АСТРОФИЗИКА

МАЙ, 1983

выпуск 2

УДК 524.316.7.022—852—36

TOM 19

СОДЕРЖАНИЕ ЛИТИЯ В АТМОСФЕРАХ М-ГИГАНТОВ С УЧЕТОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

М. Е. БОЯРЧУК, А. В. ШАВРИНА, Л. А. ЯКОВИНА Поступила 15 ноября 1982 Принята к печати 27 января 1983

Содержание лития в атмосферах восьми звезд-гигантов спектрального класса K5 - M3 определено с учетом молекулярного поглощения. Спектрограммы исследусмых звезд получены на 2.6-м телескопе Крымской астрофивической обсерватории с дисперсией 6 А/мм. Для учета молекулярного поглощения были рассчитаны синтетические спектры в области $\lambda\lambda$ 6700—6710 А с моделями Цудзи. Они включали все известпые атс...ые линии и полосы молекул TiO, CN и ZrO. В атмосферах шести эвезд из восьми найден дефицит содержания лития, в атмосфере 3 Аqr M3 III содержание лития солнечное, а в 29 Сар M3 III определен избыток лития.

Содержание лития в атмосферах звезд различных типов представляет большой интерес. Однако определение содержания лития в атмосферах холодных звезд сильно затруднено из-за большого блендирования атомными и молекулярными линиями единственной линии лития (дублета λ 6707.76 и λ 6707.91), по которой возможно определение содержания втого элемента. Использование обычного метода кривых роста, на основании которого получены практически все данные о содержании лития, может привести к большим ошибкам. Более надежные результаты дает метод определения содержания лития на основе расчетов синтетических спектров с учетом всех источников поглощения, что и составило основную цель этой работы.

Синтетические спектры в области 0.6700-6710 А были рассчитаны на основе существующих моделей поздних звезд Джонсона [1] и Цудзи [2]. Оба набора моделей показали хорошее согласие, но для окончательных результатов мы выбрали модели Цудзи [2], поскольку использовали шкалу эффективных температур и ускорений сил тяжести также Цудзи [2, 3]. В расчеты синтетического спектра включены атомные линии из списка Куруча и Пейтремана [4]. Силы осцилляторов для линий дублета лития взяты из [5]. Учитывалось влияние полос молекул TiO, CN, ŽrO (см. табл. 1, столбец 1). Данные о силах осцилляторов f_0 молекулярных полос и потенциалах диссоциации D_0 со ссылками на источник приведены также в табл. 1, столбцах 2 и 3. В расчеты включены молекулярные линии TiO по данным Филлипса [11] и линии CN из [12]. Длины волн вращательных линий ZrO с учетом изотопного состава были рассчитаны по фор-

Таблица 1					
Молекула, полосы	f ₀ источник	D ₀ источник			
ТіО, _ї -система	0.36	6.88			
(1.0)	[6]	[2]			
(5.3)					
(4.2)		1.1.1			
СN красная система	12.				
(7.3)	$6.4 \cdot 10^{-3}$	7.9			
(10,5)	[7]	[8]			
(6.2)	1. 1	152 - 10 C			
(12.7)					
(5,1)	1.	1			
ZrO, 7-система	0.34	7.89			
(0.1)	[9]	[10]			
(1.2)					
(2.3)					
(3.4)		-			

мулам и константам [13]. При этом было принято земное соотношение содержания изотопов.

 ${}^{90}Zr:{}^{91}Zr:{}^{92}Zr:{}^{91}Zr = 51.46:11:23:17.11:17.40$ [14].

Общее число молекулярных линий, включенных в расчеты синтетического спектра, составило ~ 800 с учетом изотопных линий ZrO. Затем были рассчитаны синтетические спектры для следующих значений отношения содержания лития в звезде к содержанию его на Солнце [15]:

 $Li_{\star}/Li_{\odot} = 5.2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01, 0.0.$

При этом принимался солнечный химический состав для остальных влементов по данным [15]. Ионизационное и диссоциативное равновесие в модельных атмосферах и ковффициенты непрерывного поглощения рассчитывались по программам Цымбала [16]. Линии представлялись фойгтовским профилем с постоянной затухания $\alpha = 0.001$ и микротурбулентной скоростью 3 км/с, соответствующей гигантам спектральных классов К5—М3 и принятых в моделях Цудзи [2]. Возможные отклонения $\pm 1-2$ км/с, как показали расчеты, для анализируемых звезд не существенны. Для описания инструментального расширения вместе с макротурбулентностью использовался гауссовский профиль.

Спектрограммы исследуемых звезд (см. табл. 2) были получены на 2.6-м телескопе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Дисперсия спектров 6 А/мм. Они записаны в почернениях на цифровом микрофотометре ГАО АН УССР и обработаны на ЭВМ с помощью комплекса программ автоматической обработки.

N6	Звезда	-	Модель T _{eff} /lg g	[Li]			
		Спектр. класс		настоящая работа	[17]	[18]	[19]
1	γ Sge	K5 ⁺ III	4009/1.5	-0.7	-1.50	-1.0	1.20
2.	3 And	MO III	3800/1.0	-1.3	-1.69		-1.48
3	õ Oph	M1 III	3800/1.0	-1.7	-1.85	1.1	<-2.19
4	2 Cet	M2 III	3800/1.0	-2.0	-1.15		
5	3 Aqr	M3 III	3600/0.5	0.0	-0.32	-0.3	
6	3 Vir	M3 III	3500/0.5	-1.0	-0.72	-1.0	-0.91
7	29 Cap	M3 III	3600/0.5	+0.3	+0.15	+0.7	
8	μ Gem	M3 III	3600/0.5	-1.3	34.5		-1.26

Содержание лития для каждой звезды оценивалось из сравнения интенсивностей линий рассчитанного спектра для разных содержаний лития и наблюдаемого. При этом мы полагали, что местоположение континуума в наблюдаемых спектрах строго определяется рассчитанным синтетическим спектром, т. е. выбранной моделью, числом учтенных атомных и молекулярных линий и их константами: потенциалами возбуждения диссоциации, а также силами осцилляторов. Расчеты синтетических спектров подтвердили, что основной вклад в поглощение исследуемой области 1. 6700-6710 А вносит молекула ТіО (см. рис. 1, точечную линию). Вклад молекул С и ZIO менее значителен (см. рис. 2). Однако при точном анализе оценок содержания лития его нужно учитывать, причем вклад молекулы для звезд ранних М-подклассов, а ZrO для поздних СМ существенен М-подклассов. Достаточно уверенные оценки содержания лития можно получить для звезд, где содержание его сравнимо с солнечным или более. При очень малом содержании лития, [Li] = -2, -3, определение его неуверенно. Это можно видеть из рассмотрения рис. 1 и 3. В целом, рассчитанные нами синтетические спектры хорошо описывают наблюдаемые спектры звезд класов К5-М3, с эффективными температурами 4000°, 3800°, 3600°. Примеры совмещения наблюдаемых спектров с рассчитанными представлены на рис. 1, 3-6. Некоторое несовпадение теоретических и

267

Таблица 2



Рис. 1. Сопоставление наблюдательного спектра ЗАqr M3 III (сплошная линия) с синтетическими спектрами для M 3:00/0.5 и Li_e/Li_C = 1 и 0.5 (точечная линия только TiO, пунктириая линия — TiO. CN, ZrO и атомные линии FeI, VI).



Рис. 2. Сравнение синтетических спектров для М 3660/0.5 к $Li_*/Li_{\odot} = 1$. Пунктирная линия — TiO + атомные линия. Сплошная линия — Ti J, CN, ZrO + атомные линия. СОДЕРЖАНИЕ ЛИТИЯ В АТМОСФЕРАХ М-ГИГАНТОВ



Рис. 3. Сопоставление наблюдательного спектра о Oph M1 III (сплошная линия) с синтетическими спектрами для М 3800/1.0 и Li_o/Li_C=1; 0.05; 0.02 (пунктиряме линии).



λ(Å)

Рис. 4. Наблюдательный спектр у Sge K5 III (сплошная линия) и синтетический спектр для М 4000/1.5 и Li_{*}/Li_O = 0.2 (пунктирная линия).

269

наблюдаемых спектров можно отнестя за счет ошибок в силах осцилляторов атомных линий. Для более холодных звезд, т. е. T. < 3400, модели Цудзи [2] и Джонсона [1] не описывают наблюдаемых спектров.



Рис. 5. Наблюдаемый спектр 2 Сеt М2 III (сплошная линия) и синтетический спектр для М 3800/1.0, Li_{*}/Li₋ = 0.01 (пунктирная линия).

В результате совмещения наблюдаемых и синтетических спектров, рассчитанных для разных значений отношения · Li //Lio, были сделаны оценки содержания лития для всех исследуемых звезд. Они приведены в табл. 2, столбце 5. Шесть звезд из восьми показывают дефицит лития. Содержание лития в атмосфере звезды 3 Аqг совпадает с солнечным и только для 29 Сар имеет место избыток лития. Полученные результаты были сравнены с уже опубликованными. В табл. 2, столбце 6 приведены оценки содержания лития, полученные методом кривой роста из работы Мерчант [17]; в столбце 7—результаты работы Орлова и Шавриной [18]. Сравнение оценок содержания лития показывает, что наши результаты в основном выше. Это можно объяснить занижением непрерывного спектра в работах [17, 18]. Учет влияния блендирующих линий и возможность привязки к модельному уровню непрерывного спектра, что имело место в настоящей работе, позволило получить более уверенные по сравнению с методом кривой роста оценки содержания лития.

СОДЕРЖАНИЕ ЛИТИЯ В АТМОСФЕРАХ М-ГИГАНТОВ

Когда данная работа была выполнена и готовилась к печати, появилась статья [19], где оценки содержания лития для ряда М-звезд сделаны закже методом синтетического спектра. Хотя в ней методика построения



Рис. 6. Наблюдаемые спектры звезд δ Vir M3 III и 29 Сар M3 III (сплошные линия) и синтетические спектры для M 3600/0.5, Li_{*}/Li_O=0.1 в случае δ Vir, и Li_{*}/Li_O = 2 в случае 29 Сар (пунктирные ленен).

синтетического спектра в некоторых деталях существенно отличается ог нашей, оценки содержания лития показали хорошее согласие (см. табл. 2, столбец 8).

Крымская астрофивическая обсерватория Главная астрономическая обсерватория АН УССР 271

М. Е. БОЯРЧУК И ДР.

LI ABUNDANCE IN THE ATMOSPHERES OF M-GIANTS TAKING INTO ACCOUNT MOLECULAR ABSORPTION

M. E. BOYAR(HUK, A. V. SHAVRINA, L. A. YAKOVINA

The Li abundance in the atmospheres of eight giants of K5-M3 spectral class was determined taking into account molecular absorption. The spectrogrammes of the stars in question were obtained on the 2.6-m telescope of the Crimean Astrophysical Observatory with dispersion 6 A/mm. In order to consider the molecular absorption, the synthetic spectra in the region λ 6700-6710 A were calculated according to T. Tsuji model. They comprise all atomic lines in this region and a number of lines of molecular bands of TiO, CN and ZrO. The atmospheres of six out of eight stars show the Li underabundance, in the atmosphere of 3 Aqr M3 III the Li abundance is like that on the Sun and in 29 Cap M3 III—the Li is overabundant.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. H. R. Johnson, A. P. Bernat, B. Krupp, Ap. J. Suppl, ser., 42, 504, 1980.
- 2. T. Tsuji, Astron. Astrophys., 62, 29, 1978.
- 3. T. Tsujt, Astron. Astrophys., 99, 48, 1981.
- 4. R. L. Karucz, E. A. Peytremann, Spec. Rept. Smitsonian Astrophys. Obs., No. 362, 1, 1975.
- 5. W. L. Wiese, M. W. Smith, B. M. Glennon, Nat. Stand. Rof. Data sor., Nat. Bur. Stand., No. 4, 1, 1966.
- 6. B. M. Krupp, J. G. Collins, H. R. Johnson, Ap. J., 219, 963, 1978.
- 7. N. Grevesse, A. J. Sauval, Astron. Astrophys., 27, 29, 1973.
- 8. J. O. Arnold, R. W. Micholls, J. Quant. Spectroscop. Radiat. Transfer, 12, 1435, 1972.
- 9. Л. А. Кузнецова, Н. Е. Кузьменко, Ю. Я. Кузяков, Ю. А. Пластинин, Вероятности сптических переходов двухатомных молекул, Наука, М., 1980.
- 10. E. Murad, D. L. Hildenbrant, J. Chem. Phys. 63, 1135, 1975.
- 11. J. G. Phillips, Ap. J., Suppl. ser., 28 313, 1973.
- S. P. Davis, J. G. Phillips, The Red System (A²Π-X²Σ) of the CN Molecule, L'niv. California press, Berkeley and Los Angeles, 1963.
- 13. J. G. Phillips, S. P. Davis, Ap. J., 229, 867, 1979.
- 14. Ч. Таунс, А. Шавлов, Радноспектроскопия, ИЛ, М., 1959.
- 15. O. Enguold, Pbys. Scripta, 16, 48, 1977.
- 16. В. В. Цымбал, Кандидатская диссертация, Одесса, 1980.
- 17. A. E. Merchant, Ap. J., 147, 587, 1967.
- 18. М. Я. Орлов, А. В. Шаврина, Астрометрия и астрофизика (в печати).
- 19. R. E. Incc, D. L. Lambert, Ap. J., 256, 189, 1982.