розрахунки для трьох варіантів:

а) $B_{\text{эф}}$ (Ca II) = 454.4, 254.4, 354.4 мТл (з конфігурацією поля B_l (Ca II) = 100 мТл, B_s (Ca II) = 340 мТл);

б) $B_{\text{эф}}$ (Pr III) = 480, 280, 380 мТл (з конфігурацією поля B_l (Pr III) = 150 мТл, B_s (Pr III) = 350 мТл).

Найкраще синтетичні спектри та спектри, що спостерігаються для ліній Ca (II), Pr (III), збігаються при ефективному значенні магнітного поля $B_{\text{эф}}$ (Ca II) = 354.4 мТл з конфігурацією поля B_l (Ca II) = 100 мТл, B_s (Ca II) = 340 мТл, та $B_{\text{эф}}$ (Pr III) = 380 мТл з конфігурацією поля B_l (Pr III) = 150 мТл, B_s (Pr III) = 350 мТл.

Магнітне поле прямо впливає на формування профілю спектральних ліній. Залежно від чутливості лінії до конфігурації чи сили магнітного поля можна отримати різні профілі однієї лінії.

Ефективне значення магнітного поля визначено за лініями Fe II, Ca II, Pr III, конфігурація — за лініями Ca II, Pr III (Fe II мало чутлива до конфігурації поля). Отримані значення параметрів магнітного поля (табл. 3), узгоджуються з даними робіт [5, 12, 13, 16—18], згідно з якими магнітне поле гоАр-зорі HD 24712 має дипольну структуру: поздовжня складова поля B_l змінюється від 50 до 150 мТл, поверхнева складова B_s змінюється від 290 до 350 мТл.

Таблиця 3. Отримані значення параметрів магнітного поля

Лінія, λ , нм	E'' , см^{-1}	J''	$T_{\text{лов}}$	g''	E' , см^{-1}	J'	$T_{\text{уп}}$	g'	$H_{\text{еф}}$, мТл	H_l , мТл	H_s , мТл
Ca II λ 610.2723	15158	0.0	3P	0.000	31540	1.0	3S	2.000	354.4	100	340
Fe II λ 614.9258	31361	0.5	4D	0.000	47626	0.5	4P	2.700	310	—	—
Pt III λ 670.6703	4454	7.5	4I	1.141	19360	6.5	2I	1.077	380	150	350

АНАЛІЗ ЛІНІЙ ЛІТІЮ

Детальний аналіз спектру гоАр-зорі HD24712 поблизу ліній літію $\lambda\lambda = 610.3$ та 670.8 нм розглянуто в одній фазі. Розширення спектральних ліній внаслідок мікротурбулентності враховано з величиною $\xi_t = 1$ км/с [18]. Розширення внаслідок обертання та пульсацій було описано параметром $v \sin i = 4.5$ км/с.

При розрахунках синтетичних спектрів в області $\lambda\lambda = 610.24\text{—}610.4$ нм використовувалась величина магнітного поля $B_{\text{еф}} = 354.4$ мТл з конфігурацією поля $B_l = 100$ мТл, $B_s = 340$ мТл, визначена по лінії Ca II λ 610.27 нм. На рис. 3 приведено результати розрахунків синтетичних спектрів для трьох варіантів: синтетичний спектр з розщепленими в магнітному полі лініями без урахування вкладу ліній літію; розрахунки тих же ліній з урахуванням вкладу літію; розрахунки тих же ліній з урахуванням підвищеного вкладу літію.

В області $\lambda = 670.57\text{—}670.82$ нм основний вклад у поглинання вносять лінії рідкоземельних елементів, тому при розрахунках синтетичних спектрів використовувалась величина магнітного поля $B_{\text{еф}} = 382.5$ мТл та конфігурація поля $B_l = 150$ мТл $B_s = 350$ мТл, визначені по лінії Pt III λ 670.67 нм.

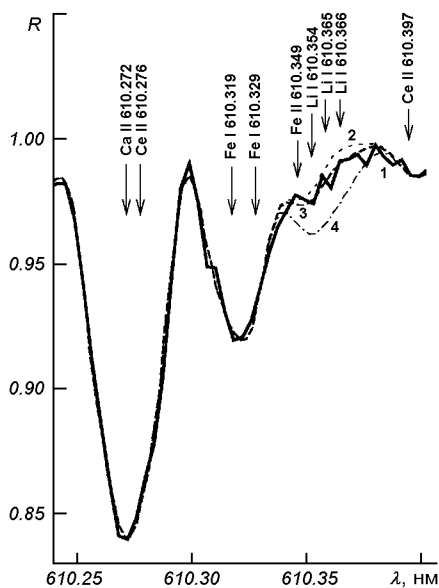


Рис. 3. Синтетичні спектри HD 24712 з розщепленими в магнітному полі лініями рідкоземельних елементів поблизу лінії Li λ 610.3 нм: 1 — спостережений спектр, 2 — синтетичний спектр без урахування вкладу ліній літію, 3 — те ж з урахуванням вкладу літію, 4 — те ж з урахуванням підвищеного вкладу літію

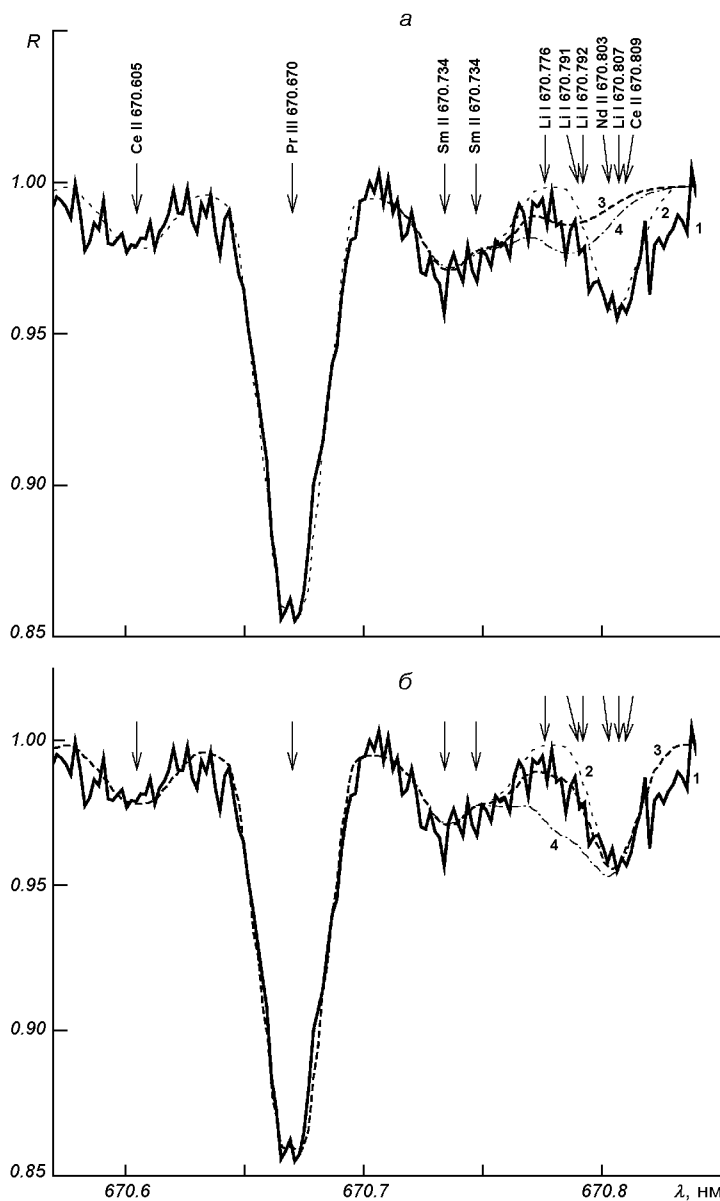


Рис. 4. Синтетичні спектри HD 24712 з розщепленими в магнітному полі лініями рідкоземельних елементів поблизу лінії Li λ 670.7 нм. *a*: 1 — спостережений спектр, 2 — синтетичний спектр без урахування вкладу ліній літію, 3 — те ж з урахуванням вкладу літію, але без ліній Nd II та Ce II, 4 — те ж з урахуванням підвищеного вкладу літію, але без ліній Nd II та Ce II; *б*: 1 — спостережений спектр, 2 — синтетичний спектр без урахування вкладу ліній літію, 3 — те ж з урахуванням вкладу літію, 4 — те ж з урахуванням підвищеного вкладу літію

При розрахунках синтетичних спектрів в області резонансної лінії літію $\lambda = 670.8$ нм враховано вклад ізотопів ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$, що відповідає розщепленню 0.016 нм.

На рис. 4, *a* показано розрахунки синтетичних спектрів для трьох варіантів: синтетичний спектр з розщепленими в магнітному полі основними лініями рідкоземельних елементів: Ce II, Pr III, Sm II, Sm II, Nd II, Ce II

Таблиця 4. Вміст атомів, лінії яких вносять основний вклад в спектр поглинання поблизу ліній літію $\lambda = 670.8$ нм

Елемент	λ , нм	Nd II, Ce II, ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$		Тільки Nd II, Ce II	
		$\Sigma \lg N_i = 1$	$\Sigma \lg N(H) = 12$	$\Sigma \lg N_i = 1$	$\Sigma \lg N(H) = 12$
Ce II	670.6051	-8.50	3.54	-8.50	3.54
Pr III	670.6703	-7.83	4.21	-7.83	4.21
Sm II	670.7343	-9.18	2.86	-9.15	2.89
Sm II	670.7473	-9.18	2.86	-9.15	2.89
Li I	670.78	-10.00	2.04	—	—
Nd II	670.8030	-8.83	3.21	-8.74	3.30
Ce II	670.8099	-8.50	3.54	-8.50	3.54

без вкладу ліній літію; синтетичний спектр з розщепленими в магнітному полі основними лініями з вкладом ліній ізотопів ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$, але без ліній Nd II, Ce II; те ж саме з підвищеним вмістом ізотопів ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$.

Лінії Nd II та Ce II не замінюють вкладу ізотопів літію ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$; а лінії ізотопів літію не замінюють Nd II та Ce II. На рис. 4, б показано розрахований синтетичний спектр з розщепленими в магнітному полі основними лініями рідкоземельних елементів: Ce II λ 670.61 нм, Pr III λ 670.67 нм, Sm II λ 670.73 нм, Sm II λ 670.75 нм, Nd II λ 670.803 нм, Ce II λ 670.809 нм та вкладом ізотопів ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$. Найкраще синтетичний спектр узгоджується із спостереженнями при урахуванні вкладу ізотопів ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$ та блендуванні лініями Nd II λ 670.807 нм, Ce II λ 670.809 нм.

В табл. 4 дано отриманий вміст атомів, що формують спектр поблизу ліній літію $\lambda = 670.8$ нм.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Методом синтетичного спектру за лініями $\lambda\lambda = 610.3$ та 670.8 нм визначено вміст літію в атмосфері гоАр-зорі HD 24712. Аналіз синтетичних спектрів виконано з урахуванням вкладу ліній літію та без них. При цьому враховано блендування лініями рідкоземельних елементів Nd II, Ce II. Лінії Nd II та Ce II не замінюють вкладу ізотопів ${}^6\text{Li}$ та ${}^7\text{Li}$, а лінії літію не замінюють Nd II та Ce II. Верхня межа вмісту літію складає $\lg N/N_{\text{tot}} = -10.0$.

Для аналізу синтетичних спектрів було враховано магнітне поле зорі, що має прямий вплив на формування профілів ліній поглинання. Параметри магнітного поля, оцінені за лініями Fe II, Ca II, Pr III, узгоджується з даними інших досліджень, згідно з якими магнітне поле гоАр-зорі HD 24712 має дипольну структуру.

Автор дякує А. В. Шаврінній за допомогу, І. Ільїну за люб'язно надані спектри, Я. В. Павленкові за модель атмосфери та обговорення результатів, Г. У. Ковальчукові за консультації, а також С. А. Ханові за програму синтетичного спектру SynthM.

1. Сергеев С. Г. Изменение контура линии H_{α} и кинематика газа в ядре сейфертовской галактики NGC 4151 // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1991.—83.—С. 205—216.
2. Фриш С. Э. Оптические спектры атомов. — М.: Физматгиз, 1963.—640 с.
3. Хан С. А. Расчет синтетических спектров звезд с учетом влияния магнитного поля и стратификации и химических элементов с глубиной // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 6.—С. 534—547.

4. Шаврина А. В., Полосухина Н. С., Хан С. и др. Литий и изотопное отношение ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ в атмосферах нескольких roAp -звезд с узкими линиями // Астрон. журн.—2006.—83, № 6.—С. 1—12.
5. Bagnulo S., Landi Degl'Innocenti E., Landolfi M., Leroy J. L. Linear polarimetry of Ap stars // Astron. and Astrophys.—1995.—295, N 2.—P. 459—470.
6. Biemont E., Palmeri P., Quinet P. A new database of astrophysical interest // Astrophys. and Space Sci.—1999.—269/270, N 1—4.—P. 635—637.—(Database on Rare Earth at Mons. Univ. <http://www.umh.ac.be/astro/dream.shtml>).
7. Ilyin I. V. High resolution SOFI CCD echelle spectroscopy: Ph. D. Thesis. — Univ. of Oulu, Finland, 2000.—266 p.
8. Knauth D. C., Federman S. R., Lambert D. L. An ultra-high-resolution survey of the interstellar ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ isotope ratio in the solar neighborhood // Astrophys. J.—2003.—586, N 1.—P. 268—285.
9. Kupka F., Piskunov N. E., Ryabchikova T. A., et al. VALD-2: Progress of the vienna atomic line data base // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1999.—138, N 1.—P. 119—133.
10. Kurtz D. W. Discovery of 6.15 minute oscillations in the cool magnetic Ap stars HD 24712 // Inform. Bull. Var. Stars.—1981.—N 1915.—4 p.
11. Kurtz D. W. Rapidly oscillating Ap stars // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1982.—200, N 3.—P. 807—859.
12. Leroy J. L., Landolfi M., Landi Degl'Innocenti E., et al. Linear polarimetry of Ap stars. IV. The influence of deviations from a pure dipolar model // Astron. and Astrophys.—1995.—301, N 3.—P. 797—810.
13. Leroy J. L., Landstreet J. D., Landi Degl'Innocenti E., Landolfi M. Broadband measurements of the transverse magnetic field of cool Ap stars // IAU Colloquium N 138 “Peculiar versus normal phenomena in A-type and related stars”.—1993.—P. 274—278.—(ASP Conf. Ser., vol. 44).
14. Malanushenko V., Polosukhina N., Hack M., et al. An unidentified spectral feature at 6706.705 Å in the spectra of cool CP stars as a possible indicator of roAp stars // A peculiar newsletter.—1998.—N 30.—P. 8—14—(Ed. P. North.).
15. Martin W. C., Reader J., Wiese W. L. NIST Compilations and databases for atomic spectra // 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 17. — Sydney, 2003.—P. 13.—(<http://physics.nist.gov/cgi-bin/AtData>).
16. Mathys G. Better Lande factors for iron-period elements // Astron. and Astrophys.—1990.—236, N 2.—P. 527—530.
17. Preston G. W. The unique magnetic and spectrum variations of HD 24712 // Astrophys. J.—1972.—175, N 2.—P. 465—472.
18. Ryabchikova T. A., Landstreet J. D., Gelbmann M. J., et al. Abundance analysis of roAp stars. IV. HD 24712 // Astron. and Astrophys.—1997.—327, N 3.—P. 1137—1146.
19. Shavrina A. V., Polosukhina N. S., Pavlenko Ya. V., et al. The spectrum of the roAp star HD 101065 (Przybylski's star) in the Li I λ 6708 Å spectral region // Astron. and Astrophys.—2003.—409, N 2.—P. 707—717.
20. Webber W. R., Lukasiak A., McDonald F. B. VOYAGER measurements of the charge and isotopic composition of cosmic ray Li, Be, and B nuclei and implications for their production in the Galaxy // Astrophys. J.—2002.—568, N 1.—P. 210—215.

Надійшла до редакції 27.07.06