

[523.98+523.75](048)

Б. В. Сомов. Н о в ы е т е о р е т и ч е с к и е п р е д с т а в л е н и я
о с о л н е ч н ы х в с п ы ш к а х. В последнее десятилетие, особенно
во время координированной международной программы «Год солнечного

максимума» (1980 г.), исследования солнечных вспышек приобрели всеобъемлющий, комплексный характер (см., например, ¹). Поток самых разнообразных наблюдательных данных о вспышках и вызываемых ими вторичных явлениях позволил получить новую, существенно более детальную информацию о механизме вспышек ². Значительно уточнились, а отчасти и изменились, и теоретические представления о солнечных вспышках ³.

Результаты «Года солнечного максимума» показали, в первую очередь, что наибольшая часть энергии вспышки выделяется не в ускоренных частицах, как думали раньше, а в виде мощных потоков тепла в высокотемпературной, относительно плотной плазме. Поскольку эта энергия черпается из сильных магнитных полей в атмосфере солнца, стала еще более актуальной проблема быстрой диссипации электрических токов, образующих тонкие слои в плазме высокой проводимости ⁴. Большие надежды здесь издавна возлагались на процесс магнитного пересоединения — взаимодействие магнитных полей, имеющих антипараллельные компоненты (см., например, ⁵).

В связи с новыми наблюдательными данными, свидетельствующими о магнитном пересоединении в солнечных вспышках ⁶, около пяти лет назад в Физическом институте им. П. Н. Лебедева была начата разработка самосогласованной модели высокотемпературных турбулентных токовых слоев (ВТТС) ⁷. Модель учитывает следующие три эффекта, которые характерны для процесса магнитного пересоединения во вспышках и других нестационарных явлениях в атмосфере Солнца.

Во-первых, обычно токовый слой не является «нейтральным», т. е. имеющим только строго антипараллельные компоненты магнитного поля. Наличие в слое хотя бы малой поперечной компоненты существенно увеличивает эффективность охлаждения ВТТС конвективными потоками плазмы и аномальными тепловыми потоками. Более того, в рамках самосогласованного рассмотрения ВТТС увеличивается не только вытекание плазмы, но и втекание в слой. Вместе с потоком плазмы внутрь ВТТС возрастает и поток магнитной энергии, диссипирующей в нем. Это позволяет получить достаточно большую мощность энерговыделения при относительно малых характерных скоростях пересоединения ⁸.

Во-вторых, современные наблюдения демонстрируют сильную неоднородность плазмы во вспышечных петлях, особенно поперек них, т. е. предположительно поперек магнитных силовых линий. В таких условиях, как известно ⁹, следует ожидать возбуждения так называемых градиентных неустойчивостей. Среди них особенно важны в приложениях к солнечным вспышкам те неустойчивости, которые приводят к аномальной диффузии плазмы и тепла поперек магнитного поля ¹⁰.

Наконец, модель ВТТС принимает во внимание тот факт, что в реальных условиях на Солнце не существуют «нулевые линии» магнитного поля, и магнитное пересоединение реализуется всегда в присутствии продольного (по отношению к току в слое) магнитного поля. Местом образования токовых слоев служат так называемые «пределльные линии» ⁴ или «сепараторы» ¹¹. Последние отличаются от нулевых линий только наличием продольного магнитного поля.

Раньше возникновение сепараторов в атмосфере Солнца обычно связывали с всплыванием из-под фотосферы нового магнитного потока в области, где уже есть магнитное поле. Можно показать на следующем примере, что наличие сепараторов следует рассматривать как гораздо более общее явление. На рис. 1, а рассматривается простейший вариант распределения вертикальной компоненты магнитного поля на фотосфере. Граница раздела полей противоположной полярности — нейтральная линия — делит область источника по оси y . В соответствии с тем, что можно часто видеть на солнечных магнитограммах, эта граница деформируется фотосферными течениями, постепенно приобретая форму буквы S (рис. 1, б).

На первый взгляд кажется, что магнитное поле со столь простыми источниками на фотосфере не может, в принципе, иметь каких-либо топологических особенностей. Это, однако, не так. Начиная с некоторого критического изгиба нейтральной линии, вычисленное в потенциальном приближении

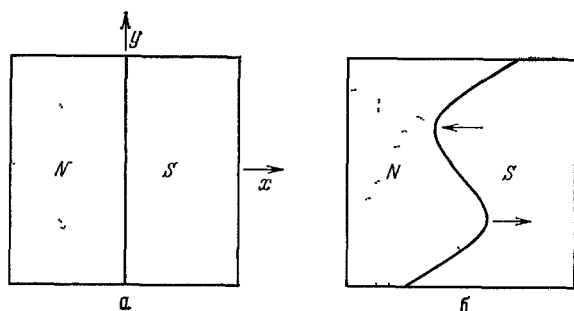


Рис. 1. Модельное распределение вертикальной компоненты магнитного поля на фотосфере

поле содержит важную топологическую особенность — сепаратор (рис. 2) и не содержит в общем случае ни одной нулевой точки.

В присутствии продольного магнитного поля отдельные стороны процесса пересоединения выглядят существенно иначе. Сжатие продольного поля приводит к появлению электрического тока, циркулирующего в поперечном (по отношению к основному току) сечении слоя. Этот ток в условиях

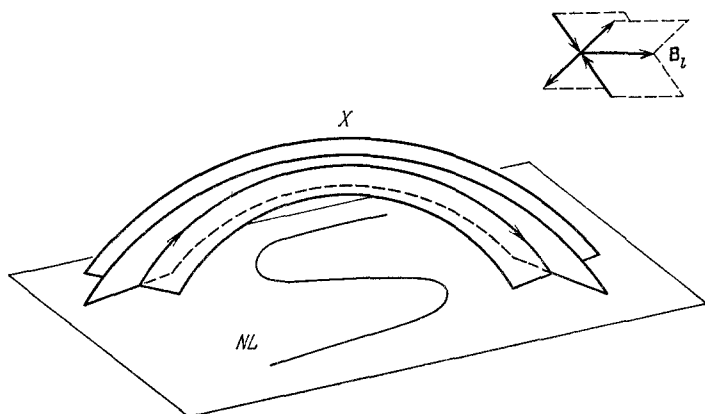


Рис. 2. Топологически особая силовая линия потенциального магнитного поля — сепаратор (X) — над S-образным изгибом фотосферной нейтральной линии (NL). В правом верхнем углу показана структура магнитного поля в окрестности сепаратора. B_z — продольная компонента магнитного поля на сепараторе

конечной проводимости создает сильный (если сжатие велико) джоулев нагрев плазмы в слое. Важно, однако, что такой нагрев осуществляется в конечном итоге за счет диссипации главных или пересоединяющихся компонент поля; а поток продольного поля, несмотря на диссипацию циркулирующего тока, сохраняется¹².

Решение проблемы солнечных вспышек обещает многое для понимания широкого круга явлений в космической и лабораторной плазме. Оно необходимо и для создания научно обоснованного, надежного прогноза радиационной обстановки в межпланетном пространстве. Неудивительно в этой связи, что на Западе проблемой вспышек занимаются большие научные коллективы. Неслучайно солнечные вспышки интересуют астрономов и физиков, биологов и медиков, климатологов и специалистов в области энергетики.

Успешное развитие теории солнечных вспышек в нашей стране может послужить хорошей основой для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований этого интересного и важного для нас явления природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solar Maximum Year/Eds. Z. Svestka, D. Rust, M. Dryer.— Adv. Space Res., 1982, v. 2, No. 11.
2. Solar Maximum Analysis/Ed. P. Simon.— Ibidem, 1984 (in press).
3. Сомов Б. В.— В кн. Проблемы физики солнечных вспышек.— М.: ИЗМИРАН, 1983, с. 5.
4. Сыроватский С. И.— Изв. АН СССР. Сер. физ., 1979, т. 43, с. 695.
5. Priest E. R. Solar Magnetohydrodynamics.— Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1982.
6. Machado M. E., Somov B. V., Rovira M. G., De Jager C. — Solar Phys., 1983, v. 85, p. 157.
7. Сомов Б. В.— Изв. АН СССР. Сер. физ., 1981, т. 45, с. 576.
8. Сомов Б. В., Титов В. С.— Письма Астрон. ж., 1983, т. 9, с. 48.
9. Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З. Физика плазмы для физиков.— М.: Атомиздат, 1979.
10. Somov V. B., Titov V. S.— Solar Phys., 1984 (in press).
11. Baum P. J., Bratenahl A.— Ibidem, 1980, v. 67, p. 245.