

УДК 523.98

## Топологическая накачка магнитного потока в конвективной зоне Солнца

*В.Н. Криводубский*

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

Исследован вопрос о роли магнитной топологической накачки в перестройке тороидального магнитного поля в солнечной конвективной зоне (СКЗ). В свое время Бенар (1900), исследуя неустойчивость подогреваемой снизу жидкости, экспериментально получил полигональную конвекцию в виде трехмерной ячеистой структуры. Благоприятные условия для возникновения бенаровской конвекции существуют на Солнце, где вещество в конвективных ячейках поднимается в центре и опускается по периферии ячеек, близких к шестиугольным. Имеется налицо топологическая неравноправность нисходящих и восходящих потоков в слое бенаровских гексагональных ячеек: опускающееся вещество пространственно (топологически) связано, тогда как поднимающиеся части плазмы изолированы одна от другой участками нисходящих движений. Если рассмотреть горизонтальную магнитную силовую линию, вмороженную в солнечную плазму, то вследствие преобладающих нисходящих потоков эта магнитная линия будет смещаться вниз. В конечном итоге в таком ансамбле конвективных ячеек возникает эффект смещения горизонтального магнитного поля вниз, который Дробышевский и Юферев назвали *топологической накачкой* магнитного потока ко дну конвективного слоя (Дробышевский, Юферев, 1974). Расчеты показали, что величина скорости топологической накачки  $V_{тн}$  приблизительно равна скорости конвекции  $v$  в ячейках.

Мы полагаем, что топологическая накачка может содействовать фрагментации магнитных полей на горизонтальные силовые трубки, пронизывающие всю СКЗ. Наблюдения свидетельствуют, что на поверхности Солнца можно выделить несколько характерных масштабов движений: грануляцию, мезогрануляцию и супергрануляцию. Поэтому на сегодня широкое распространение получило представление об иерархии масштабов солнечной конвекции (Гибсон, 1977). Это вытянутые вдоль меридианов и сравнимые с толщиной СКЗ гигантские ячейки (существование которых обосновывается теоретическими расчетами), внутри которых у верхней части СКЗ находятся супергрануляционные ячейки, а в самых внешних слоях гигантских ячеек и супергрануляции сосредоточены грануляция и мезогрануляция. Обычно предполагается, что последние три типа ячеек возникают вследствие ионизации атомов водорода и гелия. При этом размеры ячеек сравнимы с глубинами, на которых происходят процессы ионизации. Как известно, водород становится сильно ионизованным на глубине  $z \approx 1000$  км под фотосферой, тогда как однократная и двукратная ионизация гелия на 90 % достигается соответственно на глубинах 5000–10 000 км и 30 000 км, что отвечает размерам мезогранул (Новембер и др., 1981) и супергранул (Симон и Лейтон, 1964). Поскольку топологическая накачка действует только в масштабах собственно ячеек, то ячейки каждого слоя (яруса) многомасштабной конвекции должны порождать локальную накачку на дно соответствующего конвективного слоя. Поэтому направленный вниз перенос

поля в турбулизованной конвективной оболочке Солнца, очевидно, будет приобретать ступенчатый (дискретный) характер по вертикали, вызывая смещение полей к основанию конвективных ячеек различных масштабов.

Из условия баланса  $V_B(B_0) + V_{\text{TH}} = 0$  эффектов магнитного всплывания со скоростью  $V_B(B_0) \approx B_0/(4\pi\rho)^{1/2}$  ( $\rho$  – плотность плазмы) и направленной вниз топологической накачки со скоростью  $V_{\text{TH}} \approx v$  мы сделали оценки максимально возможной величины поля  $B_0 \approx v(4\pi\rho)^{1/2}$ , сконцентрированного в нижней части разделенных по вертикали конвективных слоев. Физические параметры при расчетах мы брали из модели СКЗ Стикса (1989). В слое грануляции (нижняя часть которого находится на глубине  $z \approx 1000$  км) величина  $B_0$  составляет  $\approx 8 \cdot 10^2$  Гс, в слое мезогрануляции ( $z \approx 10\,000$  км) –  $B_0 \approx 3,5 \cdot 10^3$  Гс, в супергрануляционном слое ( $z \approx 30\,000$  км) –  $B_0 \approx 5 \cdot 10^3$  Гс и наконец в нижней части гигантских ячеек вблизи дна СКЗ ( $z \approx 180\,000$  км) –  $B_0 \approx 8 \cdot 10^3$  Гс. В результате структура магнитных полей в СКЗ, очевидно, приобретает многослойный характер. Таким образом, учет топологической накачки открывает путь к объяснению дискретной структуры магнитных полей в подфотосферных слоях (глубинная фрагментация полей), о возможности существования которой в последнее время идет активная дискуссия исследователей.

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

## Литература

- Бенар Г. (Bénaud H.) // *Revue Générale des Sciences Peres et Appliquées*. 1900. V. 11. P. 1261.  
 Гибсон Э. // *Спокойное Солнце*. М.: 1977.  
 Дробышевский Э.М., Юферев В.С. (Drobyshevski E.M., Yuferev V.S.) // *Journ. Fluid Mech.* 1974. V. 65. P. 33.  
 Новембер Л.Дж. и др. (November L.J., Toomre J., Gebbi K.B., Simin C.W.) // *Astrophys. J.* 1981. V. 245. P. L123.  
 Симон Дж., Лейтон Р. (Simon G., Leighton R.) // *Astrophys. J.* 1964. V. 140. P. 1120.  
 Стикс М. (Stix M.) // *The Sun*. Berlin–Heidelberg–New York. 1989. P. 200.