

УДК 523.9

## Минимум 2008 г., или “квантовое” Солнце-2

*В.А. Котов*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный  
*vkotov@crao.crimea.ua*

Поступила в редакцию 7 декабря 2009 г.

Публикуется как гипотеза для дальнейшей дискуссии.

**Аннотация.** Продолжительный минимум 2007–2009 гг. – большая неожиданность для физики Солнца. С целью раскрытия причин анализируется переменность общего магнитного поля (ОМП) Солнца как звезды, измерявшегося КрАО и пятью другими обсерваториями с 1968 г. (за 41 год получено более 19 тыс. суточных значений напряженности  $B$ ). Резкие среднегодовые экстремумы отрицательного (S) поля имели место в 1969, 1990 и 2008 гг., причем третий экстремум, в отличие от двух предыдущих, совпал с минимумом пятен. Этим и объясняются как большая длительность минимума, так и рекордное за последние 100 лет увеличение длины цикла Вольфа (№ 23) до 12 или более лет. Экстремумы S-поля следовали с периодом  $19.5 \pm 1.1$  г. – некоторым средним между пятенным циклом  $22.1 \pm 0.3$  г., саросом 18.6 г. и периодом соединения Юпитера и Сатурна 19.9 г. Отмечено, что в 1968–2008 гг. по непонятной причине на Солнце преобладала отрицательная полярность: общее среднее  $\langle B \rangle = -0.021 \pm 0.015$  Гс. Выдвинута гипотеза о существовании “второго” Солнца, подчиняющегося законам квантовой механики. “Квантовая” модель Солнца-2 объясняет многие свойства “классического” Солнца-1, включая нагрев короны, циклическую активность, периодические изменения ОМП и его секторную структуру.

MINIMUM OF 2008, OR THE “QUANTUM” SUN–2, *by V.A. Kotov.* The long minimum 2007–2009 happened to be a big surprise for solar physics. In order to throw light on the causes, variability of the mean magnetic field (MMF) of the Sun as a star registered since 1968 by the CrAO and five other observatories, is analysed (more than 19 thousand daily strength values  $B$  were obtained over last 41 years). The sharp yearly-mean extrema of negative, S, polarity occurred in 1969, 1990 and 2008, with the third extremum being observed, in contrast to other two, at very spot minimum. We connect this fact with both the prolonged duration of the present minimum and the record, over the last 110 years, increase of the length of the Wolf cycle (N 23) up to 12 or more years. The S-field extrema repeated with period  $19.5 \pm 1.1$  yr – some average between the spot cycle  $22.1 \pm 0.3$  yr, the saros, 18.6 yr, and the period of Jupiter–Saturn’s conjunction 19.9 yr. It is noted that, due to unknown cause, negative polarity dominated on the Sun in 1968 – 2008: the overall mean value  $\langle B \rangle = -0.021 \pm 0.015$  G. A hypothesis about the “second” Sun which is ruled by laws of quantum mechanics, is advanced. The “quantum” model of the Sun–2 explains many properties of the “classic” Sun–1, including coronal heating, the cycle activity, periodic changes of the MMF and its sector structure.

**Ключевые слова:** Солнце, общее магнитное поле, цикл, Солнечная система

---

## 1 Введение: из чего состоит Солнце?

Известному физику-теоретику С. Вайнбергу принадлежат такие слова: “Чем больше мы развиваемся, тем меньше мы понимаем Вселенную”. Это легко доказывается развитием физики, астрономии, физики Солнца и космологии на рубеже XXI в.

К концу 90-х годов прошлого века парадигма “инфляция – холодная – темная – материя” воцарилась в космологии как наиболее важный набор идей после Большого взрыва. Если все окажется правильным, то станет возможным построить стандартную модель вплоть до момента, когда крупномасштабная структура Вселенной и ее энергия возникали в форме квантовых флуктуаций псевдо-вакуума. И это не было единичное событие: сейчас многими космологами считается, что настоящий Мир создан бесчисленным количеством таких событий, создавших бесконечность случайно-связанных инфляционных “пузырей”. Из теории инфляции поэтому вытекает, что Вселенная на деле – *Мультивселенная*.

Благодаря таким странным поискам и богатой фантазии физики и космологи к началу XXI в. установили, наконец, из чего сложена сама Вселенная. Оказалось, что она наполнена разными излучениями (фотоны, нейтрино, гравитоны) и полями: гравитация Бранса-Дикке и абстрактные поля Хиггса, детище А. Гута – инфлантон, породивший 13.7 млрд. лет назад “инфляцию”, таинственная экзотическая жидкость “квинтэссенция” и, наконец, антигравитация как могущественное свойство вакуума, порождающее неведомую доселе субстанцию Космоса – *темную энергию* (ТЭ). Та заставляет Вселенную расширяться, да еще с ускорением, и принимается сейчас за волшебное скалярное поле – проявление космологической постоянной  $\Lambda$ . (Последняя была “сгоряча” введена в космологию еще Эйнштейном и представляет собой якобы внутреннее свойство самого пространства-времени или “вакуума-пустоты” с отрицанием третьего закона Ньютона: действие ТЭ не сопровождается противодействием; см. Чернин, 2008.)

Вселенная наполнена также множеством разнообразных частиц, над природой которых постоянно ломают головы исследователи физики частиц. Из обычных составлены мы и растения, планеты, звезды, галактики, но есть еще как-будто *гипотетические* слабозаимодействующие частицы WIMPs, нейтралино, гравитино, фотино, таинственный газ “фантом”, обгоняющие свет тахионы и ускользающие от регистрации “монополи”, нестабильные бозоны и виртуальные частицы, аксионы, кварки, глюоны, “глюболы” и др. Но воображение космологов сейчас, конечно, наиболее сильно занимает всемогущий вакуум с его “сказочным” свойством порождать сонм частиц и даже антигравитацию; также потому, что он способен расширять пространство, заставляя галактики разбегаться. И сейчас мы знаем, что составлена Вселенная из обычного вещества и, возможно, – в некоторых областях Мироздания, – из гипотетического антивещества, и не только из них. В итоге после 1998 г. считается, что наблюдаемый Мир построен примерно на 5 % из обычного типа материи – нормального барионного (светящегося) вещества, на 23 % – из *темной материи* (ТМ), неизвестного происхождения и состава, и на 72 % из ТЭ – неведомой доселе формы энергии, главным носителем которой и объявлен “мистический” вакуум. При этом, как подчеркивает Санше (2009), любое сравнение современных нагромождений полей и частиц, темной материи и энергии, черных дыр и “потусторонних” сил с до-коперниканскими эпициклами не приветствуется.

Чтобы объяснить “ускорение” расширения Вселенной, космологи после долгих лет отрицания снова вернулись к  $\Lambda$ , утверждая, что даже заблуждение Эйнштейна имеет якобы богатый смысл, дав ему новое имя – ТЭ. И теперь говорят, что всеильная ТЭ не только предотвратила когда-то катастрофическое сжатие Вселенной (его все боялись в конце XX в.), но ныне неуклонно расталкивает галактики, делая пространство все более пустым; она постоянно действует, управляя судьбой Космоса. В некоторых моделях сама ТЭ развивается, неуклонно стремясь к доминированию во Вселенной, постепенно разрывая на части галактики, звезды, планетные системы и даже атомы (Конселис, 2007). ТМ и ТЭ были обнаружены по их воздействию на всю Вселенную, но их эффекты, проявления их действия можно обнаружить и на отдельных звездах, галактиках и, наверное, на Солнце. Но из чего на самом деле в те далекие времена сформировались звезды и наше Солнце?

Главной загадкой Солнца на протяжении столетий является его 11(22)-летний цикл. В XX в. многими обсуждалась возможность объяснить цикл периодическим воздействием планет. Но аст-

рономы уверены, что воздействие планет на Солнце (в частности, гравитационное) слишком мало. Но это – для привычной стандартной модели Солнца. А если это – “Солнце-2”, которое по устройству, составу и поведению не такое, как мы привыкли думать? Например, если Солнце – гигантский аналог элементарной частицы или имеет необычный состав? Не может ли даже крошечное, например, то же гравитационное, влияние на него со стороны планет – за долгое время – оказаться существенным и привести к периодичностям и эффектам, которые сейчас наблюдаем у нашей звезды и не можем объяснить?

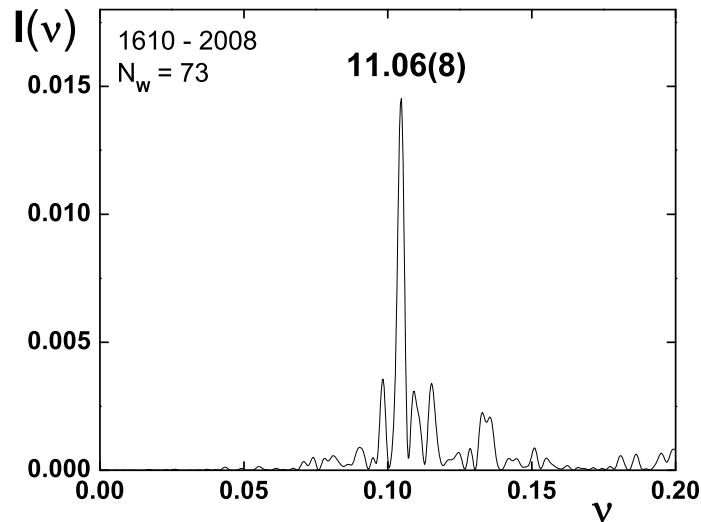
Главную роль в раскрытии сущности и природы такого гипотетического Солнца-2 могут играть, например, данные о временном поведении и свойствах общего магнитного поля (ОМП) Солнца, наблюдаемого как звезда.

## 2 Загадочный цикл Солнца

Действительно ли в глубинах нашей звезды спрятаны некие таинственные и “точные часы” по Дикке (1978), четко отсчитывающие ее ритм? Согласно Дикке, цикл продолжался, по-видимому, и в эпоху маундеровского минимума 1645–1715 гг. с сохранением фазы после окончания той эпохи. Такой же вывод следует из рис. 1, где присутствует лишь один значимый и, главное, *нерасщепленный* пик 11.06 г. Ведь раньше, следуя Кипенхойеру, господствовала “эруптивная гипотеза” о случайных, практически независимых друг от друга, взрывных процессах на Солнце, каждый из которых протекает 11 лет по Бэбкоку, но с чередованием “ведущей” полярности от цикла к циклу. Это – естественная гипотеза нерегулярного цикла с хаотическими вариациями фазы: если по “самой причуде” турбулентных движений конвективной зоны циклический взрывной процесс запаздывал, то запаздывание скажется на всех последующих циклах в виде случайных фазовых отклонений. На деле же, как показал Дикке, этого не происходит. Интерес представляет и недавнее предположение Лемпеля (2008) о неких гравитационных волнах с периодом 22 г, распространяющихся, возможно, из центра Галактики (индуцируемых, например, взаимным обращением двух массивных черных дыр) и периодически возбуждающих солнечное ядро. А может быть, цикл имеет даже внесолнечную, *космологическую* природу или ее составляющую? Или он обусловлен природой самого вещества – “конденсата” фундаментальных частиц, включая фотоны, составляющих нашу звезду?

Магнитный цикл, или цикл Хейла, со средней, почти за 400 лет телескопических наблюдений, длительностью  $2 \times P_W = 22.1(3)$  г. установлен по главному индексу солнечной активности (с. а.) – пятнам (в скобках стандартная ошибка для последних цифр). Здесь “половинный” период  $P_W = 11.06(8)$  г., или цикл Вольфа, получен нами Фурье-преобразованием 73 эпох минимума и максимума пятен с 1610 г. по 2008 г. (При этом ординате приписывались значения 0 в минимумах и +1 в максимумах – для Солнца, находящегося как бы в двух “состояниях”, подобных таковым у компьютера; см. список эпох у Аллена, 1977, и в *Solar-Geophysical Data, SGD*, <http://www.ngdc.noaa.gov>. Заметим, что  $P_W$  согласуется со значением 11.11 г., определенным когда-то самим Вольфом, а также со средним периодом пятнообразования 11.04 г. Аллена.) Единственный значительный пик 11.06 г. на рис. 1 и глубокие рассуждения Дикке демонстрируют циклическое поведение Солнца с таинственным “часовым” механизмом, помнящем о начальной фазе на протяжении примерно 400 лет.

Неожиданным для исследователей Солнца явился, например, цикл 23 с его слишком большой длительностью и продолжительным минимумом 2007–2009 гг. Ибо все предсказания минимума, согласно данным, собранным Пишкало (2008), распределены в весьма широком интервале эпох, от 2006.5 г. до 2011.4 г. Примерами отчаянных, но весьма неудачных прогнозов с. а. – максимальных чисел Вольфа  $W$  и эпох максимума и минимума циклов 22 и 23 – служат, например, прогноз до 2030 г. Чистякова (1983) и прогноз до 2235 г., который сделали Контор и др. (1983). Большой разброс чисел Вольфа, от 50 до 250, характерен и для прогнозов максимальной интенсивности 24-го цикла, см. Ишков (2008).



**Рис. 1.** Фурье-спектр эпох максимумов и минимумов солнечных пятен с 1610 г. по 2008 г.; число эпох  $N_w = 73$ . По горизонтали – частота  $\nu$  в мкГц, умноженная на 36.525, по вертикали – мощность  $I(\nu)$  в произвольных единицах. Главный пик соответствует периоду 11.06(8) г.

### 3 Что такое ОМП Солнца

Для начала отметим, что вообще есть несколько причин для регулярного и скрупулезного изучения ОМП Солнца-как-звезды: (1) временное поведение ОМП загадочно, (2) оно представляет собой, по видимому, новый индекс с. а., *независимый от пятен*, (3) в его переменности могут скрываться причина 11-летнего цикла Вольфа и механизм его замечательной фазовой стабильности, а также (4) источник происходящих время от времени нарушений длительности и мощности цикла и (5) это интересно (в связи, в частности, с проблемой т. наз. солнечного магнитного “монополя” и новыми открытиями физики света и элементарных частиц). Потому что, как и в современных космологии и квантовой механике (КМ), в физике Солнца есть большие расхождения между реальностью и ее пониманием, между фактами и их интерпретацией (см., например, Паркер, 2000). И потому, что причина 11(22)-летнего цикла Солнца до сих пор не раскрыта.

Качественно новую информацию о цикле можно получить путем измерений ОМП, которые впервые начаты в Крымской астрофизической обсерватории (Северный, 1969; Котов и Северный, 1983) и поддержаны пятью другими: Обсерватория Маунт-Уилсон (США), Солнечная обсерватория им. Дж. Уилкокса (Стэнфордский университет, США), Саянская солнечная обсерватория (Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск), обсерватория Сазерлэнд (Южная Африка, измерения группы *BiSON* Бирмингемского университета, Великобритания) и Национальная солнечная обсерватория (данные *SOLIS/VSM* обсерватории Китт-Пик, США). При таких измерениях в каждой обсерватории регулярно изо дня в день, но в разные или совпадающие годы и с перерывами по той или иной причине, регистрировался продольный эффект Зеемана спектральной линии поглощения фотосферы, причем в свете от всего видимого солнечного диска. Фактически же с помощью солнечного магнитографа измерялась круговая поляризация в крыльях той или иной линии с ненулевым фактором Ланде. Соответствующие таблицы ОМП – в публикациях, каталогах или Интернете – дают некоторое эффективное продольное поле Солнца для конкретных УТ-суток.

Магнитное поле в значительной степени определяет переменность Солнца, многие явления с. а. и сам 11(22)-летний цикл. Вытягиваясь из фотосферы в межпланетную среду солнечным ветром, оно участвует в процессах пересоединения в околоземном пространстве, являясь эффективным участ-

Таблица 1. Измерения ОМП шести обсерваторий

Обсерватория	Годы	Линия, нм	$N$	$\Delta$ , Гс	$S$ , Гс	$k$
КраО	1968–2008	Fe I $\lambda 525.02$	2784	0.11	0.64	0.93
КраО	2001–2008	Fe I $\lambda 524.71$	802	0.14	0.66	0.90
Маунт-Уилсон	1970–1982	Fe I $\lambda 525.02$	2457	0.07	0.67	0.89
Стэнфорд	1975–2008	"	9986	0.05	0.40	1.48
Саяны	1982–1993	"	313	0.05	0.77	0.77
Сазерлэнд	1992–2001	K I $\lambda 769.90$	1988	0.01	0.43	1.39
Китт-Пик	2003–2007	Fe I $\lambda 630.15$	778	0.01	0.60	1.00
Вместе*	1968–2008	–	19108	–	0.60	–

\*Общий нормированный ряд

ником переноса энергии от Солнца к Земле. Поэтому поле способно оказывать заметное влияние на земной климат и, в частности, на состояние облачного покрова (Локвуд и др., 1999). Но, как известно, секторная структура межпланетного магнитного поля (ММП) коррелирует не с пятнами и активными областями (а. о.) а с фоновыми, крупномасштабными полями фотосферы и поэтому с ОМП, пропорциональным среднему магнитному потоку видимой полусферы (Григорьев и Демидов, 1987; Котов и др., 1998).

Особо подчеркнем, что *пятна и а. о. не вносят заметного вклада в ОМП.*

#### 4 Данные ОМП за 1968–2008 гг.

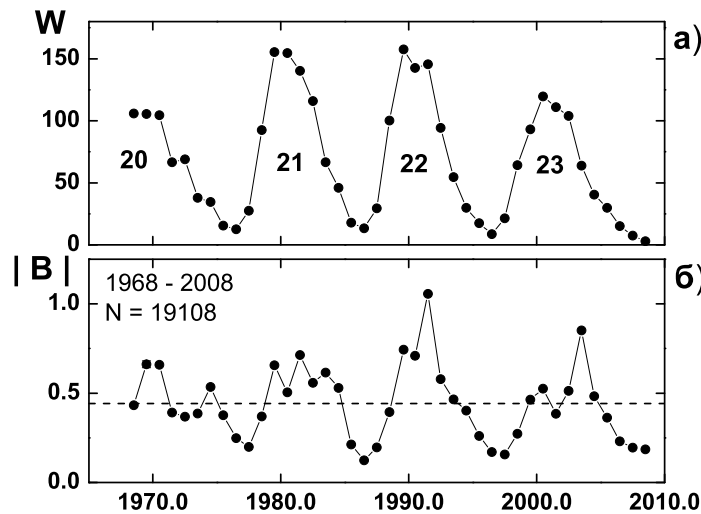
Напряженность ОМП меняется в основном в пределах  $\pm 1.5$  Гс с наибольшими значениями по модулю в годы максимума с. а., будучи вдвое меньше в годы минимума. Главная по амплитуде переменность обусловлена вращением секторной структуры Солнца с квазипериодами 26–30 сут, а также циклом и медленной эволюцией крупномасштабных полей фотосферы.

Сводка измерений шести обсерваторий за 41 год дана в таблице 1, где обозначено:  $N$  – число суточных значений ОМП (напряженности  $B$ ),  $\Delta$  – типичная ошибка отдельного измерения,  $S$  – стандартное отклонение массива,  $k$  – нормировочный коэффициент (отношение средней  $S$ -величины семи отдельных массивов таблицы к  $S$  данного массива). Поскольку напряженность ОМП мала, в каждой обсерватории принимались специальные меры для определения истинного “нуля” магнитографа. Заметим также, что в КраО с 2001 г. измерения проводятся практически одновременно в двух линиях нейтрального железа,  $\lambda 524.71$  нм и  $\lambda 525.02$  нм, с факторами Ланде  $g = 2$  и  $3$  соответственно.

Данные шести обсерваторий с помощью коэффициентов  $k$  были сведены в общий нормированный временной ряд 1968–2008 гг. с числом суточных значений  $N = 19108$ , среднеквадратичным отклонением 0.60 Гс и *формальным* средним  $-0.005(4)$  Гс. Об инструментах, методах измерений, самих данных и процедуре нормировки см. Шеррер и др. (1977), Котов и др. (1998), Чаплин и др. (2003), Демидов и др. (2005), а также *CrAO.Crimea.ua*, *SOLIS.NSO.edu/vsm* и *WSO.Stanford.edu*.

#### 5 Переменность ОМП

Нас будут интересовать вариации ОМП на частотах, гораздо меньших частот солнечного вращения. Но для начала посмотрим на переменность *модуля* ОМП, для чего знакопеременный ряд  $B$  трансформируем в ряд суточных значений  $|B|$ . Изменение со временем *среднегодовых*  $|B|$  в сравнении с ходом среднегодовых чисел Вольфа  $W$  показано на рис. 2. В обоих случаях отчетливо прослеживается цикл 10.6(7) г. (в XX в. длительность цикла пятен в среднем была не 11 лет, а 10.5 г.). Отметим также, что в 2008 г. Солнцем был достигнут *абсолютный минимум* среднегодового числа пятен за последние примерно 90 лет, см. рис. 2а и *SGD*. Интересно, что в 2008 г. зарегистрирован и

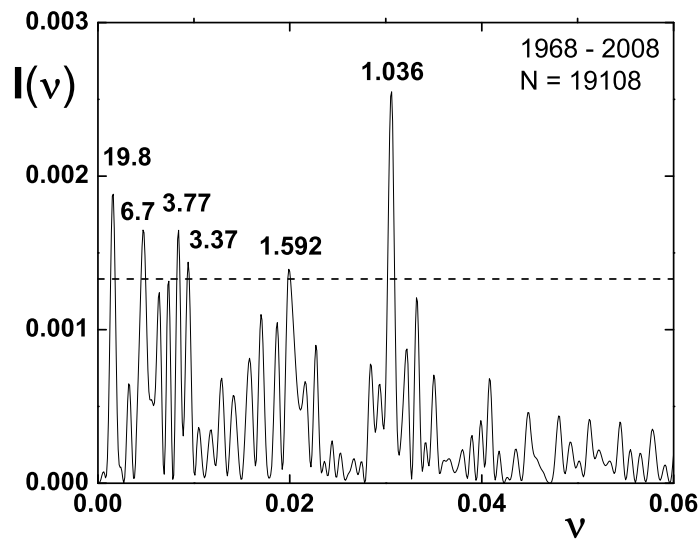


**Рис. 2.** Ход среднегодовых значений: (а) чисел Вольфа  $W$  согласно  $SGD$  и (б) модуля ОМП,  $|B|$ , в гауссах. По горизонтали – годы, числа под кривой (а) – номера циклов, вертикальной черточкой (б), сравнимой с точкой, показана типичная стандартная ошибка  $|B|$ , горизонтальной пунктирной линией – средний уровень

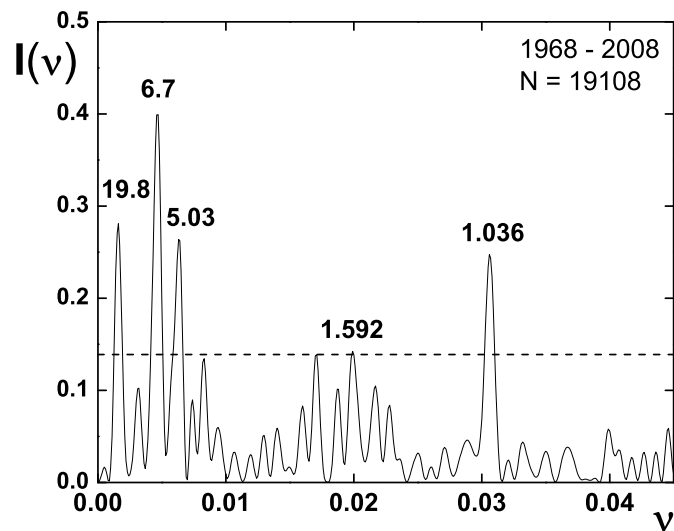
абсолютный минимум *солнечной постоянной*, внеатмосферные данные о которой имеются с 1978 г., см. Абдусаматов (2009). Среднее значение  $|B|$  составляет  $0.44(4)$  Гс.

Наиболее интересно поведение напряженности ОМП с учетом полярности. Соответствующий спектр мощности (СМ), вычисленный прямым Фурье-преобразованием суточных  $B$ -величин, показан на рис. 3. Здесь самые высокие пики отвечают периодам  $P_{\oplus} = 1.036(7)$  г.,  $P_V = 1.592(16)$  г.,  $P_C = 19.8(2.4)$  г., а также  $3.37(7)$  г.,  $3.77(9)$  г. и  $6.7(3)$  г. Первые два – неизвестной природы, они подробно обсуждались ранее (Котов, 2009). Особо отмечено странное почти-соответствие  $P_{\oplus}$  орбитальному периоду Земли (также синодическому периоду Сатурна  $1.035$  г. и среднему синодическому периоду  $1.036(20)$  г. четырех планет-гигантов), а второго – синодическому периоду Венеры  $1.60$  г. Период  $P_C$  с точностью до ошибки совпадает с магнитным циклом  $22.1$  г. Остается загадкой, кроется ли за всеми этими совпадениями какая-либо физика. (Периоды  $3.37$  г.,  $3.77$  г. и  $6.7$  г. могут быть случайными, вызванными, например, скважностью наблюдений, тем более что все три в пределах ошибок совпадают с обертонами цикла  $P_C$ .) Гармонические амплитуды трех наиболее интересных пиков следующие:  $0.050$  Гс,  $0.037$  Гс и  $0.043$  Гс соответственно для  $P_{\oplus}$ ,  $P_V$  и  $P_C$ .

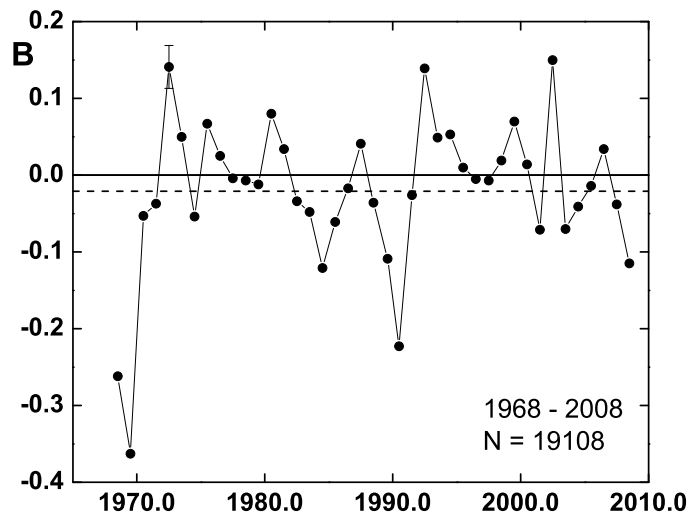
СМ может быть существенно искажен неравномерностью ряда: обсерватории измеряли ОМП в разные годы, с разными калибровками, чувствительностями и скважностями. Для учета этого был подготовлен практически равномерный ряд, состоящий из средних  $B$  за каждые три месяца (полу-годовых средних для части данных 1968–1970 гг. с малым числом измерений). В соответствующем СМ на рис. 4 среди доминирующих пиков – те же три пика  $P_{\oplus}$ ,  $P_V$  и  $P_C$ , а это говорит о их высокой достоверности. Пики  $3.37$  г. и  $3.77$  г. практически исчезли, а два высоких пика  $5.03(16)$  г. и  $6.7(3)$  г., являющиеся обертонами  $P_C$ , можно приписать негармоничности  $P_C$ -профиля. Если же последние два не обертоны и реальны, то, несмотря на их амплитуду, значимость их невысокая, поскольку о них отсутствует априорная информация.



**Рис. 3.** Спектр мощности суточных значений ОМП за 1968–2008 гг.,  $N = 19108$ . По горизонтали – частота  $\nu$  в мкГц, по вертикали – мощность  $I(\nu)$  в произвольных единицах. Пунктирной линией показан уровень значимости  $3\sigma$ , числами обозначены самые мощные пики (в годах)



**Рис. 4.** То же, что на рис. 3, для средних  $B$  за три месяца (полугодовых средних для части данных 1968–1970 гг.)



**Рис. 5.** Поведение среднегодовых  $B$  (в Гс). По горизонтали – годы, вертикальной черточкой показана типичная стандартная ошибка, пунктирная линия – средний уровень ОМП

## 6 Период магнитного цикла

На рис. 5 приведен ход *годовых* средних  $B$ , где четко видна 20-летняя периодичность с тремя экстремумами отрицательного, S, поля в 1969.5 г, 1990.5 г и 2008.5 г. (Минимум 1984.5 г. не согласуется с этой периодичностью, он может отражать другую закономерность; но заметим, что после добавления данных 2009 г. значимость экстремума 2008.5 г. существенно возросла.) Период наступления S-экстремумов 19.5(1.1) г, что соответствует пику 19.8(2.4) г. на рис. 3 и 4. Обращает на себя внимание асимметрия цикла ОМП: резкие минимумы (S-поле) и продолжительные максимумы (N-поле) с хаотическими флуктуациями.

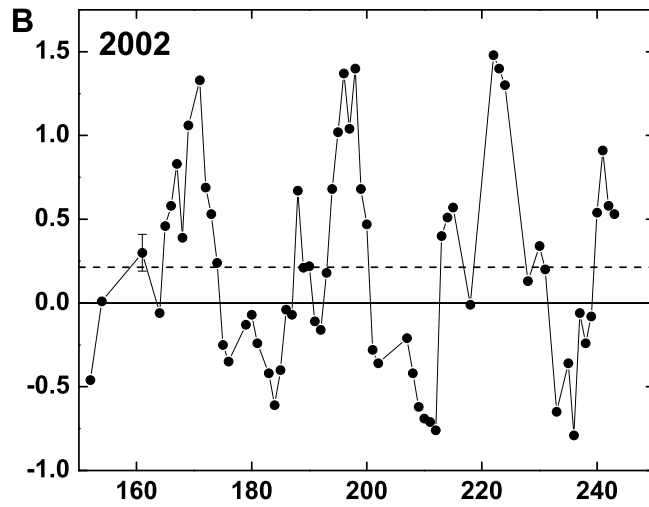
Общее среднее ОМП на рис. 5 равно  $\langle B \rangle = -0.021(15)$  Гс. Со значимостью  $1.4\sigma$  (84 %) оно не нулевое, что также свидетельствует о магнитной *асимметрии* Солнца, наблюдаемого с Земли. (Заметим, однако, что значимость среднего смещения от нуля, конечно, невелика. Но оно лучше характеризует *реальное* ОМП, чем *формальное* среднее, полученное в п. 4 по суточным значениям, т. к.  $\langle B \rangle$  получено для среднегодовых значений, лучше учитывающих неравномерность ряда.)

Для примера на рис. 6 и 7 приведены измерения ОМП, выполненные в КраО летом 2002 г. и летом 2008 г. соответственно. Видно, что в первом случае поле было преимущественно положительным, тогда как во втором – преимущественно отрицательным: средние значения равны соответственно  $+0.21(8)$  Гс и  $-0.22(2)$  Гс. Два этих интервала отвечают годам с преимущественно положительным (2002 г.) и преимущественно отрицательным (2008 г.) полем на рис. 5. Следует обратить внимание также на отчетливую, с большим размахом, 2-секторную структуру в 2002 г. (сразу перед среднегодовым максимумом модуля ОМП 2003 г. на рис. 2б) и слабо выраженную, с гораздо меньшей амплитудой, структуру 2008 г. (в минимуме с. а.).

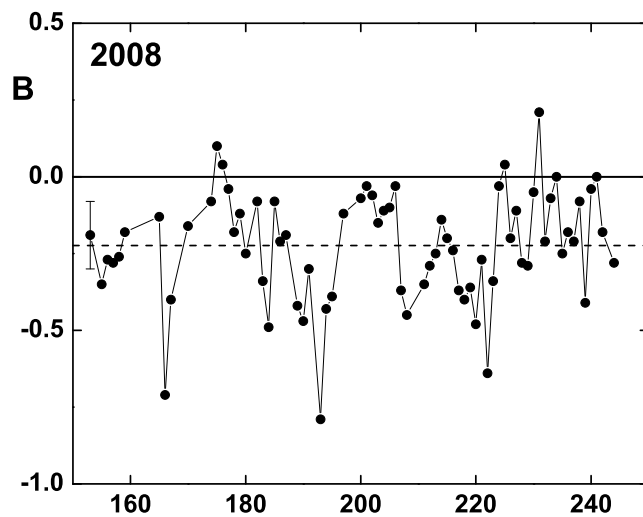
## 7 Магнитный разбаланс

Магнитная асимметрия Солнца и других магнитных звезд (подробнее см. Уилкоккс, 1971) создает удивительную ситуацию! Ведь мы знаем, что физические процессы связаны с  $B^2$ , на деле же видим асимметрию, выразившуюся как в ненулевом  $\langle B \rangle$ , так и в резких минимумах ОМП на рис. 5.

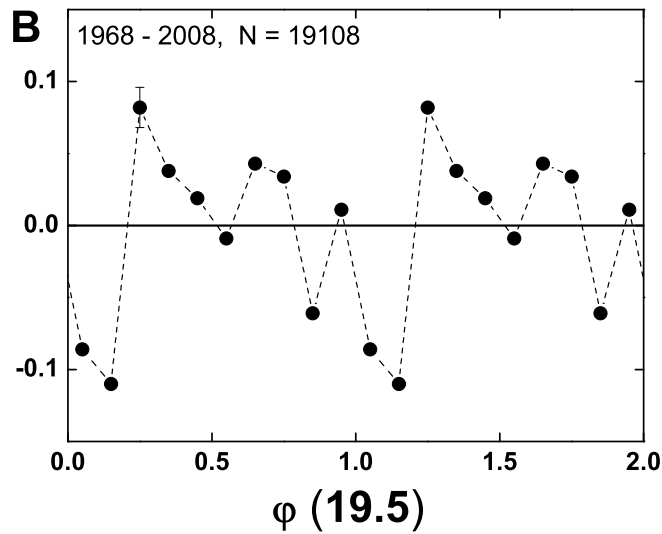




**Рис. 6.** Ход суточных значений ОМП по данным КраО с 1 июня по 31 августа 2002 г. (линия 525.0 нм,  $N = 64$ ; шкала КраО, т. е. без учета нормировочного коэффициента  $k$ ). По горизонтали – номер дня года, вертикальной черточкой показана типичная ошибка отдельного измерения, пунктирная линия – среднее значение ОМП



**Рис. 7.** То же, что на рис. 6, для интервала 1 июня – 31 августа 2008 г. ( $N = 72$ )



**Рис. 8.** Средняя кривая изменения ОМП с периодом 19.5 г. (точки, соединенные отрезками пунктирной линии). По горизонтали – фаза  $\varphi$ , по вертикали –  $B$  в гауссах; вертикальной черточкой показана типичная стандартная ошибка для фазового интервала 1.95 г.

На рис. 8 приведена средняя кривая изменения ОМП с периодом 19.5 г., построенная по суточным значениям  $B$  (нулевая фаза отвечает 0 UT, 1 января 1968 г.). Она значительно отличается от синусоиды, что и ведет, по-видимому, к появлению указанных выше обертонов  $P_C$  в СМ.

У теории нет ответа, почему Солнце в течение нескольких месяцев или лет выглядит как магнитный *монополь* с преобладанием на видимой полусфере той или иной полярности (см. обсуждение проблемы Северным, 1968; Уилкоксом, 1972; Котовым и Левицким, 1985; Григорьевым и Демидовым, 1988). Особенно впечатляют три сильных минимума ОМП, упомянутые выше. Объяснить разбаланс компенсацией полями на полюсах нельзя: согласно стэнфордским измерениям полярные поля в эти годы ничем не отличались от обычных, с преобладанием умеренного N- или S-поля на том или ином полюсе со средней абсолютной напряженностью примерно 1 Гс. К тому же известно, что в годы минимума средняя абсолютная напряженность полярного поля максимальная, но разной полярности на двух полюсах, что означает их взаимное компенсирование. В эпохи же максимума, или вблизи них, поле на полюсах близко к нулю и меняет знак.

В то же время подчеркнем, что за год Солнце на экваторе совершает примерно 14.5 сидерических оборотов вокруг своей оси или  $\approx 13.5$  оборотов относительно наблюдателя. В результате мы по существу измеряем среднее поле по всему Солнцу (исключая полюса, не вносящие ощутимого вклада в ОМП), т. к. замороженность делает невозможными колебания – в унисон с вращением – преимущественной полярности ОМП, т. е. результирующей полярности крупномасштабных структур фотосферы. Примерно то же самое говорил Уилкоккс (1972) об удивительной ситуации первой половины 1965 г. Тогда три или четыре месяца наблюдений, выполненных с магнитографом, показали преимущественное направление поля от Солнца на всех гелиоширотах. И хотя ясно, что нами наблюдается только одна полусфера, устойчивая преимущественная N-полярность на протяжении нескольких месяцев заставила его сделать вполне определенный вывод, что и обратная полусфера тогда имела ту же самую преимущественную полярность. Уилкоккс подчеркнул также, что, согласно измерениям Северного (1968), поле на обоих полюсах в том же временном интервале было тоже N-полярности!

Ввиду этих обстоятельств приходится думать о перевесе на всей фотосфере силовых линий N-

или S-полярности, уходящих *на бесконечность*, и что это фактически происходит на всем Солнце в течение некоторых промежутков времени. В принципе, это не противоречит законам физики, хотя и настораживает (ведь гипотетические магнитные “монополи”, о которых в 1931 г. писал Дирак, до сих пор не обнаружены ни в лаборатории, ни в космосе).

Период  $P_C = 19.8(2.4)$  г. несколько отличается от “канонического” периода 22.1(3) г., вытекающего из наблюдений пятенной активности за последние  $\approx 400$  лет (см. п. 2). Нетрудно заметить, однако, что  $P_C$  практически совпадает со средним двух периодов – удвоенного периода пятен и саросом 18.61 г. (Сарос – “повторение” солнечных и лунных затмений, или период движения узла лунной орбиты: за один сарос в среднем происходит 43 солнечных и 28 лунных затмения. Сарос был известен еще в древнем Вавилоне, при царствии Навуходоносора II, и в древнем Египте, т. е. примерно 2.5 тыс. лет тому назад.) Но причем здесь лунно-земной период, как он может появиться в наблюдениях Солнца? Пока, из-за недостаточной длительности ОМП-ряда, упоминание о саросе следует, конечно, воспринимать как гипотезу или как “информацию к размышлению”. Обратим, тем не менее, внимание на еще одно интригующее обстоятельство. Предыдущий продолжительный минимум пятен наблюдался в 1954 г., т. е. до начала измерений ОМП. Если тот минимум тоже был связан с доминированием отрицательного ОМП, то средний период S-экстремумов ОМП получается 18.0(1.4) г. Это отвечает именно саросу, а не солнечному циклу 22.1(3) г.: различие периодов, примерно 4(1) г., достоверно на уровне значимости  $4\sigma$ .

А.Н. Бабин обратил наше внимание еще на одно поразительное обстоятельство: период  $P_C$  совпадает с периодом соединения (на одной линии с Солнцем) главных гигантских планет – Юпитера и Сатурна, равным 19.9 г.

## 8 “Второе” Солнце – квантовый объект?

Переменность “магнитного” Солнца-как-звезды, помимо “фундаментального” пятенного цикла  $\approx 11$  лет или удвоенного  $\approx 22$  г., обнаруживает поразительный набор других периодичностей, которые точно или почти точно согласуются с движениями тел Солнечной системы (СС):

25.122(10) сут – средний *сидерический* период экваториального вращения, находящийся в тесных резонансах 5:2 и 5:3 с орбитальными и осевыми вращениями Меркурия соответственно (Котов, 2009);

1.036(7) г. – период близок к орбитальному периоду Земли, совпадая также с *синодическим* периодом Сатурна и со средним *синодическим* периодом планет-гигантов – Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна;

1.592(16) г. – в пределах ошибки – *синодический* период Венеры (1.599 г.);

19.5(1.1) г. – совпадает в пределах ошибки с саросом 18.6 г. (периодом колебаний орбитальных узлов “двойной планеты” Земля-Луна), а также с периодом соединения Юпитера и Сатурна 19.9 г.

Но влияние планет на Солнце, активно обсуждавшееся на протяжении последних 50 лет, отвергнуто из-за малости соответствующих гравитационных возмущений. Такова же судьба гипотезы о роли сложного квазипериодического движения Солнца относительно барицентра СС и корреляций с. а. с ускорением этого движения (см., например, Шэли и др., 1990). И в то же время мы уверены, что прекрасное соответствие указанных периодов Солнца (ОМП) и планет опрометчиво считать делом случая.

Согласно современным представлениям, Солнце – самогравитирующий термоядерный “реактор”, состоящий из  $\sim 2 \times 10^{57}$  частиц: нуклонов и электронов (не считая фотоны и нейтрино). С другой стороны, мы знаем, что во время вспышки типичной сверхновой выделяется энергия  $\sim 10^{54}$  эрг, причем 99.9% этой энергии – в виде нейтрино и антинейтрино. (Интересно, что такова же, по порядку величины, полная энергия Солнца:  $M_{\odot}c^2 \approx 2 \times 10^{54}$  эрг; обозначения общепринятые.) Если примерно 0.01% указанной энергии составляют оптические фотоны, то их число должно быть  $\sim 2.5 \times 10^{61}$ . Разумно предположить, что все эти фотоны находились внутри сверхновой до взрыва, откуда следует, что примерно такое же число фотонов находится в любой момент времени и внутри Солнца.

Другое рассуждение касается “путешествия” фотона, рожденного в ядре Солнца путем термоядерного процесса, до излучения фотосферой и делящегося из-за многочисленных рассеяний на

других частицах, а также трансформаций при поглощении и излучении  $\sim 5 \times 10^7$  лет. Зная, что светимость Солнца  $3.8 \times 10^{33}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ , получаем, что внутри него в каждый момент времени находятся  $\sim 1.5 \times 10^{60}$  фотонов. Это в 750 раз больше, чем число нуклонов и электронов, но всего лишь в 17 раз меньше, чем дает грубая оценка по сверхновым. Усреднив две оценки, получаем для числа фотонов внутри Солнца  $\sim 1.3 \times 10^{61}$ . Отсюда следует, что на каждый фотон приходится объем  $\sim 10^{-28}$  см $^3$ , или в линейном масштабе  $\sim 2 \times 10^{-10}$  см, что на фактор  $\sim 2.5 \times 10^5$  меньше длины волны  $\lambda \sim 5 \times 10^{-5}$  см. (Конечно, в глубинах Солнца с ростом температуры увеличивается эффективная частота излучения. Но при этом растет его плотность и уменьшается соответствующий суммарный объем.)

Итак, число фотонов и других частиц огромно: не хватает объема звезды, чтобы они не “перекрывались”, они “зависимы друг от друга”. Это подводит нас вплотную к современным представлениям КМ о *неразличимости* и *нелокальности* фотонов, всех элементарных частиц – свойствах квантового мира, доказанных в конце XX в. теоретически неравенствами Белла и экспериментально – опытами типа опытов А. Аспекта. Они опровергли гипотезу “локального реализма”: теоретически и экспериментально было доказано, что для КМ не годится обычное классическое понимание реальности. Цит. Менский (2005): “Это значит, что неверным оказывается привычное представление о том, что свойства, наблюдаемые при измерении, реально существуют до измерения, а измерение лишь ликвидирует наше незнание того, какие именно свойства имеют место. При квантовых измерениях свойства, обнаруженные при измерении, могут вообще не существовать до измерения”.

Отсюда следует, что Солнце надо воспринимать не только как конгломерат, или конденсат, различных частиц, но и почти как *единый* объект с неразличимыми – для наблюдателей – квантовыми свойствами. И, соответственно, с необычным для классической физики и астрономии поведением. Этот феномен – квантовое поведение “второго” Солнца – может, по-видимому, объяснить как наличие секторной магнитной структуры, так и ее вращение в “жесткой” системе координат. Ибо “квантовое” Солнце-2 надо понимать как некоторый *неразделимый* на части объект, как квантовую, “компьютерную машину”. И она как бы “запоминает” движение главных тел СС и фазы их обращения вокруг Солнца. И здесь особая роль принадлежит магнитному полю, свойства которого (в частности переменность) определяются квантовым состоянием фотонов (в случае ОМП – зеемановской поляризацией спектральной линии), тем более что каждый из фотонов при измерении ОМП нашими инструментами воспринимается как генерируемый всей видимой солнечной фотосферой. Другими словами, Солнце-2 как бы обладает памятью, оно ведет себя как некий “сверхкомпьютер”. Получается, что звезда Солнце-2 – квантовая система... Но с помощью какого механизма этот “компьютер” запоминает движение (положение) тел СС?

Ситуация не обычная для классических представлений. Но ведь с *парадоксами* физики сталкиваются всегда, при любом квантовом измерении, и порой эти парадоксы не поддаются логическому объяснению. Если Солнце-2 – тоже квантовый объект, не могут ли такие же парадоксы возникать при *его* измерениях?

В КМ известно, что описание системы (у нас Солнца-2) зависит от того, провели мы эксперимент (измерение) или еще не провели. В итоге всегда имеем дело с альтернативами: суперпозиция состояний или уже какое-то определенное состояние (здесь сразу же вспоминается случай “шредингеровского кота”, часто приводимый популяризаторами КМ; см., например, Менский, 2005). И эта парадоксальность, возникающая при любом квантовом измерении, связана именно с тем обстоятельством, что неизвестное *вдруг* становится известным. Логически приходится предполагать, что до измерения не было определенного состояния системы, оно возникает в результате измерения (в этом корни “принципа неопределенности” Гейзенберга).

Так, по-видимому, и с Солнцем-2: определенное состояние (например, периодическая переменность ОМП, некоторые циклы, секторная структура, ее вращение и эволюция, “активные долготы” и др.) возникло у него, конечно, в далеком прошлом (5 млрд. лет тому назад или в более отдаленном прошлом, или даже в “минувшей бесконечности”) как результат непрерывного “наблюдения” (“измерения”) Землей, планетами, “наблюдателями” и вообще связано с существованием СС и, в частности, с периодическим движением планет, а не просто “по волшебству” (по причине, скажем, динамо-процесса, турбулентности при наличии затравочного реликтового поля, течений вещества

в конвективной зоне или по воле случая). Ибо измерение Солнца “наблюдателями-планетами”, в том числе “наблюдателем” Землей, выделило лишь определенные компоненты из суперпозиции бесчисленных состояний, присущих квантовому Солнцу-2, что и привело, другими словами, к наблюдаемому нами сейчас “классическому солнечному миру”. Как говорит Менский (2005), опираясь на многомировую концепцию Эверетта, при измерении квантовой системы “возникает *квантовая корреляция, или запутывание, между измеряемой системой [Солнцем-2] и измеряющей средой, включая наблюдателя [СС и мы]*”.

Вот обычное, известное нам с незапамятных времен классическое Солнце-1, “украшенное” такими феноменами, как грануляция, пятна, факелы, а. о., цикл Вольфа, вспышки, протуберанцы, волокна, полярные переполосовки, активные хромосферные и корональные явления и образования, хромосферная сетка, дифференциальное вращение, управляется вышеперечисленными – в основном гидромагнитными и термодинамическими – процессами и явлениями. А вот Солнце-2, квантовое, нет. Феномен Солнце-2 автоматически объясняет солнечный секторный магнетизм как вращение глобального поля, структура и медленная эволюция которого подстроены под точное синхронное, в среднем, вращение с крупными телами СС по законам КМ. Существенную роль здесь играет, наверное, гравитация: даже небольшие гравитационные возмущения “квантового объекта”, или “атома”, обладающего не только сферической симметрией, но и механическим и магнитным моментами (*спином*), со стороны планет должны привести – за достаточно долгое время – к возбуждению вариаций его поведения и, в частности, вариаций глобального поля. Модель квантового Солнца-2 логически просто объясняет также “вертикальное” расположение секторных границ (вместе с сопутствующим формированием т. наз. “активных долгот” и корреляцией границ секторов со вспышечной активностью) и удивительный феномен “идентичной полярности” секторов, расположенных по обе стороны экватора, т. е. с игнорированием закона Хейла и отрицанием модели Бэбкока-Лейтона. Представление о квантовом Солнце-2 может дать, по-видимому, разумное объяснение и возникновению у фотосферы за “историческое” время феномена дифференциального вращения.

## 9 Загадка: секторная структура

В прошлом веке многие наблюдатели заостряли внимание на *двойственном* поведении Солнца: фотосфера, например, вращается дифференциально, тогда как крупномасштабные поля, а также “активные долготы”, проявляют значительную тенденцию к твердотельному вращению. (Сюда надо включить и некоторые крупные, протяженные с севера на юг, и долгоживущие “корональные дыры”; например, “дыру” 1973 г., впечатляющие рентгеновские фотографии которой были получены космической станцией *Скайлэб*.) Уилкоккс и Свалгаард (1974) рассмотрели случай секторной границы 1969–1970 гг., которая простиралась практически от полюса до полюса, пересекая экватор; она не была подвержена дифференциальному вращению и совпадала с секторной магнитной аркадой короны, рассчитанной Ньюкиркком и др. То же самое отмечалось у факелов, пятен, комплексов активности и корональных конденсаций: их поведение организуется как бы двумя независимыми системами полей, сосуществующими на Солнце одновременно: поля, активные образования и структуры, подчиняющиеся циклу Бэбкока, и секторная структура, не проявляющая гелиоширотной дифференциальной зависимости. Эта структура вращается как бы “сама по себе”, в “жесткой” координатной системе.

Иванов (1986) отметил, например, что на Солнце обнаруживаются две системы глобальной организации с. а.: (1) система факелов и кратковременных групп пятен с характерными временами жизни  $\lesssim 2.5$  г. и (2) система долгоживущих групп пятен и центров активности со сверх-ячейками размером до  $80^\circ$ – $100^\circ$  по долготе и временами жизни 1.6–2.3 г. Вторая система вращается как твердое тело с характерным периодом 27.3 сут и связана с глобальным полем в основании конвективной зоны.

Вот потому-то Северный и Уилкоккс в прошлом веке были уверены, что такая секторная структура на Солнце не может возникать по законам случая!

И действительно, одной из самых серьезных головоломок физики Солнца уже в течение почти полувека является именно феномен *секторной структуры* солнечного магнетизма (Уилкоккс

и Говард, 1968; Северный, 1969). Структура была открыта в 60-х годах XX в. по распределению преобладающей полярности ММП на орбите Земли и затем подтверждена прямыми измерениями фотосферных полей и ОМП. Особо примечательны: (а) стабильность структуры на протяжении десятилетий, (б) ориентация границ секторов N- и S-полярности по линии север-юг, причем с секторами одинаковой полярности по обе стороны экватора и в значительном диапазоне широт, до  $\pm 40^\circ$ , (в) в годы максимума преобладает 2-секторная структура (с чередованием полярностей “+” и “-”), сменяющаяся 4-секторной вблизи эпох минимума; иногда в эпохи минимума структура практически отсутствует (хаотическая смена N- и S-полярности ОМП), и (г) секторы практически не подвержены дифференциальному вращению (проявляют “твердотельное” вращение). Это дало возможность Уилкоксу (1971) предположить, что на Солнце существует *дополнительный* тип магнетизма, свойства которого сильно отличаются от поведения, диктуемого моделью Бэбкока. Называя вторую систему полей *солнечным секторным магнетизмом*, Уилкокс подчеркивал, что классическая модель Бэбкока не полна.

Представление о *квантовом*, “едином” Солнце-2 – объекте, подчиняющемся законам КМ, – объясняет феномен солнечного секторного магнетизма. Структура существует (возникла) как реакция “истинного”, квантового Солнца-2 на сам факт существования СС в результате “измерения” (наблюдения, возмущения) Солнца-2 планетной системой, т. е. “наблюдателями”. По законам КМ из неимоверно большого числа потенциальных квантовых состояний, их суперпозиции, Солнце-2 предпочло иметь состояние, соответствующее структуре и динамике СС. Естественно, что это накладывает отпечаток на структуру и временное поведение и *классического* объекта – Солнца-1, известного нам в течение тысячелетий как “отражения” квантового Солнца-2. Поведение Солнца-1 как “зеркала” истинного, квантового Солнца-2 дает простое объяснение многим (думаю, что в большинстве *реальным*) корреляциям с. а. с динамикой СС и движением барицентра, которые с противоречивых точек зрения активно обсуждались многими исследователями во второй половине XX в.

## 10 Солнце-2 и нагрев короны

После 41 года систематических регистраций ОМП можно утверждать, что “загадочность” поведения Солнца – во многом проявление “квантовых” свойств нашей звезды, а именно “второго”, квантового Солнца. То, что наблюдается на поверхности, в его атмосфере – это известное со времен Галилея “классическое” Солнце-1, его поведение достаточно хорошо известно (грануляция, пятна, цикл Вольфа и др.). А вот то, что характеризует Солнце как звезду, его глобальные характеристики: часть переменности ОМП (с поразительными резонансами с движением планет), секторная структура, 19- и 22-летний циклы и пр. – это демонстрация квантового Солнца-2 как единого целого, состоящего из неразличимых частиц, а по сути представляющего “коллективную частицу”.

Наверное, этим и можно объяснить поразительное соотношение между параметрами Солнца и основного элемента Вселенной – атома водорода:

$$\left(\frac{a_0}{R_\odot}\right)^3 \approx \frac{m_H}{M_\odot}, \quad (1)$$

где  $a_0 = \hbar^2/m_e e^2$  – радиус первой боровской орбиты,  $m_H$  – масса атома водорода, причем равенство левой и правой частей (1) выполняется с точностью до коэффициента  $\approx 2$ . Отсюда следует, что средние плотности Солнца и атома водорода практически одинаковы, и это не может быть случайным совпадением. Если второе Солнце – квантовый объект, то удивительное соотношение (1) тем более понятно: Солнце-2 в такой трактовке – “гигантский атом водорода”.

У Солнца есть известная нерешенная проблема – нагрев короны, ибо корона – сложная плазма, физические параметры и поведение которой до сих пор нам непонятны, да еще с сопутствующей проблемой температурной инверсии солнечной атмосферы. Неясно вообще, почему Солнце имеет корону. (По данным спутника *SOHO*, линиям S IV, например, отвечает температура  $T \approx 3 \times 10^5$  К, при этом над а. о. наблюдаются нетепловые скорости потоков плазмы от 30 до 55 км · с<sup>-1</sup>; Ча и др., 1998.) Общепринято считать, что энергия в корону поступает из конвективной зоны, но неясны

механизмы переноса, с такими кандидатами, например, как: нагрев звуковыми волнами, идущими из фотосферы, или ударными волнами (следствиями нестационарных процессов), резонансное поглощение альвеновских волн, аккумуляция магнитной энергии и затем ее диссипация, генерация электрических токов с последующими механизмами пересоединения или диссипации токовых слоев, механизм турбулизации плазмы и др. Но всего этого не хватает!

Мы знаем, однако, что реальный атом состоит из протона и электрона, которые, подчиняясь квантовой статистике, описываются волновыми функциями. При этом электрон – не какая-то реальная частица, находящаяся на “планетарной” орбите около протона, как в классической модели Бора, а виртуальная частица, описываемая волновой функцией и флуктуирующая с частотой первой боровской орбиты (в герцах)

$$\nu_e = \frac{m_e e^4}{2\pi\hbar^3} = 6.6 \times 10^{15}. \quad (2)$$

С этими флуктуациями ассоциируется скорость “движения” электрона в атоме (в см · с<sup>-1</sup>)

$$v_e = 2\pi a_0 \nu_e = 2.2 \times 10^8. \quad (3)$$

А это и означает температуру короны  $\approx 1.5 \times 10^6$  К, и именно такие скорости электронов способны сами по себе обеспечить нагрев короны. Они, конечно, существенно меньше для более массивных частиц, если учесть отношение масс. Тепловая температура эмиссионных линий (Зирин, 1969)

$$T = 1.95 \times 10^{12} M \left( \frac{2v}{c} \right), \quad (4)$$

где  $M$  – атомный вес иона,  $v$  – его среднеквадратичная скорость. Отсюда получаем, что для ионов железа, например, с  $M = 56$  и при  $T = 1.5 \times 10^6$  К скорость  $v \approx 18$  км · с<sup>-1</sup>. Таким образом, высокие температуры корональной плазмы обусловлены не абстрактными механизмами, связанными с перекачкой, например, энергии звуковых или альвеновских волн из фотосферы в корону, а принципиальной сущностью “второго”, квантового (или даже истинного) Солнца. Ибо в самой его природе – частицы, обладающие соответствующей энергией по законам КМ: при любом измерении именно они становятся *наблюдаемыми* частицами со скоростями порядка (3), но с учетом отношения масс электронов, протонов и ионов. Общую же картину нагрева короны следует сравнить, наверное, с процессом хокинговского излучения вблизи горизонта черной дыры.

Из закона сохранения импульса протоны должны иметь скорость  $\approx v_e m_e / m_p \approx 1.2$  км · с<sup>-1</sup>. Примерно такая скорость как раз характерна для фотосферной плазмы, а также – что наиболее интересно – и для *вращения* фотосферы.

Громадное число частиц (включая фотоны) внутри Солнца предполагает наличие колоссального числа степеней свободы. Но, согласно КМ, они не реализованы до наблюдения (измерения); лишь некоторые из них реализуются в результате измерения. Эта “реализация” автоматически порождает *горячую* корону.

Это – проблема измерения, активно обсуждаемая сейчас в разных интерпретациях КМ. Даже зная все о состоянии системы, невозможно точно предсказать результаты до измерения. Более того, согласно современной интерпретации КМ, “при квантовых измерениях свойства, обнаруженные при измерении, могут вообще не существовать до измерения” (Менский, 2005). Эйнштейн резко возражал против такого, вероятностного, характера предсказаний КМ – со знаменитым высказыванием по этому поводу: “Бог не играет в кости”. Однако копенгагенская интерпретация была успешно защищена Бором от нападков Эйнштейна. И правота Бора была теоретически, а затем экспериментально доказана в конце ушедшего века. А именно, стало опытно показано в лаборатории, что какими-либо конкретными свойствами объект до измерения вообще *не обладает*, они появляются у него лишь в процессе измерения. И главную роль здесь играет *вероятность* (в КМ, в отличие от классической, вероятность носит фундаментальный характер). Поэтому и Солнце следует воспринимать не только как классическую, привычную нам с детства звезду – дневное светило *Ра* или *Ярило* – с определенными, известными столетия и тысячелетия свойствами, но и как квантовый

объект, свойства которого зависят от прибора и процесса измерения и, таким образом, от состояния СС. Такими “приборами” на протяжении всего времени существования СС являются планеты. Ибо в КМ реальность творится при измерении. Именно здесь, наверное, находится ключ к постижению многих тайн Солнца, звезд и далекого Космоса. Включая решение проблемы горячей короны.

Для случая квантовой системы цит. снова Менский (2005): “Свойство, которое обнаружено при измерении, не существовало до измерения”. (На языке КМ такой качественный переход именуется *редукцией состояния* или коллапсом волновой функции.) Так же и с Солнцем-2: его некоторые свойства, в частности корона, периодическая переменность ОМП, магнитные секторы с твердотельным вращением, явление “активных долгот”, “сарос ОМП”, период соединения “Юпитер–Сатурн”, обрели реальность и ныне существуют в результате длительных измерений (наблюдений) нашей звезды самой СС. Потому что если Солнце-2 – квантовый объект, то при его описании уместно и такое выражение Менского: “В некотором смысле *при квантовом измерении реальность творится, а не просто познается!*”.

С этой точки зрения Солнце надо воспринимать одновременно как объект классический, с давно известными нам характеристиками фотосферы, хромосферы, короны (грануляция, пятна, а. о., дифференциальное вращение, протуберанцы и др.), и как объект, подчиняющийся законам КМ (внутреннее устройство, “химический состав”, уравнение состояния вещества, перенос энергии, глубинное вращение, лучистая зона, центральное ядро). При измерениях Солнца-как-звезды квантовые характеристики, по-видимому, выходят на первый план, т. к. мы рассматриваем всю звезду как единое целое. Поэтому свойства ОМП (его временное поведение, например) столь радикально отличаются от свойств пятен и а. о. В этой, фундаментально квантовой, картине Солнца, может быть, и кроются источники секторной структуры, феномена т. наз. “активных долгот”, а также отмеченные выше – по измерениям ОМП – поразительные резонансы вариаций ОМП с движением планет (“необъяснимо, но факт!”).

Если “второе” Солнце действительно *квантовое*, то некоторые его свойства должны определяться наблюдением (измерением), в том числе движением “наблюдателей”. А таковыми являются главные объекты СС, включая Землю, Венеру и другие планеты. Те же свойства, которые мы сейчас видим и отмечаем, возникли и существуют именно как результат таких “наблюдений”, в том числе отмеченные выше периодические вариации ОМП Солнца-как-звезды. При таких наблюдениях “квантовое” Солнце должно проявлять себя как *единое целое*, что объясняет, по-видимому, такие “загадочные” явления (не нашедшие своего объяснения на протяжении десятилетий), как *солнечный секторный магнетизм*, феномен *симпатических* вспышек (вспышек, ярчающих под влиянием других вспышек), а также *синхронные* – практически по всей видимой фотосфере – вариации магнитного поля, *синхронные* взрывные процессы (выбросы), эрупции протуберанцев размером почти с Солнце (пример – знаменитый протуберанец 4 июня 1946 г.). С квантовой природой Солнца-2 связаны, наверное, и некоторые корональные выбросы массы, восточно-западная и северо-южная *асимметрии* явлений с. а., замеченные некоторыми авторами (число групп пятен, суммарная площадь пятен, частота хромосферных вспышек), а также твердотельное вращение долгоживущих корональных структур (до 60° по широте; Антонуччи, 1975).

## 11 Есть ли “спин” у Солнца-2?

Квантовое Солнце-2 – гигантская “элементарная частица” или, точнее, квантовый “конденсат” частиц – должно обладать собственным механическим моментом, т. е. *спином*, и связанным с ним магнитным моментом. Последний может вращаться, прецессировать или колебаться в пространстве относительно системы отсчета наблюдателя. Или даже делать полный оборот в картинной плоскости наблюдателя; например, с периодом 22.1 г. – магнитным циклом пятен. И здесь сразу вспоминается феноменологическая модель взаимодействия между полярными полями и секторной структурой (трассируемой корональными потоками и фотосферным полем) Свалгаарда и др. (1974), а также модель “солнечного вращающегося магнитного диполя”, предложенная Антонуччи (1974).

Если ось такого диполя, или *спин*, вращается относительно оси вращения Солнца, то в какие-то



годы, когда ось диполя перпендикулярна оси солнечного вращения, мы наблюдаем в фотосфере резко выраженную 2-секторную структуру с преимущественно вертикальным, север-юг, расположением секторных границ и слабыми полярными полями (эпоха вблизи максимума с. а.). После поворота на  $90^\circ$  ось диполя параллельна оси вращения, и имеем усиленные поля на полюсах (разной преимущественной полярности на двух полюсах) и размытую, несущественную или даже хаотическую магнитную структуру на низких и умеренных широтах; примеры таких структур ОМП см. на рис. 6 и 7. Если полный период такого вращения диполя (спина) 22.1 г., то он хорошо качественно представляет весь магнитный цикл Солнца, объясняя как полярные переполюсовки, так и вертикальное расположение границ секторов в годы максимума, а также “активные долготы” как тенденцию формирования групп пятен и а. о. вблизи секторных границ (на низких и умеренных широтах).

Реальная картина, однако, сложнее и, наверное, гораздо интереснее и красивее. Дело в том, что, как учит КМ, при наблюдениях квантового объекта механический момент (спин  $s$ ) для наблюдателя может быть нескольких значений, или ориентаций. Для электрона, протона и нейтрона, например, он или  $+1/2$  или  $-1/2$ , т. е. направлен или к наблюдателю, или от наблюдателя, причем независимо от системы отсчета (для фотона  $s = 1$ ). Какова действительная величина и ориентация спина, а также ориентация оси магнитного диполя Солнца-2 – конденсата из фотонов, нуклонов и электронов – нам неизвестны. Ибо на поверхности Солнца-1 нами наблюдается только классическая, преобразованная картина вращений и ориентаций. Но одно можно заметить: с ориентацией, вращением и прецессией внутреннего солнечного спина (вращающегося “волчка”, обладающего магнитным моментом) может быть связано появление пятен, а. о. и других проявлений с. а.; в частности, их локализация, полярность, время жизни и другие особенности. И подчеркнем, наконец, что, согласно описываемой модели, цикл 22.1 г. – чисто солнечное явление, обусловленное *квантовой* сущностью Солнца-2, со *спином* переменной ориентации. Характеристики же последнего, – в частности период его вращения, т. е. длительность цикла 22.1(3) г., – определяются химическим составом, массой и размерами Солнца-2, а также, в силу перечисленных обстоятельств и в слабой степени, структурой и динамикой СС. Не исключено также космологическое происхождение цикла.

## 12 Послесловие: Солнце – суперквантовый феномен?

Солнце не устает преподносить нам чудеса. “Монопольное” поведение, о котором с удивлением говорили в XX в. некоторые наблюдатели, глубоко знающие физику Солнца и методику измерений магнитного поля, подтверждается многолетними измерениями ОМП. Магнитный разбаланс – реальное явление, причем он меняется со временем; его главный длинный период 19.5(1.1) г., с резкими минимумами. Их наличие подтверждает вывод Гневышева и Оля (1948) о том, что основной период Солнца состоит из двух 11-летних циклов Вольфа, и он начинается с четного 11-летнего, что на рис. 5 отвечает минимумам ОМП. Вряд ли можно понять и объяснить разбаланс в рамках господствующей теории динамо, ибо она предполагает полную N-S-симметрию поля. На Солнце же имеем дело с явными нарушениями симметрии, повторяющимися, в среднем, каждые 18–20 лет.

Более точное значение периода, наверное, 18.0(1.4) г., и оно совпадает в пределах ошибки с саросом, а не с удвоенным пятенным периодом 22.1(3) г. Также возможно, что период близок к периоду соединения Юпитера и Сатурна 19.9 г.

Соответствие по времени минимума пятенной активности и экстремума отрицательного ОМП и вызвало, по-видимому, длительный “пятенный” минимум “утомленного” Солнца в 2007–2009 гг. Наш анализ 41-летнего ряда ОМП подкрепляет гипотезу Дикке (1978) о том, что 22-летняя периодичность (пятен) регулируется “часовым” механизмом неизвестной природы. Фаза цикла Вольфа сохранялась, в среднем, на протяжении всех четырех веков со времен Галилея. Отдельные нарушения эпох наступления максимумов и минимумов наблюдаются, но они вскоре компенсируются ходом “внутренних часов” Солнца. Нарушения же хода цикла Вольфа 11 лет, или полного цикла пятен 22 г., вызываются, по-видимому, присутствием другого, независимого цикла 18–20 лет. Последний, странным образом совпадая с саросом, а также с 19.9 г. Юпитера–Сатурна, достаточно ярко выражен в поведении ОМП на рис. 5.

Во второй половине XX в. часто обсуждался вопрос о сплюснутости Солнца, вызванной, например, быстрым вращением его центральной области или ядра. Но, как известно, неоднократные, смелые и кропотливые попытки зарегистрировать отклонения видимого солнечного диска от круговой симметрии не увенчались успехом (см., например, Дикке, 1970, 1974; Дикке и Гольденберг, 1974; Хилл и Стэббинс, 1975). Представление о Солнце-2 дает простое и логичное объяснение феномену “абсолютной” сферичности Солнца (точнее, Солнца-2) как квантового объекта с неразличимыми фундаментальными частицами, а фактически как “элементарного” объекта (частицы).

То же самое можно сказать и о попытках зарегистрировать изменения диаметра Солнца с 11-летним циклом, или более “быстрые”, или даже “вековые” изменения; этому посвящен, в частности, планируемый Абдусаматовым (2009) специальный эксперимент “Астрометрия” на МКС (запуск прибора на орбиту планируется в 2011 г.). Изменения диаметра Солнца как “элементарной частицы” в принципе не могут иметь места, кроме, может быть, очень медленного и крошечного эволюционного тренда, обусловленного потерей массы. Тем более трудно поверить в вариации диаметра с гипотетическими амплитудами до 250 км с 11-летним циклом или до 750 км в ходе т. наз. “двухвекового” цикла (Абдусаматов, 2009). Что же касается уже *зарегистрированных* колебаний фотосферы с периодами примерно 9600 с и имеющих амплитуду – в пересчете на колебания радиуса – примерно 2 км, то они принципиально иной природы. Одно из этих колебаний с периодом  $P_0 = 9600.606(12)$  с имеет, по-видимому, космологическое происхождение (Котов и Лютый, 2007). Второе, с периодом  $P_1 = 9597.942(24)$  с, – фундаментальное колебание самого Солнца-2, связанное с обращением Юпитера: период биений двух колебаний, равный 400(4) сут, совпадает в пределах ошибки с *синодическим* периодом Юпитера 399 сут (подробнее см. Котов и Ханейчук, 2008). Подчеркнем, что средняя амплитуда этих колебаний на два порядка меньше, чем ожидаемые “циклические” колебания диаметра, постулируемые для “Астрометрии”.

Ответ на вопрос о присутствии внутреннего, т. наз. “реликтового”, поля Солнца тоже связан, по-видимому, с нашим проникновением в суть квантовой природы Солнца-2 (это поле, наверное, есть отражение магнитного момента, или *спина*, квантового Солнца-2).

Критически настроенные исследователи давно подчеркивали, что устойчивость такой сложной динамической системы, как Солнце, трудно обеспечить. Потому что равновесие Солнца, питаемого термоядерными реакциями, неустойчиво: оно требует идеальной сферической симметрии, а также сохранения массы. Эти условия во всех расчетах принимаются выполняющимися *a priori*. Но зависимость скорости генерации энергии  $\sim \rho T^{4.5}$  при “*p-p*”-реакциях ( $\rho$  – плотность; Роксбург, 1985), поэтому даже малое отклонение от симметрии – вследствие, например, вращения или магнитного поля – может привести к развитию неустойчивости ядерного котла. (Для наблюдаемой угловой скорости вращения наружных слоев,  $\omega \approx 2.5 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ , эти отклонения у Солнца достаточно малы, поскольку  $\omega^2 R_{\odot}^3 / GM_{\odot} \approx 2 \times 10^{-5}$ ; Тейлер, 1973. Но неизвестно, так ли медленно вращается центральное ядро, и неясной остается роль внутреннего поля.) В принципе, наверное, нужен какой-то особый физический принцип или механизм устойчивости. Последний естественным образом представляется “квантовым Солнцем-2”.

То, что главный цикл значительно длиннее 11 лет, некоторые исследователи утверждали и ранее. Говард и Ла-Бонт (1980) по измерениям лучевой скорости фотосферы, а Легогранд и Симон (1981) на основе данных о запятнненности и индексов геомагнитной активности показали, например, что активные структуры, принадлежащие двум последовательным циклам Вольфа, могут существовать на Солнце одновременно, и поэтому “фундаментальный” цикл значительно превышает 11 лет. По данным первых авторов он может достигать 22 г., по данным вторых он составляет 17–18 лет. Более того, Говард и Ла-Бонт (вслед за Дикке, 1978) заключили, что цикл – не случайный процесс, возбуждаемый поверхностными полями; он, наоборот, “управляется” снизу, источник его находится в конвективной зоне или под ней, причем действует некоторый *резонансный* механизм, поддерживающий крупномасштабные течения фотосферного вещества. Позже Леруа и Ноэн (1983) на основе данных о корональной активности (эмиссия линии  $\lambda 530.3$  нм) сделали вывод, что цикл составляет примерно 17 лет. Преимущественная полярность ММП на орбите Земли за 1926–1981 гг. также показала наличие значимой периодичности 17 лет (вместе с ее почти-обертоном 9 лет, см. Котов и

Левицкий, 1983). Практически то же самое – существование у Солнца периодичности 18–20 лет – теперь доказывают и измерения ОМП, см. рис. 5.

Одновременно мы выдвигаем гипотезу о *квантовой, внутрисолнечной* природе таких “часов” (колебаний) Солнца, причем, наверное, с обоими периодами: 22.1(3) г. (магнитный и пятенный) и 18–20 лет (ОМП). Потому что не исключено, что циклы эти обусловлены самой природой материи Солнца-2 как “квантового конденсата”, находящегося в состоянии, неведомом современной астрофизике, плюс “запутанность”, или “сцепление”, – по законам КМ – с переменным состоянием СС. (Нелокальность, запутанность фотонов и других элементарных частиц радикально меняет коэффициент непрозрачности и значительно ускоряет, по-видимому, перенос энергии в звездных недрах.) Интерес представляет анализ циклической деятельности других звезд, особенно солнечного типа и магнитных (у десятков таких звезд, проявляющих хромосферную активность, уже обнаружены квази-периоды длительностью от 7 до 25 лет). Выдвигаем также идею о том, что любая звезда солнечного типа по своей глубинной сути – квантовый объект, а то, что мы наблюдаем как “классическую” звезду, в значительной мере порождается и управляется квантовыми законами и механизмами.

Наблюдатели прошлого века отмечали, что по загадочной причине активные явления на Солнце связаны часто с присутствием (преобладанием) отрицательного поля. На языке энергетики разумно тогда констатировать следующее. Эпохи экстремумов S-ОМП означают, по-видимому, что при почти полном отсутствии или слабости положительных секторов ОМП энергия S-поля Солнца в эти интервалы времени идет в основном на усиление отрицательного ОМП (крупномасштабных структур S-полярности). Это создает дефицит S-поля для генерации явлений локальной с. а., что и ведет к дефициту пятен. Именно это имело место, по-видимому, в 2008 г. – в эпоху экстремально “затянувшегося” минимума пятен.

Два других экстремума S-поля, наблюдавшиеся в 1969 г. и 1990 г., в отличие от S-экстремума 2008 г., соответствовали подъему с. а., они были даже вблизи ее максимумов и потому не привели к дополнительной “нехватке” пятен и “затяжке” цикла и, тем самым, к увеличению продолжительности минимума и увеличению длительности цикла Вольфа (от минимума до минимума). Заметим, наконец, что впервые за последние  $\approx 100$  лет (с 1913 г.; или даже за 160 лет согласно Ишкову, 2008) длительность цикла достигла практически 12 лет, что надо сравнить со средней длительностью 10.5 лет в прошлом веке.

Обе другие “загадочные” периодичности ОМП, 1.036 г. и 1.59 г., согласуются с *синодическими* движениями планет, а первый еще и чересчур близок к периоду Земли. Совпадения явно неслучайные, но мы не видим разумного механизма такой удивительной “синхронизации”, ибо ни гравитационное, ни электромагнитное (включая чисто кулоновское) взаимодействия не спасают. Вряд ли поможет и гипотеза о “мифическом” влиянии движения Солнца относительно барицентра СС (из-за слабости гравитационного взаимодействия; гипотеза время от времени обсуждается на протяжении последних 50 лет; см., например, Шэли и др., 1990; Низовцев, 2009).

Современная теория генерации и эволюции магнитного поля Солнца, основанная на механизме динамо и феноменологической модели (цикла) Бэбкока-Лейтона, не в состоянии объяснить возникновение, устойчивость и почти идеальную соизмеримость отмеченных вариаций ОМП и движений СС. Можно тогда предположить, что резонансы – *реликтовое* явление, отпечаток того, что происходило на заре формирования Солнца и планетной системы. Можно даже говорить о некоем механизме поддержания точных резонансов: наиболее вероятно, существует и стабильно то, что находится в резонансе. Неизвестным образом внутри Солнца и при существенном участии магнитного поля происходит *кодировка, запоминание и “воспроизведение” информации о состоянии СС, ее динамике*. Такой механизм, наверное, существует в природе, хотя нам пока непонятны силы, его реализующие. Нам кажется, что единственно разумное и возможное, что можно сейчас обсуждать всерьез, это *квантовая* сущность Солнца-2.

А именно тот факт, что Солнце-2, находясь в экзотическом состоянии материи, сродни некоему “бозе-конденсату”: система частиц ведет себя как одна “суперчастица”. И она обладает *спином* – квантовым аналогом вращения. Колебания спина в пространстве задают 22-летний магнитный цикл Солнца вместе с пестрой картиной сопутствующих активных явлений. Как сфера выглядит оди-

наково, с какого бы направления и под каким бы углом мы ее ни рассматривали, так и Солнце-2. Так же не меняются для внешнего наблюдателя и симметричные уравнения, описывающие “наш квантовый объект”, и его “спин”.

Возможно, что и внутренние области планет, с их огромными давлениями, тоже обладают чертами бозе-конденсата и, соответственно, “квантовыми спинами”. А это может дать ключ к пониманию, например, несовпадения осей вращения и дипольного магнитного поля у части планет, а также следующих “таинственных” резонансов СС:

- 1) резонанс “Венера-Земля”; а именно резонанс между осевым и орбитальным вращениями Венеры: при соединении с Землей к нам всегда повернута одна и та же сторона этой планеты;
- 2) резонанс 2:3 между осевым и орбитальным вращениями Меркурия (в результате “сутки” на Меркурии делятся 176 земных суток, т. е. ровно два его орбитальных периода);
- 3) почти-совпадение периода осевого вращения Земли с величиной  $9 \times P_0$ , где  $P_0 = 9600.606(12)$  с – период глобальной пульсации Солнца (совпадающий с периодом “когерентной космической пульсации”; Котов и Лютый, 2007);
- 4) поразительный факт “синхронизации” осевых вращений: наилучшее общее кратное периодов самых массивных тел СС, 9780(240) с, в пределах ошибки совпадает с  $P_0$  (рассматриваются шесть быстро-вращающихся планет и 10 крупнейших астероидов; исключены Солнце и медленные ротаторы Меркурий, Венера и Плутон, а также Эрида с неизвестной скоростью вращения; см. Котов, 2006).

Конечно, тайной пока остается “цикл сароса” в изменениях ОМП. Трудно поверить, что положение Луны с массой, составляющей всего 1.2 % массы Земли, может сказываться на поведении ОМП Солнца. Понять явление поможет, наверное, представление о квантовом Солнце-2, поскольку для него даже малое, как у системы Земля-Луна, изменение ориентации момента инерции с периодом сароса, причем с регулярными прохождением Луны через прямую “центр Солнца – Земля” (с соответствующей четкой чередой затмений), может сказываться на переменности самого квантового объекта, т. е. и ОМП. То же самое можно сказать о возмущающей роли соединений Юпитер-Сатурн (период 19.9 г, с которым оба гиганта оказываются практически на одной прямой с Солнцем). Для более надежных выводов необходимы новые измерения ОМП.

Об истинной природе трех периодичностей, включая 22(18–20)-летний цикл, надо глубже задуматься, основываясь, возможно, и на мысли об *антропном принципе*, который все чаще выходит на страницы научных статей (см., например, Карр и Рис, 1979; Чернин, 2007). Ибо эти загадки – в русле такого интересного высказывания Паркера (2000): “Солнце более странное, чем мы думаем, оно обнаруживает загадочные проявления обычных законов физики и ставит новые проблемы с каждым значительным шагом пытливого измерения... Мы поражаемся нескончаемым разнообразием явлений, открывающихся нам с проникновением внутрь Солнца”.

Если не появится какое-либо другое разумное объяснение указанных выше периодичностей ОМП, то следует подумать и о нарушениях *принципа причинности* на Солнце. Таких, с какими на деле встретилась на рубеже XXI в., например, космология, свободно отрывающаяся теперь от земных законов и порой “парящая высоко в небесах”. А вместе с нею и большинство космологов-факиров, решительно отбросивших “нафталин старых предрассудков” и срочно прикрывших нарушения принципа, однако, наспех выдуманными, почти метафизическими, понятиями-новоделами: *темная материя*, *темная энергия* или антигравитация, а также *квинтэссенция* с запахом алхимии. С принятием идеи квантового Солнца-2 у нас появится шанс приблизить и физику Солнца к метафизике. Или даже к пределу познания устройства Солнца и звезд?

Автор благодарит Н.П. Русака за техническое обеспечение работы телескопа БСТ-1 и магнитографа КраО, В.И. Ханейчука за активное участие в измерениях ОМП и разработку компьютерных программ, Ф.М. Санше за стимулирующие дискуссии о физике Солнца и фундаментальных константах, а также В.В. Низовцева за обсуждения минимума Солнца 2007–2009 гг. и А.Н. Бабина за полезные комментарии.

**Замечание при корректуре.** Наблюдения пятен и ОМП показали, что затянутый и глубокий минимум (“Солнце в коме”) продолжался и в 2009 г, со среднегодовым значением  $\langle B \rangle = -0.125(7)$  Гс. Этот факт усиливает вывод об ОМП-цикле 20 лет, совпадающем в пределах неопределенности как с саросом, так и с циклом “Юпитера-Сатурна” 19.9 г, одновременно обостряя проблему солнечного “магнитного монополя”.

## Литература

- Абдусаматов Х. // Наука и жизнь. 2009. №. 1. С. 34.
- Аллен К.У. // Астрофизические величины. М.: Мир. 1977.
- Антонуччи (Antonucci E.) // Stanford Univ. Inst. Plasma Res. Rep. 1974. №. 570.
- Антонуччи (Antonucci E.) // Il Nuovo Cimento. 1975. V. 25B. P. 513.
- Гневывшев М.Н., Оль А.И. // Астрон. журн. 1948. Т. 25. С. 18.
- Говард, Ла-Бонт (Howard R., LaBonte V.J.) // Astrophys. J. 1980. V. 239. P. L33.
- Григорьев В.М., Демидов М.Л. // Астрон. цирк. 1988. №. 1531. С. 21.
- Григорьев, Демидов (Grigoryev V.M., Demidov M.L.) // Solar Phys. 1987. V. 114. P. 147.
- Демидов М.Л., Григорьев В.М., Пещеров В.С. // Астрон. журн. 2005. Т. 82. С. 628.
- Дикке (Dicke R.H.) // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1970. V. 8. P. 297.
- Дикке (Dicke R.H.) // Science. 1974. V. 184. P. 419.
- Дикке (Dicke R.H.) // Nature. 1978. V. 276. P. 676.
- Дикке, Гольденберг (Dicke R.H., Goldenberg H.M.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1974. V. 27. P. 131.
- Зирин Г. // Солнечная атмосфера. М.: Мир. 1969.
- Иванов Е.В. // Солн. данные. 1986. №. 7. С. 61.
- Ишков В.Н. // Одесский астрон. календарь. 2009. Вып. 10. Одесса: Астропринт. 2008. С. 172.
- Карр, Рис (Carr B.J., Rees M.J.) // Nature. 1979. V. 278. P. 605.
- Конселис К. // В мире науки. 2007. №. 6. С. 22.
- Контор Н.Н., Любимов Г.П., Переслегина Н.В., Хотилова Т.Г. // Солн. данные. 1983. №. 11. С. 74.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2006. Т. 102. С. 99.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2009. Т. 105. №. 1. С. 75.
- Котов В.А., Левицкий Л.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 71. С. 32.
- Котов В.А., Лютый В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 1. С. 98.
- Котов В.А., Северный А.Б. // Общее магнитное поле Солнца как звезды. Каталог 1968–1976. М.: АН СССР. 1983.
- Котов В.А., Ханейчук В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. №. 1. С. 65.
- Котов, Левицкий (Kotov V.A., Levitsky L.S.) // Solar Magnetic Fields: Origin and Coronal Effects. / Ed. J.O. Stenflo: IAU. 1983. P. 23.
- Котов и др. (Kotov V.A., Scherrer P.H., Howard R.F., Haneychuk V.I.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1998. V. 116. P. 103.
- Легранд, Симон (Legrand J.P., Simon P.A.) // Solar Phys. 1981. V. 70. P. 173.
- Лемпель (Lempel B.) // 2008. <http://www.lempel.net>.
- Леруа, Ноэн (Leroy J.-L., Noens J.C.) // Astron. Astrophys. 1983. V. 120. P. L1.
- Локвуд и др. (Lockwood M., Stamper R., Wild M.N.) // Nature. 1999. V. 399. P. 437.
- Менский М.Б. // Человек и квантовый мир. Фрязино: Век-2. 2005.
- Низовцев В.В. // Частное сообщение. 2009.
- Паркер (Parker E.N.) // Phys. Today. 2000. V. 53. №. 6. P. 26.
- Пишкало Н.И. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2008. Т. 24. С. 370.
- Роксбург (Roxburgh I.W.) // Solar Phys. 1985. V. 100. P. 21.
- Санше (Sanchez F.M.) // 2009. <http://grandcosmos.org>.
- Свалгаард и др. (Svalgaard L., Wilcox J.M., Duvall T.L.) // Solar Phys. 1974. V. 37. P. 157.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1968. Т. 38. С. 3.
- Северный (Severny A.) // Nature. 1969. V. 224. P. 53.

- Тейлер Р. // Строение и эволюция звезд. М.: Мир. 1973.
- Уилкоккс (Wilcox J.M.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1971. V. 83. P. 561.
- Уилкоккс (Wilcox J.M.) // Comm. Astrophys. Space Sci. 1972. V. 4. P. 141.
- Уилкоккс, Говард (Wilcox J.M., Howard R.) // Phys. Rev. Lett. 1968. V. 20. P. 1252.
- Уилкоккс, Свалгаард (Wilcox J.M., Svalgaard L.) // Solar Phys. 1974. V. 34. P. 461.
- Хилл, Стэббинс (Hill H.A., Stebbins R.T.) // Astrophys. J. 1975. V. 200. P. 471.
- Ча и др. (Chae J., Schühle U., Lemaire P.) // Astrophys. J. 1998. V. 505. P. 957.
- Чаплин и др. (Chaplin W.J., Dumbill A.M., Elsworth Y., et al.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2003. V. 343. P. 813.
- Чернин А.Д. // Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв. 2007. Т. 60–61. С. 41.
- Чернин А.Д. // УФН. 2008. Т. 178. С. 267.
- Чистяков В.Ф. // Солн. данные. 1983. №. 1. С. 97.
- Шеррер и др. (Scherrer P.H., Wilcox J.M., Svalgaard L., et al.) // Solar Phys. 1977. V. 54. P. 353.
- Шэли и др. (Shirley J.H., Sperber K.R., Fairbridge R.W.) // Solar Phys. 1990. V. 127. P. 379.