

УДК 523.774

Вращение солнечной фотосферы по данным наблюдений центральных глубин фраунгоферовых линий

А. С. Гадун, Р. И. Костык, В. А. Шеминова

Из сравнения центральных глубин фраунгоферовых линий в спектре Солнца как звезды с центральными глубинами этих же линий на разных расстояниях от центра солнечного диска найдена скорость вращения Солнца на разных гелиографических широтах $\xi(\varphi) = (2.07 - 0.30 \sin^2 \varphi) \cos \varphi$.

THE ROTATION OF SOLAR PHOTOSPHERE FROM THE OBSERVATIONS OF CENTRAL DEPTHS OF FRAUNHOFER LINES, by Gadun A. S., Kostyk R. I., Sheminova V. A.—The solar rotation velocity for different heliographic latitudes (formula (1)) has been found from comparison of the central depths of the Fraunhofer lines in the spectrum of the Sun as a star with the central depths of the same lines at different distances from the solar centre.

Скорость вращения Солнца определяют по угловым смещениям каких-либо относительно устойчивых образований на его поверхности (геометрический метод) или по доплеровским смещениям линий в спектре Солнца (спектроскопический метод). Собственные движения солнечных образований являются существенным источником ошибок геометрического метода. Основная трудность спектроскопического метода — измерения малых величин смещений спектральных линий.

Полная библиография работ, посвященных вращению Солнца, приведена в [1, 3]. В данной работе мы определяем скорость вращения Солнца, применяя новый метод, в котором центральные глубины фраунгоферовых линий в спектре Солнца как звезды (в дальнейшем будем такой спектр называть неразрешенным) сравниваются с центральными глубинами этих же линий на разных расстояниях от центра солнечного диска (в этом случае спектр называем разрешенным). Преимущество метода, на наш взгляд, связано с тем, что центральные глубины линий можно измерить с относительно большей точностью, чем их смещения. Необходимость в этой работе возникла потому, что обнаружены большие отличия (50—100 %) между скоростями макродвижений в фотосфере, найденными по разрешенным (после усреднения центр — край) и неразрешенным линиям спектра Солнца [4, 6]. Одной из причин такого несовпадения может быть, по нашему мнению, недостаточные знания о скорости вращения Солнца.

Исходным наблюдательным материалом послужили атлас спектра Солнца как звезды [5] и данные о 160 фраунгоферовых линиях, полученные на монохроматоре двойной дифракции телескопа АЦУ-5 ГАО АН УССР [2] для пяти положений на солнечном диске. На рис. а мы приводим разности $d(\odot) - d(\star)$ в зависимости от глубины линии в неразрешенном спектре $d(\star)$. Величины $d(\odot)$ — усредненные по диску Солнца значения центральных глубин, находили по формуле

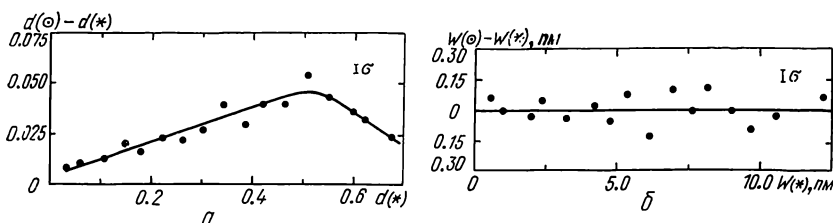
$$d(\odot) = \int_0^1 d(r) j(r) r dr / \int_0^1 j(r) r dr, \quad (1)$$

где $d(r)$ — центральная глубина линии на расстоянии r от центра

диска Солнца, $j(r)$ — монохроматический коэффициент потемнения к краю.

Поскольку величина $d(r)$ нам известна только для пяти положений r (0; 0.60; 0.80; 0.90; 0.96), то интеграл в (1) заменяли суммой. При этом авторы предполагали, что $d(r)$ не зависит от гелиографической широты.

Из рис. а видно, что разности $d(\odot) - d(\star)$, как и следовало ожидать, положительные и с ростом $d(\star)$ сначала увеличиваются (максимум при $d(\star) \sim 0.5$), а затем уменьшаются. Естественно предположить, что они обусловлены вращением Солнца. Однако прежде, чем



Разности центральных глубин a и эквивалентных ширин b линий поглощения наблюдаемых в разрешенном и неразрешенном спектрах Солнца

из этой зависимости найти скорость вращения Солнца ω , мы построили аналогичный график и для разностей эквивалентных ширин. Поскольку эквивалентные ширины не зависят от ω , то разности $W(\odot) - W(\star)$ должны равняться нулю. И действительно (рис. б), величины $W(\odot) - W(\star)$ равномерно распределены относительно нулевой линии и не зависят от $W(\star)$. В среднем $W(\odot) - W(\star) = 0.04 \pm 0.11$, что говорит о высоком качестве наблюдательного материала, полученного в ГАО АН УССР и в обсерватории Сакраменто-Пик, а также о правильной методике усреднения значений W и d по диску Солнца. Однако небольшая систематическая погрешность все же имеет место: 0.04 пм в эквивалентных ширинах и 0.004 в центральных глубинах. Последнее значение следует из рис. а, поскольку при $d(\star) \rightarrow 0$ разности $d(\odot) - d(\star)$ должны также стремиться к нулю. В действительности

$$d(\odot) - d(\star) \rightarrow 0.004, d(\star) \rightarrow 0. \quad (2)$$

Нам трудно назвать конкретный источник этой небольшой систематической погрешности. Их может быть несколько. Учитывая эту погрешность, в дальнейшем за нуль-пункт разностей $d(\odot) - d(\star)$ принимали величину 0.004.

Скорость вращения Солнца мы искали в виде

$$\omega(\varphi) = a + b \sin^2 \varphi \quad (3)$$

из условия

$$\sum_i (d'_i(\odot) - d_i(\star))^2 = \min. \quad (4)$$

Здесь ω — сидерическая скорость вращения (град·сут⁻¹); φ — гелиографическая широта; a, b — постоянные;

$$d'(\odot) = \frac{\int_0^1 j(\mu) \mu d\mu \int_0^{2\pi} d \left[\mu, \lambda + \frac{\lambda}{c} \omega(\varphi(\mu, P)) \sin(P - P_0) \cos B_0 \sqrt{1 - \mu^2} \right] dP}{2\pi \int_0^1 j(\mu) \mu d\mu}, \quad (5)$$

P_0, B_0 — позиционный угол северного полюса Солнца и гелиографическая широта Земли в момент наблюдений; $\mu = \cos \theta$; P — текущий позиционный угол.

Мы получили

$$\omega(\varphi) (\text{град} \cdot \text{сут}^{-1}) = 14.75 (\pm 0.30) - 2.1 (\pm 1.2) \sin^2 \varphi \quad (6)$$

или

$$\varphi(\varphi) (\text{км} \cdot \text{с}^{-1}) = (2.07 (\pm 0.04) - 0.30 (\pm 0.17) \sin^2 \varphi \cos \varphi. \quad (7)$$

В таблице приведены наши результаты определения скорости вращения Солнца на разных гелиографических широтах и полученные Ю. А. Солонским — как нам кажется, одни из наиболее точных. Разница составляет в среднем $0.07 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$, что приблизительно равно удвоенной величине погрешности наших измерений.

Скорость вращения Солнца на разных гелиографических широтах

Ф, град	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ [3]	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ данная работа	Ф, град	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ [3]	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ данная работа	Ф, град	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ [3]	$\xi, \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ данная работа
0	2.03	2.07	30	1.65	1.73	60	0.83	0.92
5	2.01	2.06	35	1.54	1.61	65	0.67	0.77
10	1.97	2.03	40	1.41	1.49	70	0.52	0.62
15	1.92	1.98	45	1.27	1.36	75	0.38	0.46
20	1.84	1.91	50	1.14	1.22	80	0.27	0.31
25	1.74	1.83	55	0.98	1.07			

Если в формуле (3) ограничиться только первым членом разложения скорости вращения ω по зональным сферическим функциям, то из условия минимума функционала (4) находим $\xi = (2.03 \pm 0.12) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$.

В заключение отметим, что применение нового метода позволило нам исследовать скорость вращения Солнца на разных гелиографических широтах и на разных оптических глубинах. Зависимость $\xi(\varphi)$ согласуется с ранее найденными, а поведение $\xi(h)$ существенно отличается. Однако последнее требует дополнительной проверки. Полученные результаты будут использованы при исследовании характеристик Солнца как звезды.

1. *Асланов И. А.* Сдвиги и уширение фраунгоферовых линий. I.— Астрон. журн., 1963, 40, № 6, с. 1036—1046.
2. *Гуртовенко Э. А., Костык Р. И.* Монохроматор двойной дифракции ГАО АН УССР с цифровым устройством для автоматизации наблюдений и обработки солнечного спектра.— Астрометрия и астрофизика, 1979, вып. 39, с. 88—94.
3. *Солонский Ю. А.* Вращение Солнца.— Тр. Астрон. обсерватории Ленингр. ун-та, 1977, 33, с. 112—145.
4. *Шеминова В. А.* Турбулентность в фотосфере Солнца как звезды. III.— Солнеч. данные, 1984, № 4, с. 75—78.
5. *Beckers J. M., Bridges C. A., Gilliam L. B.* A high resolution spectral atlas of the solar irradiance from 380 to 700 nanometers.— Sunspot: Sacramento Peak Nat. Observatory, 1976.—175 p.
6. *Stenholm L. G.* Non thermal velocities in stellar atmosphere. II.— Astron. and Astrophys., 1977, 61, N 2, p. 155—159.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 15.11.84