

УДК 523.9-36

О содержании мышьяка в атмосфере Солнца

В. Ф. Гопка¹, А. В. Ющенко¹, А. В. Шаврина²,
С. М. Андриевский³, Л. В. Чернышева⁴

¹Астрономическая обсерватория Одесского национального университета,
65014 Одесса, парк Шевченко

²Главная астрономическая обсерватория НАН Украины,
03680, ГСП Киев-127, Голосиив

³Одесский национальный университет,
65014 Одесса, парк Шевченко

⁴Физико-технический институт,
194021 Россия, Санкт-Петербург К-21, ул. Политехническая 26

На основании сравнения теоретического спектра со спектральными атласами Солнца отождествлены две линии поглощения нейтрального мышьяка: $\lambda\lambda$ 299.0984 и 303.2846 нм. По спектральному атласу центра диска Солнца и модели атмосферы Холвегера и Мюллер методом синтетического спектра определено содержание мышьяка в атмосфере Солнца: $\lg N = 2.33$. Это значение близко к содержанию мышьяка в метеоритном веществе (2.37). Проверены длины волн и значения gf молекулярных линий в диапазонах спектра $\lambda\lambda$ 299.0871—299.1041 и 303.2762—303.2952 нм.

ПРО ВМІСТ МИШЬЯКУ В АТМОСФЕРІ СОНЦЯ, Гопка В. Ф., Ющенко А. В., Шаврина А. В., Андриевський С. М., Чернишова Л. В. — На основі порівняння теоретичного спектру зі спектральними атласами Сонця ототожнено дві лінії поглинання нейтрального мишьяку: $\lambda\lambda$ 299.0984 і 303.2846 нм. За спектральним атласом центра диска Сонця і моделлю атмосфери Холвегера і Мюллер методом синтетичного спектру визначено вміст мишьяку в атмосфері Сонця: $\lg N = 2.33$. Це значення близьке до вмісту мишьяку в метеоритній речовині (2.37). Перевірені довжини хвиль та значення gf молекулярних ліній в діапазонах спектру $\lambda\lambda$ 299.0871—299.1041 і 303.2762—303.2952 нм.

THE SOLAR ARSENIC ABUNDANCE, by Gopka V. F., Yushchenko A. V., Shavrina A. V., Andrievsky S. M., Chernysheva L. V. — Comparison of the solar spectrum with calculations of the synthetic spectrum of the solar atmosphere in a wide spectral region permitted us to identify two absorption arsenic lines: $\lambda\lambda$ 299.0984 nm and 303.2846 nm. The solar arsenic abundance as determined by the spectrum synthesis method: $\lg N = 2.33$ using the spectral atlas of the solar disk center and the solar atmosphere model by Holweger and Muller. Wavelengths and oscillator strengths of molecular lines in the wavelength regions $\lambda\lambda$ 299.0871—299.1041 and 303.2762—303.2952 nm were checked. The solar arsenic abundance is in good agreement with meteoritic arsenic abundance (2.37).

ВВЕДЕНИЕ

К 1976 г. было известно содержание 67 химических элементов в атмосфере Солнца [26, 34]. В последующие два десятилетия это количество увеличилось до 70 [6, 10, 22, 24]. Повысилась также точность определения содержания ($\lg N$) многих элементов. В основном значения содержания химических элементов в атмосфере Солнца очень близки к их содержанию в метеоритном веществе. Ошибки определения содержаний элементов в солнечной атмосфере намного больше, чем для метеоритного вещества, вследствие чего небольшие различия содержаний тонут в ошибках оценок для фотосферы [25]. Эти ошибки возникают в основном вследствие неопределенностей в силах осцилляторов. В частности, одна из наиболее полных компиляций величин gf спектральных линий тяжелых элементов — файл BELLHEAVY [29] — содержит 6062 линии (16 % от объема файла), для которых силы осцилляторов опубликованы в 1962 г. [15] и с тех пор не пересматривались.

Несмотря на ряд систематических ошибок, отмеченных, например, в работе [7], монография [15] остается наиболее полным и однородным списком определений экспериментальных значений сил осцилляторов спектральных линий для тяжелых элементов. Силы осцилляторов отдельных линий мышьяка в далекой УФ-области определялись, например, в работах [14, 18]. Никаких существенных систематических погрешностей в шкале сил осцилляторов [15] для мышьяка не обнаружено.

Согласно последнему обзору солнечного химического состава [25] остаются неизвестными содержания в атмосфере Солнца для следующих элементов r -, s -процессов: As, Se, Te, Cs, Ta, Re, Hg, Bi, U. Причина тому — отсутствие неблендированных идентифицируемых линий в наиболее исследованном оптическом диапазоне спектра. Некоторые из этих элементов обнаружены в спектрах атмосфер звезд различных типов. Содержания теллура и рения в атмосфере Проциона, близкого по своим характеристикам к Солнцу, были определены в работах [7, 19, 38], содержание урана в атмосфере Арктур — в работе [4]. Содержание ртути исследовалось для ряда пекулярных звезд главной последовательности, в частности для ртутно-марганцевых звезд, в которых содержание ртути на несколько порядков выше, чем в Солнце [8].

Целью настоящей работы является поиск линий поглощения мышьяка в наблюдаемом спектре Солнца на основании сравнения с теоретическим спектром и определение его содержания. Используются видимый и ближний УФ-участки спектра ($\lambda > 296$ нм), где уровень континуума определяется увереннее, чем в более коротковолновой области.

МЕТОДИКА

В файле BELLHEAVY [29] содержится 110 линий мышьяка; 65 из них сосредоточены в коротковолновой части спектра $\lambda < 400$ нм. В области спектра λ 400—750 нм содержится 19 линий As I. Значения gf для 25 линий в диапазоне длин волн λ 193.6—311.9 нм определены Корлиссом и Бозманом [15]. Силы осцилляторов остальных линий мышьяка грубо оценены на основании соотношения интенсивностей линий в таблицах мультиплетов и не могут быть использованы для определения содержаний.

В качестве наблюдательного материала использовался фурье-спектр диска Солнца Куруца и др. [30], и атлас спектра центра диска Солнца Дельбуя и др. [17]. Спектральное разрешение этих атласов в УФ-части спектра составляет 348000 и 1250000 соответственно. Для уверенного

отождествления линий нами был рассчитан синтетический спектр для модели атмосферы Солнца [28] в диапазоне длин волн λ 296—1218 нм с шагом 0.001 нм. Список значений gf был составлен из атомарных линий, содержащихся в файлах BELLIGHT, BELLHEAVY, NBS и списка линий элементов группы железа [29]. Для некоторых элементов и ионов использовалась одна из последних версий списка спектральных линий [31]. Сведения о содержании химических элементов в атмосфере Солнца брались из работы [22]. Расчеты синтетического спектра выполнялись по модифицированной нами программе Цымбала [36] с включением ряда подпрограмм из работы Гадуна и Шеминовой [2].

В результате сравнения синтетического спектра с наблюдаемым спектром Солнца для анализа отобраны две линии поглощения нейтрального мышьяка: λ 299.0984 и 303.2846 нм. Линия λ 299.0984 нм находится за пределами спектра [17].

Содержание мышьяка по отобранным двум линиям определялось методом синтетического спектра по программе Куруца SYNTHE [29]. Разработанное нами программное обеспечение позволило аппроксимировать наблюдаемый спектр синтетическим в автоматическом или полуавтоматическом режимах [37]. При работе в автоматическом режиме, как и в аналогичной программе Каули [16], максимальное изменение логарифма силы осциллятора ограничивалось величиной 2.0 dex. Учитывались все атомные и молекулярные линии базы данных [29], имеющие лабораторные длины волн и силы осцилляторов. Это позволило существенно улучшить представление наблюдаемого спектра. Для атомных линий использована база данных VALD [33]. Расчеты проводились с использованием моделей атмосферы Солнца Холвегера и Мюллер [27] и Куруца [29].

В расчетах синтетического спектра использовались четыре механизма уширения спектральных линий: микротурбуленция, макротурбуленция, вращение и уширение, вызванное инструментальным профилем. Микротурбулентная скорость принималась равной 0.9 км/с [3] и не зависящей от оптической глубины. Для моделирования макротурбулентности использовалась гауссова модель распределения скоростей [20]. Макротурбулентная скорость принималась равной 1.8 км/с и также не зависящей от оптической глубины. Это значение было принято в работе Гуртовенко и Костыка [5] для высот в атмосфере Солнца, соответствующих области формирования слабых линий. Изменение этого параметра с глубиной в атмосфере Солнца не превышает 0.2 км/с. Скорость вращения Солнца принималась равной 2 км/с [9] и учитывалась только при обработке данных [30]. Уширение за счет инструментального профиля моделировалось сверткой с гауссианой, соответствующей спектральному разрешению наблюдательного материала.

СИЛЫ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Как уже упоминалось, трудности определения содержания химических элементов в атмосфере Солнца связаны в основном с недостаточно высокой точностью сил осцилляторов. Коррекция абсолютных шкал сил осцилляторов привела к существенным изменениям значений содержания многих элементов [24, рис. 1]. Мышьяк в периодической системе элементов расположен вблизи нижней границы четвертого периода. Как было показано Ющенко и Гопкой [7], для элементов, расположенных вблизи границ периодов, ошибки шкалы величин gf [15] могут достигать наибольших значений. В связи с этим мы предприняли попытку определения теоретических сил осцилляторов исследуемых линий мышьяка с использованием метода Хартри—Фока.

Таблица 1. Величины $lg gf$ для линий мышьяка

λ , нм	Переход	Конфигурация	$lg gf$	$lg gf$ [15]	$\Delta lg gf$
299.0984	$^2P_{1/2} - ^4P_{3/2}$	$4p^3 - 4p^25s^1$	-0.54	-0.90	+0.36
303.2846	$^2P_{3/2} - ^4P_{3/2}$	$4p^3 - 4p^25s^1$	-0.24	-0.45	+0.21

Для расчетов теоретических сил осцилляторов в приближении Хартри—Фока нами использовался комплекс программ «Атом» [1], позволяющий рассчитать ряд характеристик атомов и ионов, в том числе и силы осцилляторов. В работах [11—13] по той же методике для некоторых переходов атомов лития, неона, стронция и бария с надежными экспериментальными значениями сил осцилляторов проведены тестовые расчеты сил осцилляторов в форме длины и в форме скорости, и рассчитаны силы осцилляторов для ряда линий иттербия, лютеция, технеция.

Для атома мышьяка, который принадлежит к числу атомов с достраиваемой p -оболочкой, рассчитаны значения сил осцилляторов ($lg gf$) в форме скорости. В табл. 1 вычисленные нами значения $lg gf$ сравниваются с данными [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 и 2 приводятся результаты аппроксимации наблюдаемого спектра Солнца синтетическим спектром. В табл. 2 дается список линий, включенных в расчетный спектр, вклад линии в коэффициент поглощения, остаточ-

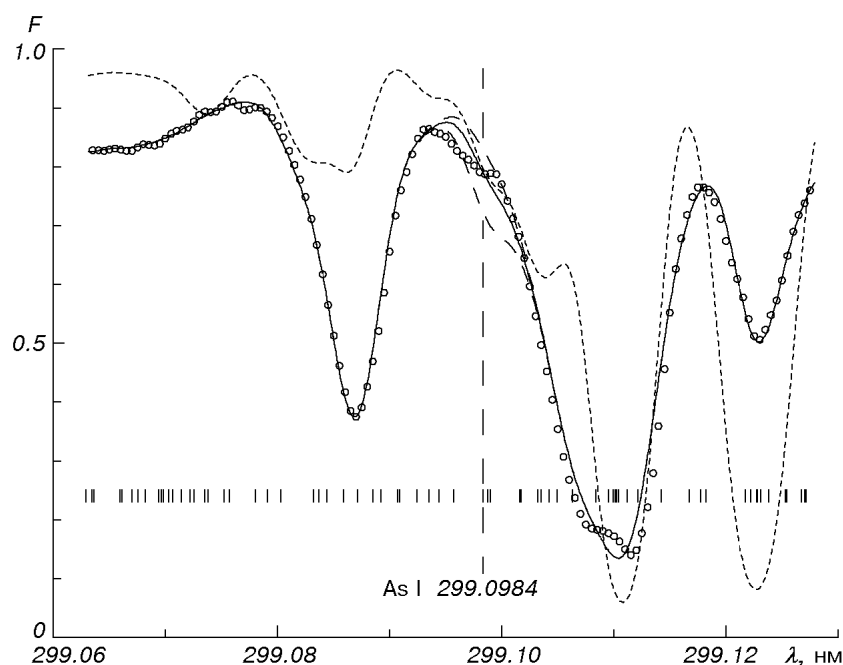


Рис. 1. Спектр диска Солнца вблизи линии мышьяка As I λ 299.0984 нм: кружки — по наблюдениям [30]; сплошная линия — синтетический спектр; длинные штрихи — синтетические спектры, вычисленные при содержании мышьяка, отличающемся на 0.3 dex от значения наилучшей аппроксимации; короткие штрихи — синтетический спектр, соответствующий нулевым поправкам к силам осцилляторов. Вертикальными штрихами отмечены положения спектральных линий, учитываемых при вычислении синтетического спектра

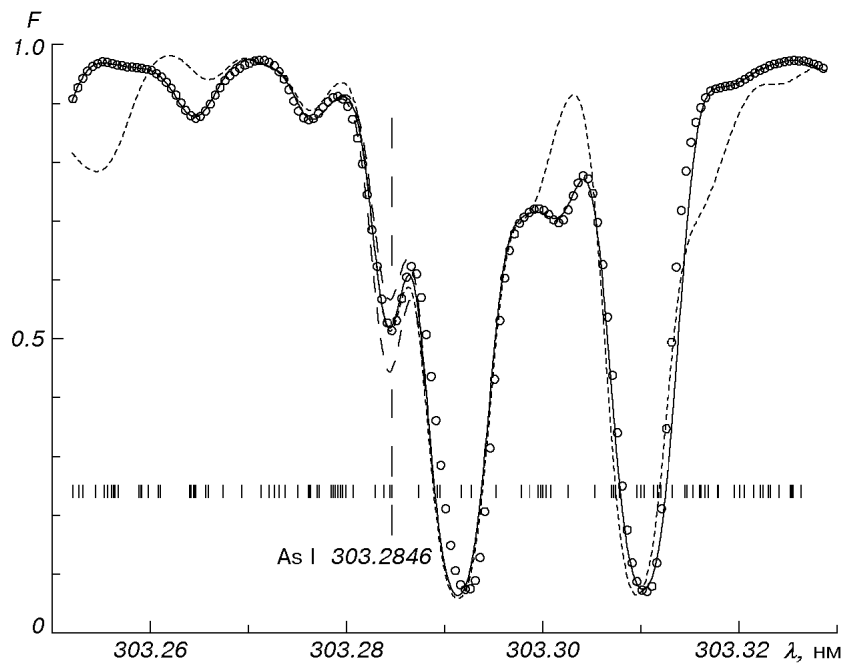


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для линии мышьяка λ 303.2846 нм; кружки — спектр центра диска Солнца [17]

ная интенсивность r линии в синтетическом несглаженном спектре, значения $\lg gf$ и поправок $\Delta \lg gf$, необходимых для воспроизведения наблюдаемого спектра при применении модели [27].

В табл. 3 приводятся содержания мышьяка в атмосфере Солнца, определенные для двух моделей атмосферы с использованием двух наблюдаемых спектров. Используются значения gf , вычисленные нами, а также из работы [15]. Здесь и далее содержания элементов приводятся в шкале $\lg N(\text{H}) = 12.00$.

Видно, что обе отождествленные нами линии мышьяка вносят значительный вклад в коэффициент поглощения на соответствующих длинах волн, но не являются чистыми. Первая линия блендируется линиями OH и Ti I, вторая — линией Gd II. Для обеих атомарных линий, Ti I и Gd II, использованы данные последней версии VALD [33]. Длины волн и значения gf молекулярных линий OH из списка Куруца [29], которые вносят значительный вклад в поглощение в области линии As I λ 299.0984 нм, были проверены с помощью данных лабораторного анализа [32]. Для аппроксимации наблюдаемого спектра синтетическим мы изменяли значение gf линий мышьяка, что эквивалентно изменению его содержания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как правило, полученные содержания химических элементов в атмосферах звезд непосредственно или косвенно сравнивают с их содержанием в атмосфере Солнца. Поэтому важно детально изучить химический состав атмосферы Солнца, в том числе содержание мышьяка.

Оценки содержания мышьяка (табл. 3), сделанные в рамках разных моделей Солнца ([27] и [29]), различаются до 0.2 dex. Модель [29] обычно используется тогда, когда необходима однородная сетка моделей исследуе-

Таблица 2. Данные о линиях, использовавшихся при вычислении синтетического спектра вблизи линий мышьяка $\lambda\lambda$ 299.0984 и 303.2846 нм

Идентификация	λ , нм	Вклад линии, %	g , %	lggf	Δ lggf
Ce II	299.0871	99	48	-0.16	0.95
SiO	299.0885	18	67	-1.01	2.00
SiO	299.0892	58	84	-0.76	2.00
C	299.0907	11	86	-1.91	2.00
SiO	299.0909	17	85	-0.64	2.00
V II	299.0924	49	83	-1.39	1.47
V I	299.0935	57	87	-0.76	0.00
SiO	299.0944	1	93	-0.72	0.00
SiO	299.0957	1	60	-0.82	0.00
As I	299.0984	83	58	-0.54	-0.32
OH	299.0987	15	58	-2.15	0.00
SiO	299.0987	1	59	0.03	0.00
Ti I	299.0990	13	71	-1.73	0.00
SiO	299.1016	1	71	-1.45	0.00
SiO	299.1016	1	71	0.29	0.00
SiO	299.1017	1	53	-0.60	0.00
SiO	299.1032	1	51	-0.34	0.00
OH	299.1035	93	52	-2.31	0.00
OH	299.1042	4	47	-1.67	0.97
SiO	299.1049	7	13	-0.38	2.00
Nb II	303.2762	95	81	0.04	0.06
SiO	303.2763	1	87	-0.58	0.00
SiO	303.2772	1	92	-0.17	0.00
SiO	303.2784	1	91	0.36	0.05
SiO	303.2786	6	91	-0.13	0.00
Fe I	303.2788	21	90	-5.18	0.30
Re I	303.2791	1	90	-0.58	0.00
Sn I	303.2794	50	90	-0.32	0.35
SiO	303.2796	1	93	-0.73	0.00
Os I	303.2807	42	34	-0.74	0.38
SiO	303.2838	1	30	-0.71	0.00
Gd II	303.2844	82	32	0.14	0.00
As I	303.2846	51	76	-0.24	-0.25
SiO	303.2873	1	8	0.23	0.00
SiO	303.2892	1	6	-1.34	0.00
SiO	303.2895	1	4	0.37	0.00
Cr II	303.2917	99	5	-1.03	-0.10
V II	303.2917	1	4	-3.42	0.00
Mn II	303.2927	1	66	-3.14	0.00
SiO	303.2952	1	68	-0.42	0.00

Таблица 3. Содержание мышьяка в атмосфере Солнца

λ , нм	Наблюдаемый спектр	$g^{\dagger*}$		gf [15]	
		Модель [27]	Модель [29]	Модель [27]	Модель [29]
299.0984	[30]	2.05	1.84	2.41	2.20
303.2846	[30]	2.26	2.22	2.47	2.43
303.2846	[17]	2.12	2.17	2.33	2.39

* — настоящая работа

ных звезд и звезды-стандарта. Для количественных исследований солнечной фотосферы по фраунгоферовым линиям используется модель [27]. Именно она рекомендована как лучшая при ЛТР-расчетах [35]. Поэтому дальше анализируются результаты, полученные с моделью Солнца HOLMU.

При использовании вычисленных нами в приближении Хартри—Фока сил осцилляторов содержание мышьяка в атмосфере Солнца равно 2.12 и 2.16 для спектров [17] и [30] соответственно. Это на 0.25 dex и на 0.21 dex ниже содержания мышьяка в метеоритном веществе (2.37 ± 0.02) [25].

Следует отметить, что содержания галлия и германия, непосредственно предшествующих мышьяку по атомному номеру, ниже, чем в метеоритном веществе, на 0.25 dex и 0.22 dex соответственно. Согласно работе [21] различие солнечного и метеоритного содержаний для германия является значимым (3.41 ± 0.14 и 3.63 ± 0.04 соответственно).

При использовании сил осцилляторов [15] содержание мышьяка в атмосфере Солнца составило 2.33 и 2.44 для спектров [17] и [30] соответственно, т. е. практически равно содержанию мышьяка в метеоритном веществе.

Как видно из табл. 3, использование различного спектрального материала, теоретических и экспериментальных сил осцилляторов, различных моделей атмосферы Солнца вносит неопределенность в оценку содержания мышьяка, достигающую 0.2 dex. Мы остановились на конкретном значении, полученном нами по атласу [17], спектральное разрешение которого выше, для линии As λ 303.2846 нм, которая меньше блендируется другими линиями. Таким образом, содержание мышьяка в атмосфере Солнца равно $\lg N = 2.33 \pm 0.2$.

Авторы благодарят Р. И. Костыка за обсуждение результатов, Р. Дельбуя и Ж. Роланда за предоставление копии атласа на магнитном носителе, В. В. Цымбала, Я. В. Павленко и А. С. Гадуна за содействие в ходе работы.

1. Амусья М. Я., Чернышева Л. В. Автоматизированная система исследования структуры атомов. Л.: Наука, 1983.—180 с.
2. Гадун А. С., Шеминова В. А. SPANSAT: программа для расчета профилей линий поглощения в звездных атмосферах. — Киев, 1988.—37 с.—(Препринт / АН УССР. Ин-т теор. физики; ИТФ-88-87Р).
3. Гопка В. Ф., Ющенко А. В. Исследование содержаний железа и легких лантаноидов в атмосфере Арктур и Альдебарана // Письма в Астрон. журн.—1994.—20, № 6.—С. 416—422.
4. Гопка В. Ф., Ющенко А. В., Шаврина А. В., Переход А. В. Исследование содержания тория и урана в атмосфере Арктур // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 5.—С. 447—454.
5. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. — Киев: Наук. думка, 1989.—198 с.
6. Рикалюк Р. Е. Содержание химических элементов в солнечной атмосфере. Состояние на 1986 год. — Киев, 1987.—21 с.—(Рукопись деп. в ВИНТИ 25.10.1987; № 8589-B87).
7. Ющенко А. В., Гопка В. Ф. О содержании тяжелых элементов в атмосфере Проциона // Письма в Астрон. журн.—1996.—22, № 6.—С. 460—470.
8. Ющенко А. В., Гопка В. Ф., Хохлова В. Л. и др. Химический состав звезд «близнецов» — компонентов равной массы CP SB2 системы 66 Эридаана // Письма в Астрон. журн.—1999.—25, № 7.—С. 530—544.
9. Allen C. W. Astrophysical quantities. — London: Athlone press, 1973.—320 p.
10. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements — meteoritic and solar // Geochim. et Cosmochim. Acta.—1989.—53, N 1.—P. 197—214.
11. Andrievsky S. M., Chernysheva L. V. Oscillator strength and photoionization cross section for Tc I and Tc II // Proc. IAU Coll. 146 «Molecular opacities in the Stellar environvent» (Poster session). — Copenhagen: Denmark, 1994.—P. 8—9.
12. Andrievsky S. M., Chernysheva L. V., Doikov D. N., Yushchenko A. V. Oscillator strengths and photoionization cross sections for heavy atoms. Yb I and Yb II // Proc. IAU Coll. 146 «Molecular opacities in the Stellar environvent» (Poster session). — Copenhagen: Denmark, 1993.—P. 9—11.
13. Andrievsky S. M., Chernysheva L. V., Yushchenko A. V. Oscillator strengths for heavy atoms. Lu I // Newsletter on Analysis of Astronomical Spectra.—1994.—N 20.—P. 25—26.
14. Bengtsson C. J., Berzins U., Larsson J., Svanberg S. Determination of radiative lifetimes in neutral arsenic using time-resolved laser spectroscopy in the VUV region // Astron. and Astrophys.—1992.—263, N 1-2.—P. 440—442.
15. Corliss C. H., Bozman W. R. Experimental Transition Probabilities for spectral lines of seventy elements // NBS monograph.—1962.—53.—562 p.

16. Cowley C. R. Line and element identification in CP stars: History, techniques, results and prospectus // Laboratory and Astronomical High Resolution Spectra. ASP Conf. Ser.—1995.—81.—P. 467—481.
17. Delbouille L., Roland G., Neven L. Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3000 to λ 10000. — Liege: Institut d'Astrophysique de l'Universite' de Liege.—1973.
18. Ganas P. S. Oscillator strengths for As I-III // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—2000.—143, N 3.—P. 491—493.
19. Gopka V. F., Yushchenko A. V., Dulapchi I. F. The abundances of Thorium and Tellurium in Procyon // Laboratory and Astronomical High Resolution Spectra, ASP Conf. Ser.—1995.—81.—P. 568—569.
20. Gray D. F. The observation and analysis of stellar photospheres. — New York: Wiley, 1976.—484 p.
21. Grevesse N., Meyer J.-P. Germanium and lead: significant differences between meteoritic and photospheric abundances // Proc. 19th Cosmic Ray Conf. — LaJolla, CA, 1985.—3.—P. 5—8.
22. Grevesse N., Noels R. Solar system abundances of the elements // Origin and Evolution of the Elements / Eds N. Prantzos, E. Vangioni-Flam, M. Casse. — Cambgidge: Univ. Press, 1993.—P. 15—25.
23. Grevesse N., Noels R. Atomic data and the Spectrum of the Solar photosphere // Physica Scripta.—1993.—47.—P. 133—138.
24. Grevesse N., Noels R., Sauval A. J. Atomic and molecular data in Solar Photospheric Spectroscopy // Laboratory and Astronomical High Resolution Spectra, ASP Conf. Ser.—1995.—81.—P. 74—87.
25. Grevesse N., Sauval A. J. Standard Solar Composition // Space Sci. Rev.—1998.—85.—P. 161—174.
26. Hauge O., Engvold O. Compilation of solar abundance data // Rep. Inst. of theoretical astrophysics.—1977.—N 49.—23 p.
27. Holweger H., Muller E. A. The photospheric barium spectrum — Solar abundance and collision broadening of Ba II lines by hydrogen // Solar Phys.—1974.—39, N 1.—P. 19—30.
28. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1979.—40, N 1.—P. 1—340.
29. Kurucz R. L. An Atomic and Molecular Data Bank for Stellar Spectroscopy // Laboratory and Astronomical High Resolution Spectra, ASP Conf. Ser.—1995.—81.—P. 583—588.
30. Kurucz R. L., Furenlid I., Brault I., Testerman L. // Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm. Sunspot. — Cambridge, 1984.
31. Kurucz R. L., Peytremann E. A table of semiempirical *gf* values // Smithsonian Astrophys. Observ. Spec. Rept.—1975.—N 362.—P. 401.
32. Moore E. A., Richards W. G. A reanalysis of the A2S \pm -X2Pi system of OH // Physica Scripta.—1971.—3, N 5.—P. 223—230.
33. Piskunov N. E., Kupka F., Ryabchikova T. A., et al. VALD: The Vienna Atomic Line Data Base // Astron. and Astrophys. Suppl.—1995.—112, N 3.—P. 525—535.
34. Ross J. E., Aller L. H. The chemical composition of the Sun // Science.—1976.—191, N 4233.—P. 1223—1229.
35. Rutten R. J., Kostik R. I. Empirical NLTE analysis of solar spectral lines. III: Iron lines versus LTE model of the photosphere // Astron. and Astrophys.—1982.—115, N 1.—P. 105—114.
36. Tsybal V. STARSF: a software system for the analysis of the spectra of normal stars // Model Atmospheres and Spectrum Synthesis: ASP Conf. Ser.—1996.—108.—P. 198—199.
37. Yushchenko A. V. URAN: a software system for the analysis of stellar spectra // Proc. of the 29th conf. on variable star research. Brno, Czech Republic, November 5-9, 1997. — Brno, 1998.—P. 202—204.
38. Yushchenko A. V., Gopka V. F. Abundances of Rhenium and Tellurium in Procyon // Astron. and Astrophys. Transactions.—1996.—10, N 4.—P. 307—310.

Поступила в редакцию 15.02.01