

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ И ОТДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(23—24 апреля 1986 г.)

23 и 24 апреля 1986 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

23 апреля

1. И. В. Александров, А. Ф. Гончаров, А. Н. Зисман, И. Н. Макаренко, С. М. Стишов. Исследования щелочно-галогидных кристаллов и благородных газов при сверхвысоких давлениях (управления состояния, фазовые переходы, металлизация).

2. И. Т. Белаш, В. Ф. Дегтярева, Е. Г. Понятовский. Новые фазы типа Юм-Розери — сверхпроводники, полученные при высоких давлениях.

3. В. В. Бражкин, В. И. Ларчев, С. В. Попова, Г. Г. Скродкая. Металлические стекла и аморфные полупроводники, полученные закалкой из расплава при высоком давлении.

4. В. Е. Антонов, И. Т. Белаш, Е. Г. Понятовский. Гидриды: исследования при высоких давлениях водорода.

24 апреля

5. В. Н. Гаврин, Е. А. Гаврюсева, Г. Т. Зацепин. Современное состояние и перспективы нейтринной астрономии Солнца.

6. А. А. Рузмайкин. Магнитные поля на Солнце.

7. М. Б. Волошин, М. И. Высоцкий, Л. Б. Окунь. Возможные электромагнитные свойства нейтрино и вариации потока солнечных нейтрино.

Краткое содержание пяти докладов публикуется ниже.

523.98(048)

А. А. Рузмайкин. М а г н и т н ы е п о л я н а С о л н ц е. Солнце представляет собой лабораторию размером $7 \cdot 10^{10}$ см. Здесь переплетаются интересы астрономии, гидромеханики, физики плазмы и ядерной физики.

Термоядерный синтез, альфеновские волны, гидромагнитное динамо и новые представления о нейтрино — продукты научного любопытства к Солнцу.

Равновесие Солнца как звезды определяется балансом силы тяготения и градиента давления. С другой стороны, солнечная активность — это игра движений и магнитных полей. Магнитные поля прямо наблюдаются в активных явлениях (в пятнах, вспышечных областях, протуберанцах) или связаны с ними (нагрев короны, корональные дыры).

Течение солнечной плазмы представляет собой комбинацию крупномасштабных движений (дифференциальное вращение, меридиональная циркуляция) и случайных движений (турбулентная конвекция). Магнитное поле в такой среде является стохастической величиной. В малых масштабах выделяются отдельные концентрации поля, усиленные на границах конвективных ячеек (супергранул). Их масштаб согласно наблюдениям порядка $(1-3) \cdot 10^7$ см, напряженность порядка $(1-2) \cdot 10^3$ Гс. Это похоже на характерную для переноса магнитного поля в случайной среде картину перемежаемости ^{1,2}, модифицированную эффектом выталкивания поля к границам конвективных ячеек ³. На существование характерного масштаба указывает форма корреляционной функции флуктуационных полей, рассчитанная Н. И. Клиориным, Д. Д. Соколовым и автором для изотропной модели динамо.

Существует среднее, крупномасштабное магнитное поле Солнца. Его осесимметричная полоидальная составляющая имеет напряженность порядка 1 Гс и основную пространственную моду дипольного типа, ориентированную вдоль оси вращения. Поле в пятнах интерпретируется как проявление подфотосферного тороидального магнитного поля, линии которого имеют противоположные направления в северном и южном полушариях Солнца. Оценку напряженности этого поля можно получить, зная суммарный магнитный поток пятен и долю ε занимаемой ими площади солнечной поверхности за определенное время: $B_\phi \sim \Phi / \varepsilon 4\pi R_\odot^2$. Например, для периода 1964—1974 гг. $\Phi \approx 1,6 \cdot 10^{23}$ Мкс, $\varepsilon \approx 5 \cdot 10^{-3}$ (эти данные сообщила автору К. С. Тавастерна), что дает $B_\phi \approx 6 \cdot 10^2$ Гс. Вблизи границы конвективной оболочки с лучистым ядром в узком слое порядка $5 \cdot 10^5$ см это поле может быть усилено до 10^7 Гс благодаря эффекту диамагнитного выталкивания.

Кроме того, на Солнце наблюдается слабое неосесимметричное поле (около 0,5 Гс), отвечающее диполю и(или) квадруполью, оси которых лежат в плоскости солнечного экватора (так называемая секторная структура).

Высказывались гипотезы о существовании сильных полей в солнечном ядре. Однако поля с напряженностью более 10^7 Гс, линии которых просачиваются к поверхности, дали бы слишком сильный поток на поверхности. Решающее слово в отношении таких полей может сказать гелиосейсмология.

Магнитное поле Солнца не остается неизменным. Мелкомасштабные поля изменяются нерегулярным, случайным образом. Неосесимметричная, секторная составляющая изменяется приблизительно с периодом обращения Солнца вокруг своей оси. Хорошо известен 22-летний цикл осесимметричного поля. При этом одна более сильная ветвь поля распространяется от широт порядка 40° к экватору, другая более слабая распространяется от этих широт к полюсам, что хорошо прослеживается по наблюдениям протуберанцев ⁴. Через 11 лет происходит обращение дипольной составляющей и смена направления тороидального поля. На 22-летний цикл накладывается модуляция с характерным временем примерно в три периода и глубокие, нерегулярные минимумы, обнаруживаемые ядерными методами по содержанию изотопа ^{14}C в кольцах деревьев. Поведение активности вблизи минимума Маундера изучено таким образом в ЛФТИ ⁵.

Перенос и усиление среднего магнитного поля определяется в основном турбулентной диффузией, дифференциальным вращением $\Omega(r, \theta)$ и средней спиральностью турбулентной конвекции. Без учета диффузии, как впервые

показал Йошимура, решение имеет вид динамо волны, распространяющейся вдоль поверхностей $\Omega = \text{const}$. Учет диффузии, геометрических особенностей и граничных условий требует выполнения сложных вычислительных экспериментов; см. например,⁶. В последнее время С. В. Старченко и автор применили для решения задачи асимптотический метод, развитый В. П. Масловым и его сотрудниками, что позволило получить квазианалитическое решение для поля при произвольной зависимости $\Omega(r, \theta)$. В частности, показано, что зависимости Ω , определяемой из гелиосейсмологических данных, лучше всего соответствует решение в виде двух разных по амплитуде динамо-волн, распространяющихся от некоторой широты к экватору и полюсам.

Остается нерешенной интригующая проблема объяснения глобальных минимумов активности. Появление минимумов связывается со стохастичностью динамо, представлением о странном аттракторе. Первые, грубые модели подтверждают такую точку зрения (см. обзор⁷), однако это лишь начальные шаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчанов С. А., Рузмайкин А. А., Соколов Д. Л.//УФН, 1985. Т. 145. С. 593.
2. Зельдович Я. Б., Молчанов С. А., Рузмайкин А. А., Соколов Д. Д.//СЖЭТФ. 1985, т. 89. С. 2061.
3. Weiss N. O.//Proc. Roy. Soc. Ser. A 1966. V. 293. С. 310.
4. Макаров В. И.//Солнечные данные, 1983, № 10. С. 33.
5. Васильев В. А., Дергачев В. А.//Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. Т. 44. С. 2510.
6. Иванова Т. С., Рузмайкин А. А.//Астрон. ж. 1977. Т. 54. С. 846.
7. Ruzmaikin A. A.//Sol. Phys. 1985. V. 100. P. 125.