

ДВЕ ПОПУЛЯЦИИ ГРУПП СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И МЕРИДИОНАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ НА СОЛНЦЕ

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Певцов А.А.³

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

³National Solar Observatory, Boulder, USA

TWO POPULATIONS OF SUNSPOT GROUPS AND MERIDIONAL VELOCITIES ON THE SUN

Nagovitsyn Yu.A.^{1,2}, Osipova A.A.¹, Pevtsov A.A.³

¹Central Astronomical observatory at Pulkovo, St. Petersburg, Russia

²State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

³National Solar Observatory, Boulder, USA

Statistical distributions of the mean meridional velocity β in the Carrington rotation system are considered. The Greenwich catalogue for years from 1874 to 1976 was used. It is shown that the meridional motions of the two sunspot group populations depend weakly on latitude. It was found that the meridional motions depend on the longitude velocity in a coordinate system close to the Carrington one, and the dependences of the meridional velocities β on the longitude velocities α for two sunspot group populations were obtained. The most likely reason for this is the Coriolis force. The difference from zero of free terms in the obtained dependencies may indicate some north-south asymmetry in differential rotation.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-217-220

В настоящее время понятно, что глобальное поле скорости на Солнце тесно связано с генерацией солнечных магнитных полей. Знание меридиональных движений важно для моделирования циклов солнечной и звездной активности [4]. Существование меридиональных циркуляций было подтверждено гелиосейсмологией [3]. В этой статье мы сосредоточимся на меридиональных движениях, прослеженных с помощью солнечных пятен и их групп методом трассеров [1–2]. Большинство работ показывают, что солнечные пятна удаляются от центральной широты активности: на более низких широтах группы солнечных пятен движутся к экватору, а на более высоких они демонстрируют движение к полюсу.

Авторы [10] показали корреляцию между остатками дифференциальной скорости вращения и меридиональными движениями, и этот факт был связан с напряжением Рейнольдса как основной движущей силой дифференциального вращения.

Эта статья является продолжением нашей статьи [7] по исследованию глобального горизонтального поля скорости групп солнечных пятен. С помощью нового подхода, основанного на рассмотрении статистических рас-

пределений, было показано, что на Солнце одновременно существуют две системы (сидерического) дифференциального вращения: быстрая T1 и медленная T2.

$$\omega_{T1} = (14.616 \pm 0.013) - (2.88 \pm 0.13) \sin^2 \varphi \quad (1)$$

$$\omega_{T2} = (14.3499 \pm 0.0039) - (2.869 \pm 0.043) \sin^2 \varphi$$

Было показано, что две популяции групп солнечных пятен [8–9] – короткоживущие мелкие SSG и долгоживущие крупные LLG, разделяющиеся по времени жизни (больше и меньше 5 дней), имеют различный характер дифференциального вращения: SSG обладают одномодовым быстрым вращением, а LLG двухмодовым: и быстрым и медленным.

В данной работе мы пошли тем же путем, что и [7] – рассматривали статистические распределения средней меридиональной скорости β , выражаемой в град/сут в кэррингтоновской системе вращения. В качестве исходных данных мы использовали гринвичский каталог за 1874–1976 гг.

Вначале проверим зависимость для выборок значений синуса гелиографической широты $\sin \varphi$ с шагом 0.05 мы строили гистограммы встречаемости различных значений. Затем методом Левенберга-Марквардта [5–6] гистограммы аппроксимировались гауссианой, и находилось положение ее максимума с его статистической ошибкой. Процедура проводилась для SSG и LLG популяций отдельно – см. рис. 1. Положительным значениям β соответствует движение к полюсу, отрицательным – к экватору.

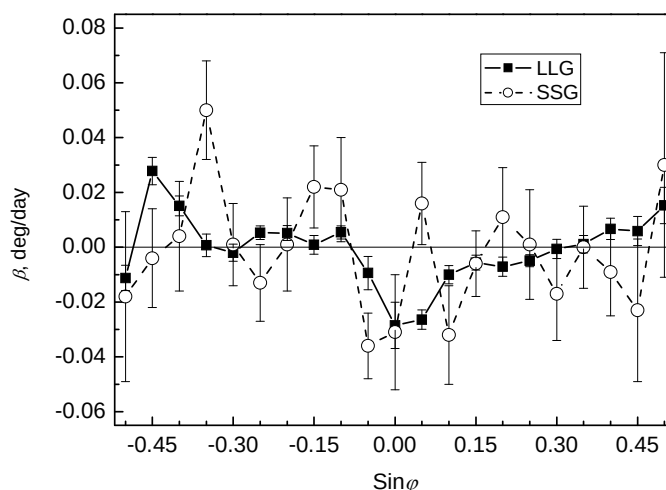


Рис. 1.

Большие доверительные интервалы для SSG объясняются просто: для вычисления скоростей использовалось меньшее число дневных значений из-за меньшего времени жизни этой популяции. Статистически выраженной регулярной разницы для значений между популяциями на рис. 1 не заметно. Также как и выраженного закона $\beta = f(\sin \varphi)$. Есть тенденция и только тенденция для LLG: ближе к экватору пятна движутся к экватору, в

высоких широтах – к полюсу. Но тенденция слабая. Вывод, который мы делаем из всего этого: в отличие от закона дифференциального вращения меридиональные движения от широты зависят слабо. Т.е. выраженной зависимости меридиональных скоростей, определяемых по группам солнечных пятен как трассерам, нет.

С чем же связаны меридиональные движения? Построим эмпирические зависимости меридиональных скоростей β от долготных скоростей α в кэррингтоновской системе вращения для SSG и LLG популяций отдельно – рис. 2 а), б).

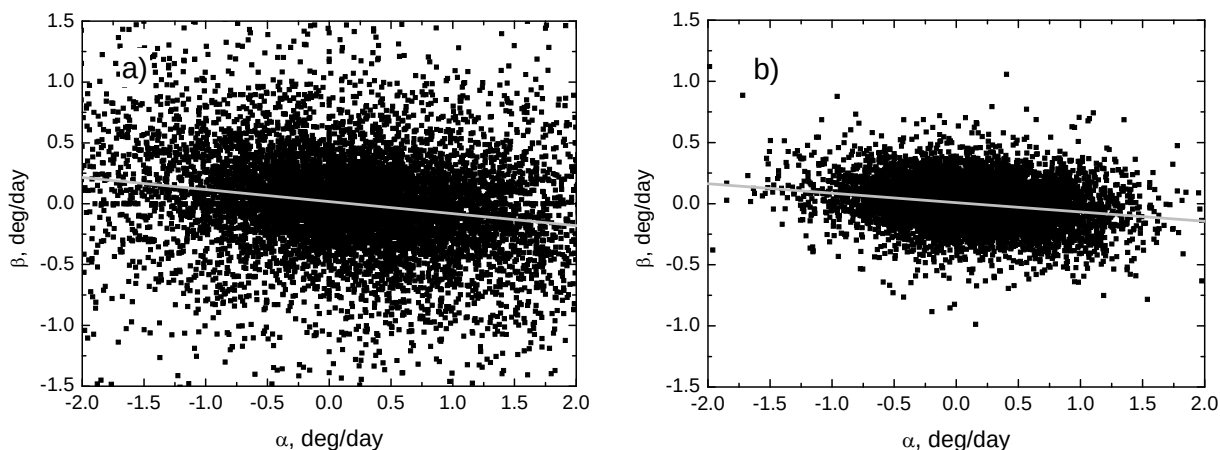


Рис. 2.

Для SSG зависимость имеет вид (r – коэффициент корреляции Пирсона)

$$\beta = (1.72 \pm 0.52) \cdot 10^{-2} - (9.89 \pm 0.63) \cdot 10^{-2} \alpha, \quad r = -0.16. \quad (2)$$

Для LLG:

$$\beta = (0.87 \pm 0.14) \cdot 10^{-2} - (7.66 \pm 0.31) \cdot 10^{-2} \alpha, \quad r = -0.22. \quad (3)$$

Коэффициенты корреляции невелики, однако, мы понимаем, что (2) и (3) описывают негруппированные эмпирические значения, содержащие случайные ошибки.

Поэтому для выведения глобального закона $\beta = f(\omega_c)$ мы, используя группированные выборки, построили статистические распределения β в интервалах с шагом 0.05 град/день по α с шагом 0.1 град/день. Далее в предположении нормальных распределений β по методу Левенберга-Марквардта находились их максимумы. Полученный результат для SSG и LLG популяций отдельно иллюстрирует рис. 3.

Регрессионные прямые (данные взвешены с учетом доверительных интервалов): для SSG

$$\beta = (1.50 \pm 0.34) \cdot 10^{-2} - (9.79 \pm 0.58) \cdot 10^{-2} \alpha, \quad r = -0.95, \quad (5)$$

для LLG

$$\beta = (0.426 \pm 0.071) \cdot 10^{-2} - (7.77 \pm 0.18) \cdot 10^{-2} \alpha, \quad r = -0.95. \quad (6)$$

Коэффициенты корреляции высокие, а значит (5) и (6) выражают закон средних меридиональных движений. Сравнивая рис. 3 и рис. 1, можно

прийти к выводу, что меридиональные движения не имеют какого-то выраженного закона распределения с широтой, а зависят от долготной скорости в системе координат, близкой к кэррингтоновской. Наиболее вероятная

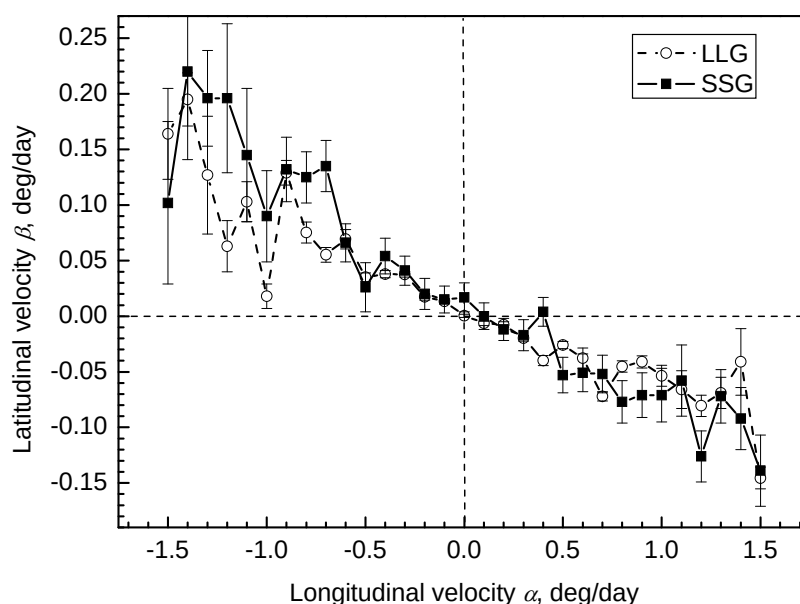


Рис. 3.

причина этого – сила Кориолиса. Движения пятен в кэррингтоновской сетке, опережающие ее вращение, приводят к силе, направленной к экватору, и наоборот, отстающие в ее вращении – направленной к полюсу. Отличие от нуля свободных членов в (5)–(6) может говорить о некоторой северо-южной асимметрии в дифференциальном вращении.

Литература

1. Arevalo M.J., Gomez R., Vazquez M., et al. // *Astronomy and Astrophysics*, 1982, vol. 111, no. 2, p. 266-271
2. Balthasar H., Woehl H. // *Astronomy and Astrophysics*, 1980, vol. 92, no. 1-2, p. 111-116.
3. Choudhuri A.R. // *Pramana*, 2011, vol. 77, issue 1, pp. 77-96
4. Kitchatinov L.L. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, Vol. 56, Issue 8, pp.945-951
5. Levenberg K. // *Quart. Appl. Math.*, 1944, 2, 164
6. Marquardt D. // *SIAM J. Appl. Math.*, 1963, 11, 431
7. Nagovitsyn Yu.A., Pevtsov A.A., Osipova A.A. // *Astronomy Letters*, 2018, Vol. 44, Issue 3, pp.202-211
8. Nagovitsyn, Yu.A., Pevtsov, A.A. // *The Astrophysical Journal*, 2016, 833, 94
9. Nagovitsyn, Yu.A., Pevtsov, A.A. // *The Astrophysical Journal*, 2021, Vol. 906, Issue 1, id.27, 7 pp.
10. Ruždjak D., Sudar D., Brajša R., et al. // *Solar Physics*, 2018, Vol. 293, Issue 4, article id. 59, 12 pp.