

УДК 523.98

## **Вращательный $\nabla r$ -эффект в конвективной зоне Солнца и происхождение вторичного максимума цикла солнечных пятен**

*В.Н. Криводубский*

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Т. Шевченко  
ул. Обсерваторная, 3, Киев-53, 04053  
e-mail: krivod1@observ.univ.kiev.ua

Для объяснения происхождения двойного цикла солнечных пятен мы включили в сценарий эволюции тороидального поля три эффекта магнитной перестройки этого поля в конвективной зоне (КЗ) Солнца (магнитную плавучесть, турбулентный диамагнетизм и ротационную  $\nabla r$ -адвекцию) и глубинную меридиональную гидродинамическую циркуляцию вещества.

Используя физические параметры из модели КЗ Стикса (Стикс, 1989) мы рассчитали скорости радиальной и меридиональной компонент вращательного  $\nabla r$ -переноса магнитного поля, а также турбулентного диамагнитного переноса (Криводубский, 2005а). Установлено, что в высокоширотных доменах КЗ два эффекта направленного вниз переноса (диамагнетизм и радиальная  $\nabla r$ -адвекция) могут противостоять магнитной плавучести и, таким образом, заблокировать сильные тороидальные поля (величиной около 3000–4000 Гс) в глубинных слоях. Таким образом, эффекты “отрицательной магнитной плавучести” могут быть наиболее вероятной причиной, почему глубоко укоренившиеся магнитные поля не могут появиться на поверхности Солнца в виде пятен на высоких гелиоширотах. Однако в приэкваториальном домене КЗ вертикальная (радиальная) компонента модифицированного вращением  $\nabla r$ -эффекта вызывает перенос тороидального поля вверх, т. е. действует в том же направлении, что и паркеровская магнитная плавучесть. Поэтому здесь этот магнитный поток способствует проникновению сильных тороидальных полей к поверхности, где фрагменты этих полей появляются в “королевской зоне” как пятна в активных областях.

По мере развития цикла пятна мигрируют от средних широт в направлении экватора. При этом среднегодовые относительные числа солнечных пятен достигают своего максимального значения спустя несколько лет после начала цикла (основной максимум). В то же время иногда можно наблюдать повторные максимумы относительных чисел пятен (сдвинутые во времени на один-два года после основных максимумов) (Гневывшев, 1967, 1977). Важную роль в объяснении этого явления может сыграть вторая компонента вращательного  $\nabla r$ -эффекта – направленный к экватору меридиональный перенос тороидального поля (Криводубский, 2005а). Следует также учесть идею Нанди и Чудхури (2002). Недавно они предположили, что направленное к экватору глубинное меридиональное гидродинамическое течение вещества проникает в лучистую зону ниже КЗ немного глубже, чем это считалось раньше.

Для объяснения феномена вторичных максимумов солнечных циклов мы включаем глубинную гидродинамическую циркуляцию, а также рассчитанную нами меридиональную компоненту  $\nabla r$ -эффекта в схему перестройки тороидального поля. Благодаря этим двум направленным к экватору течениям полярные глубоко укорененные сильные тороидальные поля переносятся из области высоких широт к средним, а затем и низким широтам. Здесь

направленная вверх  $\nabla\rho$ -адвекция совместно с магнитной плавучестью вынуждает эти немного “запоздалые” мигрирующие поля подниматься к поверхности. В результате интенсивность пятнообразования, которая уже пошла на спад (поскольку она была обусловлена фрагментами тороидального поля приэкваториального домена, которые успели подняться на поверхность раньше), снова возрастает, потому что теперь наступила очередь подъема “запоздавших” полей. Таким образом, открывается путь к объяснению повторных максимумов циклов солнечных пятен (Криводубский, 2005а,б).

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Ф25.2/094 Государственного фонда фундаментальных исследований Украины.

## Литература

- Гневывшев М.Н. (Gnevyshev M.N.) // Solar Phys. 1967. V. 1. P. 10.  
Гневывшев М.Н. (Gnevyshev M.N.) // Solar Phys. 1977. V. 51. P. 175.  
Криводубский В.Н. (Krivodubskij V.N.) // Astron. Nachr. 2005a. V. 326. №. 1. P. 61.  
Криводубский В.Н. // Космічна наука і технологія. 2005б. №. 3/4. С. 112.  
Нанди Д., Чудхури А.Р. (Nandy D., Choudhuri A.R.) // Science. 2002. V. 296. P. 1671.  
Стикс М. (Stix M.) // The Sun. Berlin – Heidelberg – New York. 1989. P. 200.