

УДК 523.94-355

## Покровный эффект в спектре центра диска Солнца.

I.  $\lambda\lambda$  360—685 нм

С. Н. Осипов

Покровные коэффициенты  $\eta_\lambda$  определены с помощью Льежского атласа спектра центра солнечного диска. При построении уровня квазиконтинуума для исключения ошибок, вносимых локальными возмущениями шкалы интенсивностей атласа, применялся метод, основанный на переводе условной шкалы интенсивностей в абсолютные энергетические единицы. Точность полученных значений  $\eta_\lambda$  составляет  $\pm 0.003$ . Результаты сравниваются с данными других авторов.

*THE LINE-BLANKETING IN THE SPECTRUM OF THE SOLAR DISK CENTRE, by Osipov S. N.*—The line blanketing  $\eta_\lambda$  is determined using the Liege photometric atlas of the solar spectrum. To eliminate the errors introduced by the local distortion of the Atlas intensity scale, the method based on the transformation of conventional intensity scale into the absolute energy units was used. The accuracy of values  $\eta_\lambda$  obtained is  $\pm 0.003$ . The results are compared with the published data.

**Введение.** Покровный эффект, т. е. поглощение непрерывной радиации фотосферы в частотах фраунгоферовых линий, тесно связан с некоторыми важнейшими вопросами физики Солнца и звезд. К таким проблемам, в первую очередь, относятся построение физических моделей солнечной атмосферы и создание спектрофотометрического стандарта солнечного излучения.

На протяжении последних 60 лет неоднократно предпринимались попытки получить точные значения покровных коэффициентов

$$\eta_\lambda = 1 - \frac{\int_{\lambda-\Delta\lambda/2}^{\lambda+\Delta\lambda/2} I_\lambda^h d\lambda}{\int_{\lambda-\Delta\lambda/2}^{\lambda+\Delta\lambda/2} I_\lambda^k d\lambda}, \quad (1)$$

где  $I_\lambda^k$  и  $I_\lambda^h$  — интенсивности излучения соответственно непрерывного и интегрального (с учетом линий поглощения) спектров.

Используемые в настоящее время при исследованиях подобного рода методы можно условно разделить на две группы: 1. Выполненные на основе обработки специальных наблюдений протяженных участков спектра Солнца [1, 10, 11]. Недостатком такого метода является невысокое спектральное разрешение — следствие высокой скорости записи спектра или фотографирования с низкой дисперсией. Поэтому проведенный уровень непрерывного спектра занижался. 2. Выполненные на основе атласов солнечного спектра [3, 4, 9, 12, 13]. Основным недостатком этого метода — изменение масштаба условной шкалы интенсивностей с длиной волны как следствие построения атласов из отдельных высококачественных наблюдений сравнительно небольших спектральных участков. Хоутгаст и Намба [6] попытались исправить локальные возмущения шкалы интенсивностей Геттингенского и Утрехтского атласов в области  $\lambda\lambda$  298.8—408.7 нм. Для этого они согласовали прокалиброванные в абсолютных единицах измеренные ими интенсивности в окнах Хоутгаста и соответствующие им интенсивности в атласах. Однако вследствие низкой точности абсолютных измерений и невысокого качества Утрехтского и особенно Геттингенского атласов данные Хоутгаста — Намбы имеют низкую точность.

Особый интерес представляет работа [7], выполненная на основе еще неопубликованного атласа обсерватории Китт-Пик. Этот атлас создан с помощью методов Фурье-спектрометрии, и поэтому локальные возмущения шкалы интенсивностей в нем незначительны.

В данной работе определены покровные коэффициенты  $\eta_\lambda$  с помощью Льежского атласа [5] в области  $\lambda\lambda$  360—685 нм. При построении уровня квазиконтинуума для исключения ошибок, вносимых локальными

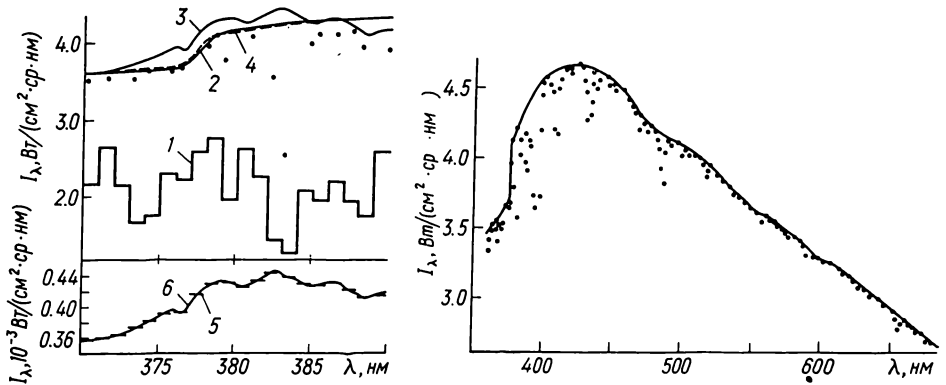


Рис. 1. К построению калибровочной функции: 1 — интенсивность интегрального спектра  $I_\lambda^{abc}$ ; 2 — уровень квазиконтинуума по Льежскому атласу; 3 — уровень «10 000» Льежского атласа; 4 — уровень квазиконтинуума по атласу обсерватории Китт-Пик; 5 — значения  $k_\lambda$ ; 6 — калибровочная функция  $k_\lambda$ ; точками обозначены пики интенсивности

Рис. 2. Квазиконтинуум как огибающая максимальных пиков интенсивности

ми возмущениями шкалы интенсивностей атласа, применялся метод, базирующийся на переводе условной шкалы интенсивностей в абсолютные энергетические единицы.

**Метод исследований и результаты.** Как вспомогательный материал использовались наиболее современные данные [8] о распределении энергии в спектре центра диска Солнца в абсолютных единицах  $I_\lambda^{abc}$ , приведенные для спектральных интервалов 1—2 нм. При определении коэффициентов перехода от условных единиц атласа к абсолютным единицам сравнивались интенсивности излучения в абсолютных единицах  $I_\lambda^{abc}$  и рассчитанные нами интенсивности

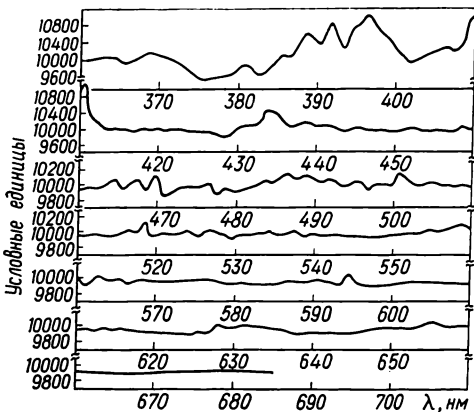


Рис. 3. Уровень квазиконтинуума в условных единицах Льежского атласа

для этих же интервалов в условных единицах атласа  $I_\lambda^{усл}$ . Коэффициент перехода для каждого из интервалов определялся по формуле

$$\bar{k}_\lambda = (I_\lambda^{abc} / I_\lambda^{усл}) (1 - \eta_\lambda^{тел}), \quad (2)$$

где  $\eta_\lambda^{тел}$  — покровный эффект теллурических линий.

Для учета влияния теллурических линий мы использовали данные из работ [3, 4]. Допущенные в них ошибки проведения уровня непрерывного спектра незначительны в тех областях, где имеются теллурические линии.

Поскольку значения  $\bar{k}_\lambda$  дискретно распределены с длиной волны, то для перевода в абсолютные единицы каждой точки атласа была построена калибровочная функция  $k_\lambda$  (рис. 1), обладающая следующими свойствами: 1) среднее значение  $k_\lambda$  в интервалах [8] равно  $\bar{k}_\lambda$ ; 2) кривая  $k_\lambda$  представляет собой частный вид сплайн-функции (т. е. самой гладкой из функций, интерполирующих заданные точки).

При помощи функции  $k_\lambda$  мы перешли от условных единиц атласа к абсолютным, определили максимальные пики интенсивности и построили квазиконтинуум как огибающую этих пиков. На рис. 2 видно, что

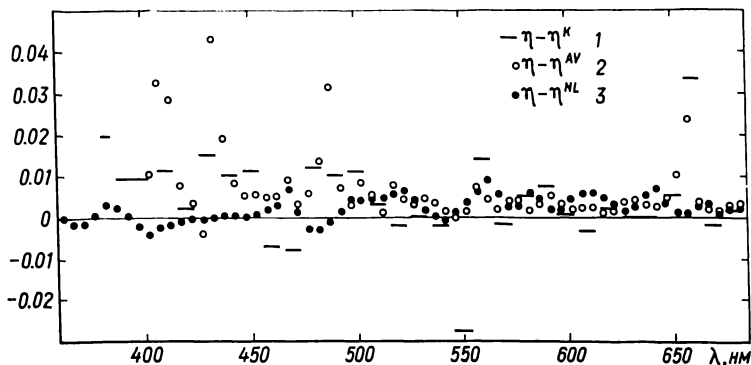


Рис. 4. Сравнение наших результатов и данных других авторов: 1 — [1]; 2 — [3, 4]; 3 — [7]

при построении квазиконтинуума в области  $\lambda > 450$  нм, где он достаточно хорошо совпадает с истинным континуумом, допускались волны в непрерывном спектре. О существовании таких волн свидетельствуют результаты исследований других авторов [2].

На рис. 1 для сравнения приведен уровень квазиконтинуума, определенный в работе [7] в абсолютных единицах (кривая (4)). Даже для области  $\lambda \lambda$  370—390 нм, где проведение такого уровня наиболее проблематично, совпадение обоих квазиконтинуумов достаточно хорошее. Анализ кривой  $k_\lambda$  подтверждает наличие локальных возмущений условной шкалы интенсивностей атласа. Для сравнения на рис. 1 представлен также уровень «10 000» Льежского атласа, используемый некоторыми авторами [13] в качестве непрерывного спектра. Условный уровень в атласе, соответствующий уровню полученного нами в абсолютных единицах квазиконтинуума (рис. 3), хорошо иллюстрирует «условность» шкалы Льежского атласа.

Покровный эффект определялся по формуле

$$\eta_\lambda = (I_\lambda^K - I_\lambda^H) / I_\lambda^K - \eta_\lambda^{\text{тел}}, \quad (3)$$

где  $I_\lambda^K$  и  $I_\lambda^H$  — интенсивности соответственно непрерывного и наблюдаемого (континуум плюс солнечные и теллурические линии) спектров. В таблице приведены значения  $\eta_\lambda$  для интервалов шириной 5 нм.

Оценим ошибку используемого метода. Из выражения (3) следует

$$d\eta_\lambda = -\frac{dI_\lambda^K}{I_\lambda^K} + \frac{I_\lambda^H}{I_\lambda^K} dI_\lambda^K - d\eta_\lambda^{\text{тел}} \approx -\frac{dI_\lambda^K}{I_\lambda^K} + \frac{dI_\lambda^K}{I_\lambda^K} - d\eta_\lambda^{\text{тел}}. \quad (4)$$

Обозначим  $\epsilon_n$ ,  $\epsilon_k$  и  $\epsilon_t$  — ошибки соответственно в определении уровней наблюдаемого и непрерывного спектров, а также коэффициентов  $\eta_\lambda^{\text{тел}}$ . Величина  $\epsilon_n$ , по видимому, не превышает ошибки значений  $I_\lambda^{\text{обс}}$ , которые по данным [8] имеют достаточно высокую точность ( $\sim 0.2\%$ ). Ошибка  $\epsilon_k$  в основном определяется существованием некоторой неопределенности ( $\sim 0.2\%$ ) при переходе от значений  $\bar{k}_\lambda$  к функции  $k_\lambda$ . Ошибки  $\epsilon_t$ , как правило, в ис-

следуемой области незначительны и могут быть ощутимы лишь на участке  $\lambda\lambda$  625—635 нм (0.2—0.3 %). При этом общая вероятная ошибка составит  $\approx 0.003$ , а максимальная ошибка — 0.007. Косвенным подтверждением незначительности ошибок наших результатов является хорошее их совпадение с современными данными [7] (рис. 4). Существует

Покровные коэффициенты  $\eta_\lambda$  для спектральных интервалов шириной 5 нм

$\bar{\lambda}$ , нм	$\eta_\lambda$	$\bar{\lambda}$ , нм	$\eta_\lambda$	$\bar{\lambda}$ , нм	$\eta_\lambda$	$\bar{\lambda}$ , нм	$\eta_\lambda$
362.5	0.419	447.5	0.165	527.5	0.111	607.5	0.025
367.5	0.301	452.5	0.131	532.5	0.081	612.5	0.044
372.5	0.426	457.5	0.120	537.5	0.069	617.5	0.047
377.5	0.396	462.5	0.107	542.5	0.083	622.5	0.035
382.5	0.540	467.5	0.115	547.5	0.060	627.5	0.028
387.5	0.524	472.5	0.108	552.5	0.056	632.5	0.036
392.5	0.532	477.5	0.088	557.5	0.073	637.5	0.025
397.5	0.447	482.5	0.086	562.5	0.061	642.5	0.035
402.5	0.245	487.5	0.183	567.5	0.056	647.5	0.039
407.5	0.273	492.5	0.111	572.5	0.041	652.5	0.019
412.5	0.265	497.5	0.102	577.5	0.040	657.5	0.098
417.5	0.257	502.5	0.134	582.5	0.019	662.5	0.019
422.5	0.261	507.5	0.096	587.5	0.058	667.5	0.016
427.5	0.314	512.5	0.102	592.5	0.026	672.5	0.019
432.5	0.347	517.5	0.172	597.5	0.023	677.5	0.017
437.5	0.246	522.5	0.104	602.5	0.030	682.5	0.020
442.5	0.189						

вующее расхождение ( $\pm 0.01$ ), по-видимому, можно объяснить тем, что, кроме приведенной ошибки наших результатов, данные [7] также обладают ошибкой, которая авторами не оценивалась.

Автор благодарен Э. А. Гуртовенко за обсуждение и Р. Дж. Руттену за предоставление Льежского атласа на магнитной ленте.

1. Козак П. П. Фотоэлектрическое изучение величины поглощения непрерывного спектра фраунгоферовыми линиями // Солнеч. данные.—1962.— № 11.— С. 54—56.
2. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная.— М.: Наука, 1972.—288 с.
3. Aldeberg A., Virdefjord B. Line blocking in the solar spectrum // Astron. and Astrophys.—1975.—45, N 1.— P. 19—24.
4. Aldeberg A., Virdefjord B. Solar line blocking for  $\lambda\lambda$  4006—6860 // Ibid., Suppl. Ser.—1979.—36, N 2.— P. 317—321.
5. Delbouille L., Roland G., Neven L. Photometric atlas of the solar spectrum from 3000 to 10000.— Liege: Univ press, 1973.
6. Houtgast J., Namba O. Continuum location and total line absorption in the solar spectrum // Bull. Astron. Inst. Neth.—1968.—20.— P. 87—97.
7. Neckel D., Labs H. Solar line blocking for disk-center and disk-averaged radiation from 3300 to 6860 Å // Solar Phys.—1985.—95, N 2.— P. 229—238.
8. Neckel D., Labs H. The solar radiation between 3300 and 12500 Å // Ibid.—1984.—90, N 2.— P. 205—258.
9. Michard R. On the energy distribution in the ultra-violet continuous spectrum of the Sun // Bull. Astron. Inst. Neth.—1950.—11.— P. 227—231.
10. Pettit E. Spectral energy curve of the Sun in the ultraviolet // Astrophys. J.—1940.—91, N 1.— P. 159—187.
11. Shain G., On the effect of the total line and band absorption in the stellar spectra // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1936.—96, N 3.— P. 508—515.
12. Wempe J. Die Gesamtabsorption der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum // Astron. Nachr.—1947.—275, N 1.— P. 97—107.
13. Wohl H. On the line blanketing in the solar spectra // Astron. and Astrophys.—1975.—40, N 3.— P. 343—345.