

УДК 523.744

Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержания химических элементов.

Цирконий

Э. А. Гуртовенко, Р. И. Костык, Т. В. Орлова

По данным наблюдений эквивалентных ширин и центральных глубин линий поглощения в спектре Солнца определены силы осцилляторов 19 линий нейтрального (верхний предел ошибки $\varepsilon = \pm 0.078$ dex) и 10 линий ионизованного ($\varepsilon = \pm 0.081$ dex) циркония. На основе анализа разностей сил осцилляторов, найденных по эквивалентным ширинам и центральным глубинам, сделан вывод, что исследуемые линии циркония не подвержены существенному влиянию сверхтонкой структуры.

THE ESTABLISHMENT OF INTERNALLY CONSISTENT SOLAR SCALES OF OSCILLATOR STRENGTHS AND ABUNDANCES OF CHEMICAL ELEMENTS. ZIRCONIUM, by Gurtovenko E. A., Kostyk R. I., Orlova T. V.—Oscillator strengths for 19 Zr I lines (r. m. s. error ± 0.078 dex) and 10 Zr II lines (± 0.081 dex) are determined from observed equivalent widths and central depths of solar Fraunhofer lines. The analysis of the differences of oscillator strengths derived from equivalent widths and from central depths leads to the conclusion that the lines under study have no essential hyperfine structure.

В 1980—1981 гг. авторами разработан метод определения сил осцилляторов спектральных линий разных химических элементов на основе данных наблюдений центральных глубин (d) и эквивалентных ширин (W) фраунгоферовых линий, принятой фотосферной модели с оптимальными характеристиками поля нетепловых скоростей и постоянной затухания, наиболее вероятной величиной содержания соответствующего химического элемента.

Результаты выполненных в последующие годы работ по определению сил осцилляторов линий химических элементов группы железа, резюмированы в статье [1]. Начиная с данной работы, мы будем публиковать солнечные силы осцилляторов тех линий остальных химических элементов, которые не блендированы в спектре Солнца и могут представлять астрофизический интерес. При этом все большее внимание будем уделять анализу разностей $\Delta = \lg gf(W) - \lg gf(d)$ как величине, дающей важную информацию о строении солнечной фотосферы и условиях образования фраунгоферовых линий [6, 8].

Из Льежского атласа солнечного спектра [5] нами отобраны все неблендированные линии нейтрального и ионизованного циркония в диапазоне длин волн $\lambda\lambda$ 400.0—800.0 нм. Их центральные глубины и эквивалентные ширины определены по отношению к локальному континууму. Перечень линий приведен в табл. 1 и 2. В расчетах использованы фотосферная модель Холвегера — Мюллер [7], параметры поля скоростей (в центре солнечного диска) — $v_{\text{микро}} = 0.9$ км·с⁻¹, $v_{\text{макро}} = 1.75$ км·с⁻¹, постоянная затухания $\gamma = 1.5$ % . Содержание циркония $\lg A(\text{Zr}) = 2.56$ принято по данным работы Бьемона и др. [4] (получено по линиям Zr II).

Результаты определения сил осцилляторов приведены в 5-м и 6-м столбцах табл. 1 и 2. В последнем столбце даны разности (Δ) сил осцилляторов, вычисленных по эквивалентным ширинам и центральному глубинам.

Обращает на себя внимание большое значение средней разности $\bar{\Delta} = n^{-1} \sum_i [\lg gf_i(W) - \lg gf_i(d)]$ как для линий нейтрального ($\bar{\Delta} = +0.090 \pm 0.016$), так и ионизованного циркония ($\bar{\Delta} = +0.094 \pm 0.022$)

по сравнению с линиями Ti I, Cr I, Ni I, Fe I ($\bar{\Delta} = 0.04 - 0.06$) [3]. Величина ее, несомненно, выходит за пределы точности нашего метода. Объяснить ее влиянием сверхтонкой структуры трудно, поскольку для слабых линий, расширенных сверхтонкой структурой, величина $\Delta = \lg gf(W) - \lg gf(d)$ должна уменьшаться с ростом эквивалентной ширины. В данном случае мы имеем обратную зависимость: Δ возрастает при переходе от очень слабых к умеренным линиям. Сказанное иллюстрирует рис. 1, на котором нанесены значения Δ для линий Zr I, Zr II, усредненные в небольших диапазонах эквивалентных ширин, а

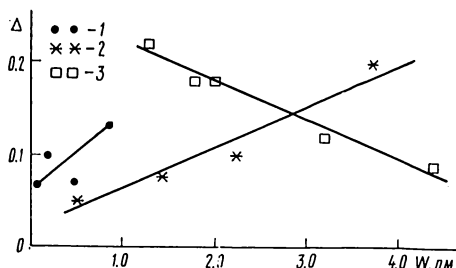


Рис. 1. Зависимость разности $\Delta = \lg gf(W) - \lg gf(d)$ от эквивалентной ширины. Точки — линии нейтрального циркония, крестики — ионизованного. Квадраты — линии нейтрального кобальта, подверженные влиянию сверхтонкой структуры

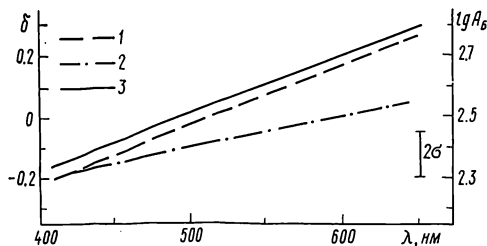


Рис. 2. Зависимость разностей $\delta_1 = \lg gf(W) - \lg gf_B$ (пунктир) и $\delta_2 = \lg gf(d) - \lg gf_B$ (точки) от длины волны для линий нейтрального циркония. Сплошная линия — содержание циркония $\lg A_B$ по данным работы Бьемона и др.

также для линий нейтрального кобальта [2], подверженных влиянию сверхтонкой структуры. К сожалению, исследуемых линий Zr I и Zr II для уверенного статистического анализа мало. Нет также сильных линий, которые позволили бы проследить характер этой зависимости в большом диапазоне эквивалентных ширин. Не представляется возможным изучение зависимости Δ и от потенциала возбуждения нижнего уровня EPL, поскольку EPL всех линий малы и близки по величине.

Средняя квадратичная разность $\left[\sum_i \Delta_i^2 / (n - 1) \right]^{1/2}$ для линий нейтрального циркония равна ± 0.110 , а для линий Zr II — составляет ± 0.115 .

Таблица 1. Силы осцилляторов избранных линий нейтрального циркония

λ , нм	EPL, эВ	d , %	W , нм	$\lg gf(W)$	$\lg gf(d)$	$\Delta = \lg gf(W) - \lg gf(d)$
402.893	0.52	0.006	0.029	-1.28	-1.22	-0.06
407.270	0.69	0.096	0.52	+0.17	+0.16	0.01
454.223	0.63	0.056	0.45	-1.01	-0.15	0.14
468.781	0.73	0.135	0.96	+0.43	+0.37	0.06
471.008	0.69	0.104	0.87	+0.34	+0.20	0.14
473.945	0.65	0.075	0.53	+0.06	0.00	0.06
477.231	0.62	0.061	0.44	-0.06	-0.12	0.06
478.494	0.69	0.011	0.077	-0.77	-0.82	0.05
480.589	0.69	0.012	0.11	-0.62	-0.78	0.16
481.506	0.65	0.017	0.12	-0.62	-0.66	0.04
481.564	0.60	0.041	0.27	-0.30	-0.32	0.02
482.806	0.62	0.012	0.10	-0.73	-0.85	0.12
538.513	0.52	0.021	0.18	-0.61	-0.70	0.11
573.571	0.00	0.063	0.72	-0.52	-0.71	0.19
612.747	0.15	0.019	0.19	-1.01	-1.11	0.10
613.457	0.00	0.016	0.20	-1.14	-1.34	0.20
614.046	0.52	0.006	0.065	-1.12	-1.22	0.10
614.318	0.07	0.015	0.17	-1.14	-1.26	0.12
544.572	1.00	0.008	0.090	-0.53	-0.62	0.09

Соответственно верхний предел погрешности ε определяемых значений сил осцилляторов (при условии $\varepsilon_d = \varepsilon_w$) равен ± 0.078 (Zr I) и ± 0.081 (Zr II). Эти величины больше ошибок, определяющих точность метода [1, 3, 6], и значительная их доля определяется систематической составляющей разности Δ . Понижение точности полученных результатов в данном случае связано, по-видимому, с неучтенными особенностями образования линий Zr I и Zr II, вероятнее всего, с эффектами отклонения от локального термодинамического равновесия. Однако не исключена возможность и большой случайной погрешности. Этот вопрос требует дополнительного рассмотрения.

Представляет интерес сравнить результаты наших вычислений $\lg gf(W)$ и $\lg gf(d)$ с экспериментальными данными $\lg gf_B$ Бьемонона и др. [4]. Зависимость разностей $\delta_1 = \lg gf(W) - \lg gf_B$ и $\delta_2 = \lg gf(d) - \lg gf_B$ от длины волны для линий нейтрального циркония показана на рис. 2. Чтобы не загромождать рисунок, приводятся лишь сглаженные кривые. Трудно дать однозначный ответ, почему эти разности увеличиваются с длиной волны. Возможны две причины: 1) полученные нами значения сил осцилляторов имеют систематическую погрешность, обусловленную спецификой образования линий циркония в атмосфере Солнца; 2) систематической погрешностью обладают значения gf , полученные Бьемоном и др. На вторую причину указывает построенная нами по данным работы Бьемонона и др. зависимость $\lg A(\lambda)$: как видно из рис. 2, содержание циркония с длиной волны увеличивается. Подобную зависимость $\delta(\lambda)$ для линий ионизованного циркония проследить трудно из-за малого диапазона длин волн, в котором заключены сравниваемые линии. Также нельзя изучить зависимость разностей δ от потенциала возбуждения для линий Zr I и Zr II и зависимость δ от эквивалентной ширины для линий нейтрального циркония. Можно лишь заметить тенденцию увеличения разностей δ_1 с эквивалентной шириной для линий Zr II.

Величина средней разности $\lg gf(W) - \lg gf_B$ для линий ионизованного циркония практически равна нулю ($\delta_1 = +0.007$), как и следовало ожидать, поскольку для определения сил осцилляторов мы использовали содержание циркония $\lg A = 2.56$, полученное Бьемоном и др. с их же силами осцилляторов. Для линий нейтрального циркония $\delta_1 = +0.049$. Такая относительно большая величина средней разности объясняется тем, что эквивалентные ширины очень слабых линий Zr I, измеренные Бьемоном и др., систематически больше наших. Недавно Руттен и ван дер Залм [9] очень тщательно определили эквивалентные ширины неблендированных в спектре Солнца линий, особое внимание уделив проведению уровня непрерывного спектра. Из сравнения W трех линий ($\lambda\lambda$ 480.5, 538.5, 614.3 нм) следует, что наши измерения отличаются от результатов [9] в среднем на 5%, а Бьемонона и др. — на 27%.

Таблица 2. Силы осцилляторов избранных линий ионизованного циркония

λ , нм	EPL , эВ	d , %	W , нм	$\lg gf(W)$	$\lg gf(d)$	$\Delta = \lg gf(W) - \lg gf(d)$
403.409	0.80	0.097	0.56	-1.60	-1.64	0.04
405.033	0.71	0.367	2.30	-0.92	-1.00	0.08
408.573	0.93	0.065	0.36	-1.69	-1.70	0.01
420.898	0.71	0.612	4.40	-0.36	-0.51	0.15
431.732	0.71	0.195	1.30	-1.29	-1.37	0.08
444.300	1.49	0.283	2.05	-0.31	-0.42	0.11
461.392	0.97	0.324	2.95	-0.56	-0.81	0.25
462.906	2.49	0.041	0.27	-0.44	-0.47	0.03
496.229	0.97	0.058	0.54	-1.59	-1.71	0.12
511.228	1.66	0.105	0.84	-0.70	-0.77	0.07

Резюмируем вышеизложенное. Внутренняя погрешность солнечных сил осцилляторов линий циркония не превышает 0.081 dex. Значительная часть этой погрешности имеет, по-видимому, систематический характер, обусловленный спецификой образования линий поглощения циркония в атмосфере Солнца. Содержание циркония, полученное Бьемом и др. по линиям Zr I, вероятнее всего, завышено на 0.05 dex, в связи с тем, что ими использовались завышенные эквивалентные ширины этих линий.

1. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных сил осцилляторов и содержание химических элементов. Кобальт // *Астрон. журн.*—1983.—60, № 4.—С. 758—762.
2. 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.
3. Костык Р. И. Силы осцилляторов линий титана, хрома, железа и никеля.— Киев, 1982.—36 с.— (Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-82-33Р).
4. Biemont E., Grevesse N., Hannaford P., Lowe R. M. Oscillator strengths for Zr I and Zr II, and a new determination of the solar abundance of zirconium // *Astrophys. J.*—1981.—248, N 2.—P. 867—873.
5. Delbouille L., Roland C., Neven L. Photometric atlas of the solar spectrum from λ 3000 to λ 10 000 Å.—Liege: Univ. Press, 1973.
6. Gurtovenko E. A., Kostik R. I. On the establishment of internally consistent solar scales of oscillator strengths and abundances of chemical elements. III. // *Astron. and Astrophys., Suppl. Ser.*—1982.—47.—P. 193—197.
7. Holweger H., Muller E. A. The photographic barium spectrum: solar abundance and collision of Ba II lines by hydrogen // *Solar Phys.*—1974.—39, N 1.—P. 19—30.
8. Rutten R. J., Kostik R. I. Empirical NLTE analyses of solar spectral lines. III // *Astron. and Astrophys.*—1982.—115, N 1.—P. 104—114.
9. Rutten R. J., van der Zalm E. B. J. Revision of solar equivalent widths, Fe I oscillator strengths and the solar iron abundance // *Astron. and Astrophys., Suppl. Ser.*—1984.—55.—P. 143—161.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 01.04.85,
после доработки 05.05.85

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 520.16

ПРОЗРАЧНОСТЬ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ НА г. МАЙДАНАК ПО НАБЛЮДЕНИЯМ 1977—1985 гг. I. СРЕДНИЕ ЗА НОЧЬ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЗРАЧНОСТИ / Видьмаченко А. П., Довгопол А. Н., Клименко В. М., Шавловский В. И. (Рукопись деп. в ВИНТИ, № 6261—85 Ден.)

В 1977—1985 гг. в ГАО АН УССР параллельно с абсолютной фотометрией планет и спутников выполнялась программа систематических однородных измерений прозрачности земной атмосферы на г. Майданак. Для определения значений r_λ использовался метод наблюдений пары звезд на разных зенитных расстояниях, позволяющий компенсировать возможные медленные изменения чувствительности аппаратуры. Наблюдения проводились на 60-см рефлекторе с помощью электрофотометра, работающего в режиме счета фотонов. Отдельные участки спектрального интервала $\lambda\lambda$ 0.316—0.792 мкм вырезались с помощью 15 интерференционных светофильтров с полушириной пропускания $\Delta\lambda/\lambda \sim 2\%$. В течение каждой ночи проводилось до 16 измерений пары экстинкционных звезд. Всего для наблюдений было использовано 115 ночей. Для каждой ночи методом наименьших квадратов были определены средние за ночь значения r_λ , которые приводятся в виде таблиц. Полученные данные допускают дальнейшую статистическую обработку и позволяют сделать определенные выводы о временных вариациях прозрачности на г. Майданак.