

## Исследование содержания иттрия в атмосфере Солнца

Б. Т. Бабий, М. Б. Гирняк

Из анализа солнечных линий нейтральных и однократно ионизованных атомов иттрия определено его содержание в атмосфере Солнца, равное  $2.33 \pm 0.08$  в логарифмической шкале, что согласуется с метеоритными данными.

*INVESTIGATION OF YTTRIUM ABUNDANCE IN THE SOLAR ATMOSPHERE, by Babij B. T., Girnyak M. B.*— Yttrium abundance in the solar atmosphere ( $2.33 \pm 0.08$  dex) is determined from the analysis of the solar lines of neutral and singly ionized atoms, that is in agreement with meteorite data.

Одно из последних исследований содержания иттрия в атмосфере Солнца проведено Ханнафордом и др. [13] в 1982 г. с использованием новых значений сил осцилляторов. Содержание иттрия, по их данным, составляет  $A_Y = 2.24 \pm 0.03$ . Во введении к работе [13] обращено внимание на большой разброс значений содержания иттрия в атмосфере Солнца, полученных разными исследователями (табл. 1).

Таблица 1. Содержание иттрия в солнечной атмосфере

Год	Автор, литературный источник	Содержание иттрия	Примечание
1960	Голдберг и др. [12]	1.4	Атомы, $EP=0$
		3.1	Атомы, $EP=1.4$
1965	Аллер [6]	3.2	
1968	Гревесс и др. [18]	2.33	Нейтр. атомы, $EP=0$
		4.19	Нейтр. атомы, $EP=1.4$
		2.42	Ионы
1968	Крюгер и др. [16]	1.43	>
1974	Аллен, Коули [5]	2.00	>
1976	Росс, Аллер [19]	2.10	Сводное значение
1977	Хеуге, Энгвольд [14]	2.10	> >
1982	Ханнафорд и др. [13]	2.24	Атомы, ионы

Нами проведено переопределение содержания иттрия. При этом исходили из данных работы [13]. Определения велись по программе расчета профилей фраунгоферовых линий, разработанной во Львовском университете [2], основанной на гипотезе локального термодинамического равновесия (ЛТР).

Кроме того, исследованы влияния модели атмосферы, системы сил осцилляторов и постоянной затухания на величину содержания иттрия. Выполнен сравнительный анализ результатов расчетов для отдельных фраунгоферовых линий, полученных по нашей программе и программе, разработанной Ханнафордом и др. [13].

Из всех линий, приведенных в работе [13], для анализа содержания иттрия нами отобраны только слабые линии с эквивалентными ширинами  $W \leq 2.0$  пм. Цель такого отбора — свести к минимуму возможные отклонения от ЛТР, а также влияние постоянной затухания. Содержания иттрия определялись по эквивалентным ширинам линий (табл. 2). Расчеты проводились по моделям Холвегера — Мюллер (HOLMU) [15], Вернаццы и др. [20], а также Гарвардско-Смитсоновской (HSRA) [11]. Согласно работе [13], для каждой линии принимался весовой фактор, соответствующий общей возможной случайной ошибке сил осцилляторов и эквивалентных ширин. Микротурбулентная скорость принималась равной 0.85 км/с [3, 4, 7, 8]. Постоянная затухания  $\gamma$  подбиралась по профилю линии  $Y II \lambda 540.278$  нм [1] и оказалась равной 5%. Мы согласны с выводами авторов [7, 8] о незначительном влиянии постоянной затухания на определяемые по слабым линиям содержания. В табл. 2 приведены характеристики линий.

Найденные по отдельным линиям значения содержания иттрия не обнаруживают зависимости от потенциала возбуждения  $EP$ , эквивалентной ширины  $W$ , силы осцилляторов  $lg gf$ . Наиболее правдоподобные содержания иттрия определялись простым

усреднением по линиям с учетом соответствующих весов. Полученные результаты сведены в табл. 3.

Нами также проведены расчеты содержания иттрия по модели HSRA. В этом случае все приведенные в табл. 3 результаты необходимо уменьшить на 0.02. При использовании сил осцилляторов Куруца и Пейтремана [17] данные табл. 3 следует увеличить на 0.25 для ионов и на 0.5 для атомов. При этом среднеквадратичная ошибка возрастет до 0.3. По-видимому, значения сил осцилляторов [17] для атомов иттрия содержат большие систематические и случайные ошибки.

Таблица 2 Исходные данные и результаты определения содержания иттрия

$\lambda$ , нм	Потенциал возбуждения, эВ	$W$ , пм [9]	$\lg gf$ [13]	Вес	Содержание по модели		
					VAL-80	HOLMU	HOLMU [13]
Нейтральный иттрий							
412.830	0.07	0.83	0.38	1	1.81	1.81	1.98
414.284	0.00	1.40	0.21	1	2.17	2.18	2.34
464.372	0.00	0.38	-0.45	1	2.15	2.15	2.32
467.485	0.07	0.24	-0.46	1	2.02	2.02	2.19
552.754	1.40	0.21	0.40	1	2.34	2.35	2.47
560.634	1.43	0.19	-0.56	1	2.27	2.28	2.40
622.257	0.00	0.031	-1.70	1	2.17	2.14	2.34
643.502	0.07	0.125	-0.82	1	1.96	1.93	2.13
Ионизованный иттрий							
412.491	0.41	2.01	-1.50	3	2.22	2.27	2.22
498.213	1.03	1.20	-1.29	2	2.24	2.29	2.22
511.912	0.99	1.40	-1.36	3	2.34	2.39	2.32
528.982	1.03	0.42	-1.85	3	2.28	2.32	2.25
532.080	1.08	0.41	-1.95	1	2.41	2.46	2.38
547.338	1.74	0.73	-1.02	3	2.35	2.40	2.34
554.461	1.74	0.63	-1.09	2	2.36	2.40	2.33
554.601	1.75	0.64	-1.40	1	2.38	2.42	2.36
572.888	1.84	0.34	-1.12	3	2.18	2.22	2.16
661.374	1.75	0.45	-1.11	1	2.17	2.21	2.15
683.248	1.75	0.08	-1.94	1	2.22	2.27	2.21
726.418	1.85	0.33	-1.50	1	2.47	2.52	2.45
788.191	1.84	1.45	-0.57	1	2.20	2.25	2.20

Таблица 3. Содержание иттрия в солнечной атмосфере для различных моделей в логарифмической шкале

Атомы, ионы	VAL-80	HOLMU	HOLMU [13]
Y I (8 линий)	$2.11 \pm 0.16$	$2.27 \pm 0.16$	$2.18 \pm 0.16$
Y I (6 линий)	$2.19 \pm 0.10$	$2.34 \pm 0.10$	$2.25 \pm 0.09$
Y II	$2.29 \pm 0.08$	$2.33 \pm 0.08$	$2.27 \pm 0.08$

Из табл. 3 видно, что полученные нами по модели HOLMU содержания иттрия по отдельным линиям систематически выше значений Ханнафорда и др. [13] на  $0.06 \pm \pm 0.008$  для ионов и 0.09 для атомов. Что касается расчетов по модели VAL-80, то наши результаты отличаются несколько иначе: для ионов значения почти совпадают, для атомов они занижены на 0.15 dex. Трудно судить о причинах таких расхождений, так как нам не известны подробности расчетов в работе [13].

Интересно отметить, что если в табл. 2 (для нейтрального иттрия) отбросить первую и восьмую линии (содержания занижены в полтора раза), то результаты определения содержания иттрия по атомам и ионам для модели HOLMU практически совпадают. Как следует из табл. 3, это не наблюдается для модели VAL-80. Такое обстоятельство является косвенным доказательством преимущества модели HOLMU по сравнению с моделью VAL-80. Все перечисленные аргументы приводят к наиболее

правдоподобному значению содержания иттрия в атмосфере Солнца:  $2.33 \pm 0.08$ . Полученное содержание совпадает с метеоритным [10, 19]. В заключение отметим, что аномалий содержания по линиям с различными потенциалами возбуждения, на которые указывалось в работах [12, 18], нами не обнаружено.

1. *Бабий Б. Т.* Исследование слабых фраунгоферовых линий солнечного спектра // Солнеч. данные.— 1963.— № 5.— С. 63—71.
2. *Бабий Б. Т., Кордуба Б. М., Рикалюк Р. Е.* Теоретический расчет фраунгоферовых линий в невозмущенной фотосфере Солнца // Циркуляр. Львов. астрон. обсерватории.— 1978.— № 53.— С. 32—41.
3. *Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В.* Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. Определение сил осцилляторов Со I по эквивалентным ширинам фраунгоферовых линий с учетом их сверхтонкой структуры // Астрон. журн.— 1983.— 60, вып. 4.— С. 758—762.
4. *Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В.* Силы осцилляторов линий элементов группы железа // Кинематика и физика небес. тел.— 1985.— 1, № 4.— С. 3—8.
5. *Allen M., Cowley Ch.* The solar yttrium abundance // *Astron. and Astrophys.*— 1974.— 36, N 2.— P. 315—316.
6. *Aller L.* The abundance of the elements in the solar atmosphere // *Adv. Astron. and Astrophys.*— 1965.— 3.— P. 1—25.
7. *Blackwell D. E., Shallis M. J.* Interpretation of the solar spectrum 300—900 nm. II. Fe I lines of excitation potential 0.00—1.01 ev: use of new oscillator strengths of 0.5 per cent accuracy // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1979.— 186, N 3.— P. 673—684.
8. *Blackwell D. E., Shallis M. J., Simmons G. J.* Oscillator strengths for Fe II lines derived from the solar spectrum // *Astron. and Astrophys.*— 1980.— 81, N 3.— P. 340—343.
9. *Delboille L., Neven L., Roland C.* Photometric atlas of the solar spectrum from  $\lambda$  3000 to  $\lambda$  10000.— Liege, 1973.
10. *Explosive nucleosynthesis* / Ed. P. N. Schramm, W. D. Arnett.— Austin: Texas Univ. press, 1973.— 301 p.
11. *Gingerich O., Noyes R., Kalkofen W., Cuny Y.* The Harvard-Smithsonian reference atmosphere // *Solar Phys.*— 1971.— 18, N 3.— P. 347—365.
12. *Goldberg L., Müller E., Aller L.* The abundance of the elements in the solar atmosphere // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*— 1960.— 5, N 45.— P. 1—138.
13. *Hannaford P., Lowe R., Grevesse N. et al.* Oscillator strengths for Y I and Y II and solar abundance of yttrium // *Astrophys. J.*— 1982.— 261, N 2.— P. 736—746.
14. *Hauge O., Engvold O.* Compilation of solar abundance data.— Blindern; Oslo, 1977.— 23 p.— (Report / Inst. Theor. Astrophys.; N 49).
15. *Holweger H., Müller E.* The photospheric barium spectrum: solar abundance and collision broadening of Ba II by hydrogen // *Solar Phys.*— 1974.— 39, N 1.— P. 19—30.
16. *Krueger T. H., Aller L. H., Czyzak S.* Yttrium abundance in the Sun // *Astrophys. J.*— 1968.— 152, N 3.— P. 765—775.
17. *Kurucz R. L., Peytremann E.* A table of semiempirical gf-values // *Smithson. Astrophys. Spec. Rep.*— 1975.— N 362.— P. 1—1219.
18. *Origin and distribution of elements* / Ed. L. H. Ahrens.— Oxford; Pergamon press, 1968.— 177 p.
19. *Ross J. E., Aller L.* The chemical composition of the Sun // *Science.*— 1976.— 191, N 4233.— P. 1223—1229.
20. *Vernazza J. E., Avrett E. H., Loeser R.* Structure of the solar chromosphere. III. Models of EUV brightness components of the quiet Sun // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*— 1981.— 45, N 4.— P. 635—725.

Астрон. обсерватория  
Львов. ун-та им. Ивана Франко,  
Львов

Поступила в редакцию 02.12.85,  
после доработки 05.02.86