

ВРЕМЯ ЖИЗНИ СОЛНЕЧНЫХ ПОР И ПЯТЕН

Тлатов А.Г.^{1,2}

¹*Горная астрономическая станция ГАО, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

LIFETIME OF SOLAR PORES AND SPOTS

Tlatov A.G.^{1,2}

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Russia*

²*KalmSU, Elista, Russia*

The lifetime of individual solar pores and sunspots was analyzed according to the observations of the HMI/SDO space Observatory in the 24th and 25th cycles of activity. It is found that the lifetime of individual spots and pores differs from the Gnevyshev–Waldmeier rule $T_g \sim W \cdot A$ formulated for groups of sunspots. The dependence of the lifetime has a different pattern, So for the pores of the leading and trailing polarity of the magnetic field, the dependence has a logarithmic form from the area: $T_{por} = 0.24(0.01) + 0.55(0.14) \cdot \lg(S_{mx})$ for $S_{mx} < 50$ mhm. For regular sunspots ($S_{mx} > 100$), the dependence is close to linear. But the pattern is different for sunspots of the leading polarity: $T_{led} = -0.99(\pm 0.2) + 0.036(\pm 0.002) \cdot S_{mx}$, and the trailing polarity: $T_{trail} = 0.62(\pm 0.1) + 0.013(\pm 0.001) \cdot S_{mx}$.

Physical mechanisms of decay are proposed. For regular sunspots, the lifetime is associated with convective cells and the entrainment of the magnetic field of the umbra by the surface flow $dr/dt \sim v \sim 1/r$ from the boundaries of the umbra to the boundaries of the penumbra. For pores with heating from the photosphere $dt/dt \sim (\tau_{ph} - \tau_{por})$, where τ is the temperature of the pore and the photosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-259-262

1. Введение

Группы солнечных пятен живут от нескольких часов до нескольких месяцев. Время жизни групп увеличивается линейно с максимальным размером в соответствии с так называемым правилом Гневышева-Вальдмайера: $A_0 = W \cdot T$, где A_0 – максимальный размер пятна, T – его время жизни и $W = 10$ msh/day (mhm Micro Solar Hemisphere). Это правило было впервые построено Гневышевым [1] и математически сформулировано Вальдмейером [2]. Согласно этому правилу большинство солнечных пятен живут меньше суток. Время жизни порядка дня или дольше – примерно недели – часто не очень точно из-за перерывов в наблюдениях из-за наступления ночи или прохождения групп пятен за солнечным краем в результате вращения Солнца [3].

2. Время жизни солнечных пор и пятен

Отслеживание пятен происходило при идентификации отдельных пятен и пор на различных изображениях во времени. Обработывались пять

изображений в день. Для более точной идентификации последовательности солнечных пятен во времени мы принимали во внимание полярность магнитного поля. Таким образом, были сформированы цепочки отдельных солнечных пятен и пор во времени, по которым выполнялся анализ эволюции и времени жизни. Всего за период 2010–2021 гг. выделено ~33 тыс. цепочек последовательностей солнечных пятен. Так как мы можем наблюдать пятна только на видимой стороне солнечного диска, мы брали последовательности пятен, у которых долгота первого пятна в последовательности не превышала $\tilde{\ell} < 30^\circ$ от центрального меридиана, или примерно за 4.6 дня, до исчезновения на западном лимбе. Для поиска рекуррентных пятен, таких, которые живут более одного оборота, поиск проводился для пятен более $S_{\text{last}} > 100$ мдп, где S_{last} – последняя зарегистрированная площадь солнечного пятна на видимой стороне диска у западного лимба.

На рис. 1 представлена диаграмма рассеяния для времени жизни солнечных пор и пятен в зависимости от площади S_{mx} , где S_{mx} – максимальная площадь в цепочке последовательностей жизни пятна. Для диапазона площадей 10–20 мдп наблюдается область одновременного существования пор и пятен. На диаграмме также представлена линия зависимости Gnevyshev-Wildmeier (GW) $S_{\text{mx}}^g = 10.89 \cdot T$, где S_{mx}^g – максимальная площадь, определенная для групп солнечных пятен.

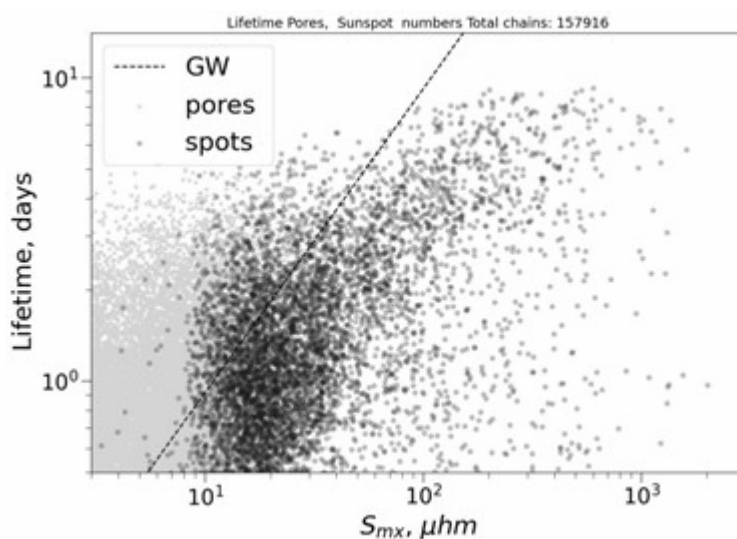


Рис. 1. Диаграмма рассеяния в координатах время жизни солнечных пятен и пор и площади на момент максимального ее достижения. На диаграмме также представлена линия зависимости Gnevyshev-Wildmeier.

Аппроксимация времени жизни для солнечных пятен и пор представлена на рис. 2. Как и следовало ожидать, линии аппроксимации времени жизни солнечных пятен лежат ниже линии GW для групп пятен. Но область существования солнечных пор лежит как ниже, так и выше этой линии. Зависимость построена отдельно для пятен ведущей и хвостовой полярностей. Загибы для площадей $S_{\text{mx}} > 300$ связаны с заходом крупных пя-

тен за видимую сторону диска. Оказалось, что время жизни солнечных пятен хвостовой полярности для площадей $S_{mx} > 100$ мдп может быть значительно меньшим, чем для пятен ведущей полярности. Это подтверждает вывод [4] об асимметрии распада пятен разной полярности магнитного поля. Зависимость времени жизни можно записать в виде: $T_{led} = -0.9(\pm 0.2) + 0.036(\pm 0.002) \cdot S_{mx}$ с коэффициентом корреляции $r = 0.98$; $T_{trail} = 0.62(\pm 0.1) + 0.013(\pm 0.001) \cdot S_{mx}$, $r = 0.98$. Линия аппроксимации пересекает линию GW в области малых площадей $S_{mx} < 10$ мдп.

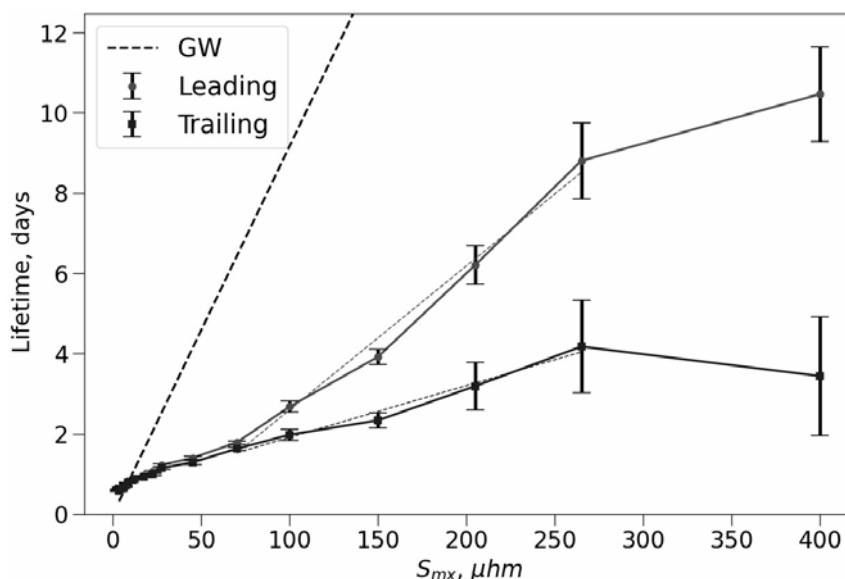


Рис. 2. Аппроксимация линии времени жизни пор и солнечных пятен зависимости от площади S_{mx} для пятен и пор ведущей и хвостовой полярности магнитного поля.

Рассмотрим время жизни солнечных пор подробнее. На рис. 3 представлена зависимость времени жизни пор ведущей и хвостовой полярности. В отличие от солнечных пятен время жизни пор имеет связь с логарифмом площади: $T_{por} = -0.24(\pm 0.1) + 0.055(\pm 0.014) \lg(S_{mx})$.

3. Обсуждение

Механизм распада солнечных пятен остается не до конца понятным [3]. Для солнечных пятен время распада должно быть связано с радиусом соотношением $dS/dt \sim \text{const}$ или $dr/dt \sim 1/r$. Возможно, решающую роль в механизме распада солнечных пятен играет конвекция.

Действительно, в этом случае скорость растекания вещества вблизи поверхности от ядер солнечных пятен пропорциональна $v \sim 1/r$. Поток отрывает и уносит магнитное поле, и время жизни пятен будет $dr/dt \sim 1/r$. Для пор конвекция не играет большой роли. Вокруг них не образуются конвективные ячейки, и их распад связан с механизмом прогрева. В этом случае можно применить формулу Ньютона для выравнивания температуры: $d\tau/dt \sim (\tau_{ph} - \tau_{por})$, где τ – температура поры и фотосферы. Тогда время жизни пор $T_{por} \sim \log(\tau_{ph} - \tau_{por})$.

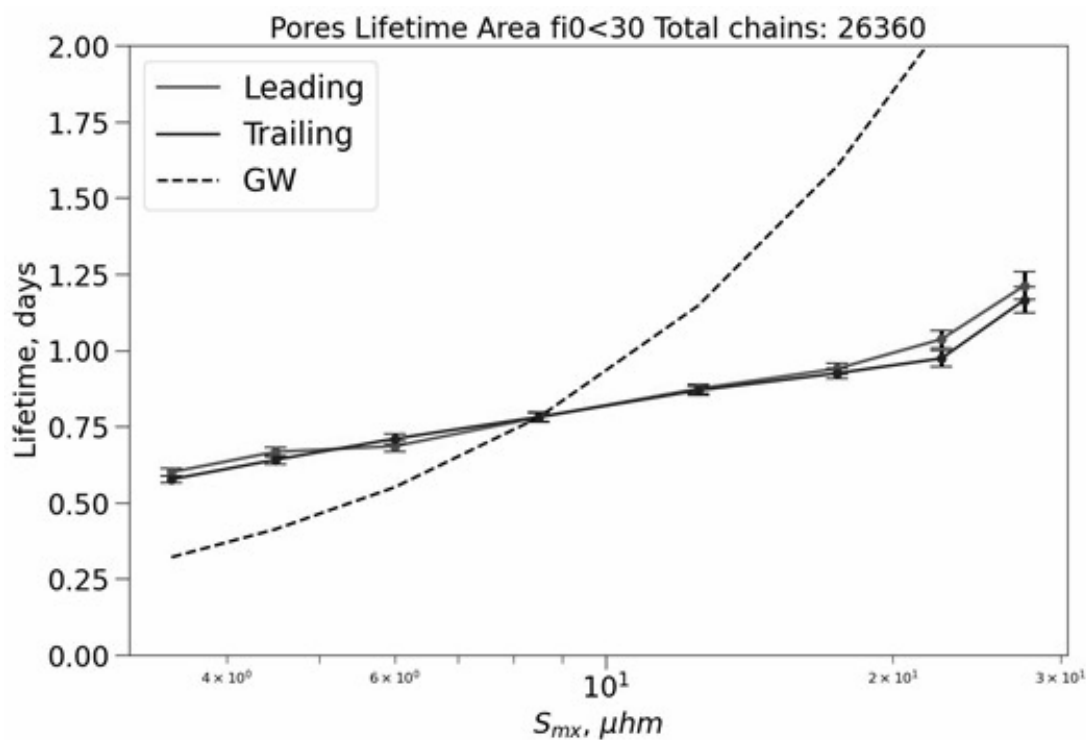


Рис. 3. Время жизни солнечных пор в зависимости от логарифма площади.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта 075-03-2022-119/1.

Литература

1. Gnevyshev M.N. // Pulkovo Obs. Circ., 1938, 24, 37.
2. Waldmeier M. Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung, 2. Aufl., Akad. Verlag, Leipzig, 1955.
3. Petrovay K. and Van Driel-Gesztely L. // Solar Phys., 1997, 176, 249.
4. Muraközy, J. // ApJ, 2021, 908, 133.