

53.01(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(28 февраля—1 марта)**

28 февраля и 1 марта 1979 г. в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Д. В. Ш и р к о в, В. П. Г е р д т, О. В. Т а р а с о в. Современные возможности проведения аналитических вычислений для физических задач на ЭВМ.
2. В. Г. К а д ы ш е в с к и й. Калибровочная теория электромагнитных взаимодействий, содержащая элементарную длину.
3. Г. А. А с к а р ь я н. Мезоны и нейтрино при сверхсжатии вещества и пучков.
4. А. Б. С е в е р н ы й, В. А. К о т о в, Т. Т. Ц а п. Исследование пульсаций Солнца и проблема его внутреннего строения.
5. В. А. К о т о в, С. К у ч м и. Исследование колебаний яркости Солнца.
6. С. В. В о р о н ц о в, В. Н. Ж а р к о в. Теоретический спектр колебаний Солнца.

Краткое содержание четырех докладов публикуется ниже.

539[.123+.126](048)

Г. А. Аскарьян. Мезоны и нейтрино при сверхсжатии вещества и пучков частиц¹. Известные источники нейтрино² и мезонов обладают малой интенсивностью: так, импульсные ядерные реакторы дают только антинейтрино с малой средней энергией (≤ 10 МэВ) в результате медленного (> 1 с) β -распада. Мезонные фабрики используют пучки ускоренных частиц сравнительно малых токов. В то же время для ряда научных и прикладных целей крайне желательны импульсные источники мезонов и нейтрино очень большой интенсивности.

В работе¹ предлагается мощный импульсный источник мезонной плазмы и нейтрино, излучаемых при распаде мезонов.

1. Мезоны и нейтрино при сжатии пучков частиц. Большие успехи достигнуты в получении ионных пучков: получены^{3,4} токи \sim МА при энергиях \sim МэВ и длительностях в десятки наносек^{3,4}, и проведена инжекция таких пучков в магнитные поля с $H \sim 10^3 - 10^4$ Э. Для осуществления рождения мезонов энергия таких пучков должна быть увеличена в сотни раз. Это можно сделать, резко увеличив магнитное поле во времени, например, сжав лайнером магнитный поток до полей $10^5 - 10^6$ Э. Тогда энергии ионов при нерелятивистском адиабатическом сжатии $W_1 \approx W_0 (H_1/H_0)$ поднимутся до сотен МэВ (при квазибетатронном ускорении возрастание энергии может быть гораздо больше). Кроме усиления поля взрывным сжатием лайнера⁵, возможны и другие электротехнические способы получения больших полей. При сбросе пучка на мишень появится ступок мезонной плазмы и излучение нейтрино при распаде $\pi \rightarrow \mu + \nu$ и $\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu}$. При этом образующиеся мезоны могут доускоряться в вихревом поле или быть введены в ускоритель. Кроме сброса пучка на мишень возможна генерация при столкновениях с ядрами газа или встречными пучками. Процесс сброса и генерации может быть осуществлен и порциями. Полное число частиц может достигать до $10^{16} - 10^{17}$, что при временах сброса $\sim 10^{-7}$ с даст $10^{23} - 10^{24}$ нейтрино/с при энергиях в десятки и сотни МэВ.

Этот источник может быть доступен, так как стоимость мега-амперных ускорителей не превышает 10^5 долларов.

2. Генерация мезонов и нейтронов при сверхсжатии вещества. Использование сверхсжатия вещества абляционным давлением⁶ для получения вспышек термоядерных⁷ или ядерных цепных реакций⁸ не ограничивается энергетическими применениями. В последнее время предложены использования таких вспышек для получения сверхинтенсивных нейтронных потоков^{8,9}, для ускорения тяжелых ионов при разлете плазмы во вне или внутрь поллой оболочки¹⁰, для получения трансурановых элементов^{10,11}, для получения больших магнитных полей⁸ и т. д. Однако температуры при вспышках \sim МэВ — малы для мезообразования. Наибольший интерес представляет взрыв поллой сверхсжатой оболочки¹⁰, так как в этом случае можно использовать имплозию¹² для увеличения концентрации воздействия. Полую сверхсжатую оболочку можно получить сжатием поллой оболочки, используя инерционное поджатие или противодавление замороженных¹ или спонтанно возникших¹³ магнитных полей (магнитная подушка). Допустим, что внутри такого слоя в магнитном поле находится плазма с концентрациями $\sim 10^{25}$ част/см³, в сотни раз меньшим концентраций в сверхсжатом слое ($\sim 10^{27}$ част/см³). При взрыве сверхсжатого слоя имплозия из-за плохой центровки может дать увеличение температур не более десятков раз, однако индукционное ускорение ионов сжимающимся магнитным полем может обеспечить энергии ≥ 100 МэВ. При этом встречные столкновения частиц, вращающихся на соприкасающихся встречных орбитах, увеличивают вероятности рождения мезонов (сечение рождения $\sigma \geq 30$ Мбн¹⁴). Такое индукционное ускорение вовлекает почти всю массу ионов, причем ввиду высоких начальных температур на режим ускорения не влияют столкновения частиц. Вспышка образования ступка π -мезонов и излучения нейтрино может обеспечить $\sim 10^{18} - 10^{19}$ частиц за время $\sim 10^{-8}$ с и при распаде μ -мезонов дополнительно еще нейтрино в течение $\sim 10^{-6}$ с, т. е. можно ожидать $10^{26} - 10^{27}$ нейтрино/с с энергиями в десятки-сотни МэВ.

Возможно такое же использование имплозии при схлопывании среды с полостью¹⁵ в мощном нейтронном потоке от вспышки^{7,8} за счет энерговыделения в среде при реакциях типа (nf) , $(n\alpha)$ ¹⁵ и т. д.

Получение плотных ступков мезонов и мощных нейтринных вспышек может быть использовано не только в ядерной физике, но и в прикладных целях — медицине, биологии, связи, холодном синтезе и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарьян Г. А. — Письма ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 322.
2. Нейтрино: Сб. статей. — М.: Наука, 1970. — (Современные проблемы физики).
3. Mahaffey R., Pasour J., Golden J., Kapetanakis C. A. — Appl. Phys. Lett. 1978, v. 32, p. 522.

4. Пападичев В. А. — Ат. техн. за рубежом, 1978, № 12, с. 3.
5. Сахаров А. Д. — УФН, 1966, т. 88, с. 725.
6. Аскарьян Г. А., Мороз Е. М. — ЖЭТФ, 1962, т. 43, с. 2319.
7. Nusscolls J., Wood L., Thiessen A., Zimmerman C. — Nature, 1972, v. 289, p. 239. — Перевод: Ат. техн. за рубежом, 1972, № 3, с. 21.
8. Аскарьян Г. А., Намиот В. А., Рабинович М. С. — Письма ЖЭТФ, 1973, т. 17, с. 597.
9. Brugger R. — Nucl. Technology, 1972, v. 15, p. 14. — Перевод: Ат. техн. за рубежом, 1973, № 7, с. 39.
10. Аскарьян Г. А., Намиот В. А. — Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. 29 сентября — 2 октября 1976 г. — Дубна: ОИЯИ, 1976. — С. 175.
11. Белоконов В. А., Ильинский Ю. А., Хохлов Р. В. — Письма ЖЭТФ, 1976, т. 24, с. 569. — (20 ноября 1976, поступило 19 октября 1976).
12. Забабахин Е. И. — В кн. Механика в СССР. 50 лет. Т. 2. — М.: Наука, 1970. — С. 313.
13. Аскарьян Г. А., Рабинович М. С., Смирнова А. Д., Студенов В. Б. — Письма ЖЭТФ, 1967, т. 5, с. 116.
14. Локк В., Миздей Д. Физика частиц промежуточных энергий. — М.: Атомиздат, 1972.
15. Аскарьян Г. А., Намиот В. А. — Письма ЖЭТФ, 1974, т. 20, с. 332.

523 9.1/8(048)

А. Б. Северный, В. А. Котов, Т. Т. Цап. Исследование пульсаций о л н ц а и проблема его внутреннего строения. Поиски нейтринно от Солнца и его глобальных колебаний — два новых направления в экспериментальном изучении внутреннего строения и источников энергии Солнца. Началом исследований в области гелиосейсмологии послужили работы Г. Хилла и др.¹ (США), которые по дрожанию края солнечного диска обнаружили целый спектр осцилляций с периодами от 7^m до 70^m . Одновременно, в 1974 г., в Крыму было начато изучение пульсаций Солнца по доплеровскому сдвигу линий поглощения в его спектре. Для этого был применен солнечный магнитограф и дифференциальный метод: положение спектральной линии от центральной зоны (размером $\sim R_{\odot}$) диска измеряется относительно среднего положения от краевой зоны диска. Чувствительность таких измерений составляет ~ 1 м/с.

Средний период колебаний по данным первых 76 часов наблюдений в 1974 г. оказался $2^h40^m \pm 0^m,5$ и амплитуда около 2 м/с. Примечательно, что физики из Бирмингема² почти одновременно, но другим методом, обнаружили аналогичный эффект и с тем же периодом: $2^h39^m \pm 3^m$, с амплитудой ≈ 3 м/с; фазы максимальной скорости в обоих измерениях практически совпали.

Период 160^m близок к периоду пульсаций почти однородной сферы с M и R Солнца (167^m). Но вывод об однородности указывал бы на радикальное отличие модели Солнца от существующих, хотя и приводил бы к ничтожному выходу нейтрино; светимость была бы в 10^6 раз меньше наблюдаемой. Кроме того, в такой модели должна возникнуть сильная конвективная неустойчивость Рэлея — Тейлора.

Тогда же Кристенсен — Далсгард и Гаф⁴ указали на выход из трудности: принятую модель с обилием тяжелых элементов $Z = 0,04$ можно согласовать с наблюдениями, если колебания гравитационные квадрупольного типа.

Анализ измерений за пять лет, 1974 — 1978 гг. (всего более тысячи часов наблюдений в течение 215 дней) показал, что наилучшее значение периода $P = 160^m, 010 \pm \pm 0,^m004$. Аналогичные измерения в Стэнфорде⁵ (США), ведущиеся с 1976 г., дали такое же значение P , причем фазы максимальной скорости совпали с точностью до 15^m (рис. 1). Более того, недавние измерения Снайдера и др.⁶ методом резонансной спектроскопии также подтвердили наличие пульсаций с периодом 160^m . Синхронно с колебаниями скорости происходят также изменения яркости и общего магнитного поля Солнца⁷, а также его радиоизлучения (см. ниже доклад В. А. Котова и С. Кучми).

Окончательный аргумент в пользу того, что наблюдается несомненный эффект солнечного происхождения, дает зависимость амплитуды пульсаций от фазы 27-дневного вращения Солнца⁸ (рис. 2). Такая зависимость может говорить о квадрупольности колебания, когда пучность (узел) как бы «бежит» по поверхности с периодом, близким к периоду вращения (эффект, рассмотренный Жарковым и Воронцовым⁹).

Далее, было замечено, что колебания временами практически исчезают, потом возобновляются почти с той же фазой. Поэтому, возможно¹⁰, что Солнце есть система с низкой «добротностью» Q , в которой происходит быстрое затухание колебаний из-за турбулентности в фотосфере. Возможно также расщепление мод колебаний из-за вращения, что будет приводить к биениям и модуляции амплитуды колебаний при наличии нескольких мод.

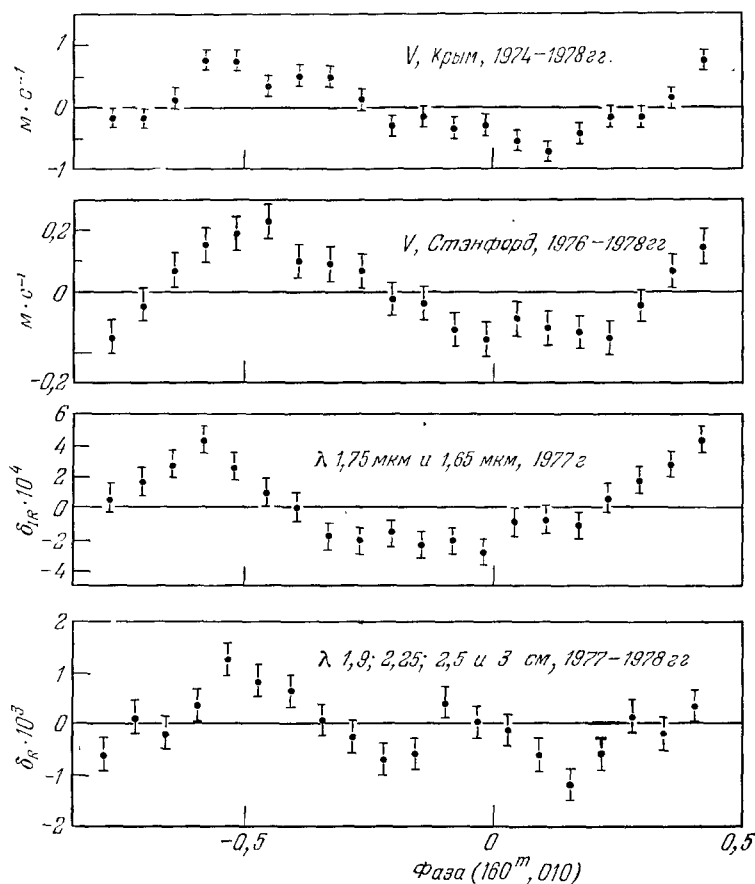


Рис. 1. Средние кривые дифференциальной («центр—край») скорости (V) Солнца по наблюдениям в Крыму и Стэнфорде (вверху) и средние кривые изменения ИК яркости (λ 1,75 и 1,65 мкм) и сантиметрового радиоизлучения (λ 1,9; 2,25 и 3,5) для периода пульсаций $160^m, 010$.

Нулевая фаза соответствует 00 UT, 15 июля 1978 г.

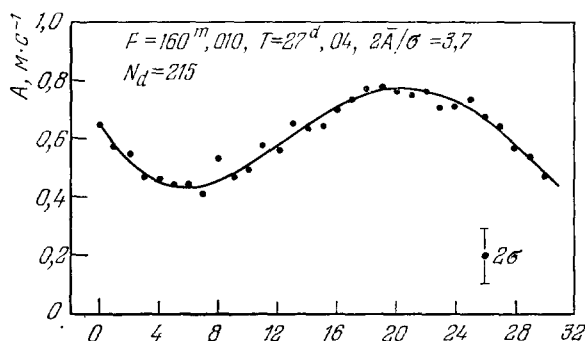


Рис. 2. Зависимость амплитуды (A) пульсаций с периодом $160^m, 010$ от фазы вращения: Солнца с периодом $T = 27^d, 04$.

Использованы измерения за $N_d = 215$ дней наблюдений в 1974—1978 гг. Значимость волны $2\bar{A}/\sigma = 3,7$; по горизонтальной оси — фаза вращения (в днях), кривая через точки проведена «вручную». «Разрешение» по фазе вращения $\approx 0,5$ Т.

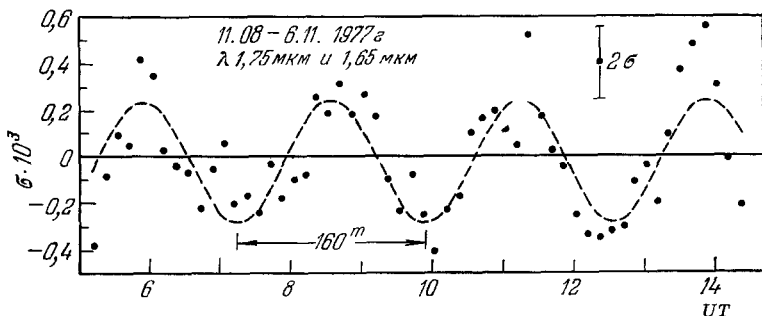
Наличие глобальных, типа g -мод, колебаний длинного периода, которые должны захватывать внутренние слои Солнца, указывает на возможность дополнительного агента теплоотвода энергии из Солнца путем волновых движений, что может облегчить решение проблемы низкого потока нейтрино. Важно отметить также существенную асимметрию кривой скорости (см. рис. 1), что, вероятно, говорит о нелинейности 160^m -колебания, возникающей в самой верхней атмосфере Солнца. Ответ, однако, неоднозначен, и естественное, в рамках современной модели строения Солнца, объяснение наблюдаемых колебаний пока не найдено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hill H. A., Stebbins R. T., Brown T. W. — In: Proc. of V Intern. Conference on Atomic Masses and Fundamental Constants. — Paris: 1975.
2. Severny A. B., Kotov V. A., Tsap T. T. — Nature, 1976, v. 259, p. 87.
3. Brookes J. R., Isaak G. R., van der Raay H. B. — Ibid., p. 92.
4. Christensen-Dalsgaard J., Gough D. O. — Ibid., p. 89.
5. Scherrer P. H., Wilcox J. M., Kotov V. A., Severny A. B., Tsap T. T. — Nature, 1979, v. 277, p. 635.
6. Snider J. L., Kearns M. D., Tinker P. A., — Nature, 1978, v. 275, p. 730.
7. Kotov V. A., Severny A. B., Tsap T. T. — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1978, v. 183, p. 61.
8. Severny A. B., Kotov V. A., Tsap T. T. — In: Proc. of 2nd European Solar Meeting «Plein Feax sur la Physique Solaire». — Toulouse, 1978. — P. 123.
9. Воронцов С. В., Жарков В. Н. Доклад на научной сессии ООФА АН СССР. 1979. — См. УФН, 1979, т. 128, с. 731 (см. далее в данном номере).
10. Brookes J. R., Isaak G. R., McLeod C. P., van der Raay H. B., Roca Cortes T. — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1978, v. 184, p. 759.

523.9.1/8(048)

В. А. Котов, С. Кучми. Исследование колебаний яркости Солнца. Спектр наблюдаемых солнечных осцилляций, кроме хорошо известных 5^m -колебаний, охватывает периоды от 7^m до 70^m (Хилл и др.¹) и 160^m (Северный и др.²). Колебания с последним периодом представляют особый интерес, поскольку они обнаруживают фазовую когерентность на протяжении 5 лет, 1974—1978 гг.³.



В 1976 г. крымскими исследователями⁴ и одновременно Хиллом⁵ было высказано мнение, что наблюдаемые колебания должны сопровождаться флуктуациями закона потемнения диска к краю. Попытка их зарегистрировать была предпринята в Крыму⁶ и было найдено, что в видимой области спектра имеются, по-видимому, вариации яркости Солнца с периодом 160^m и относительной амплитудой около 10^{-3} , что соответствует флуктуациям температуры в фотосфере $\approx 1^\circ$.

Наши эксперименты были проведены в ближней инфракрасной (ИК) области спектра (λ 1,75 и 1,65 мкм), предпочтительной вследствие слабого, в окнах прозрачности, влияния земной атмосферы и так как это излучение соответствует минимуму поглощения солнечной фотосферы. Был разработан и применен специальный электро-механический линейный модулятор, осуществляющий сканирование диска Солнца с частотой 20 Гц; детектировалась амплитуда переменного, на удвоенной частоте 40 Гц сигнала, пропорционального разности яркостей «центр — край», которая калибровалась в единицах интенсивности центра диска.

Спектр мощности, построенный по наблюдениям 1977 г. (32 дня, всего около 152 часов измерений), показал, что в районе 160^m находится один из самых мощных пи-

ков. Кроме того, усреднение в реальном времени (UT) всех этих измерений также выявило ярко выраженную 160^m -периодичность дифференциального («центр — край») сигнала $\delta = \Delta I/I$ с амплитудой $\approx 2,5 \cdot 10^{-4}$ (см. рисунок; синусоида с периодом 160^m проведена через точки методом наименьших квадратов). Это дает изменение эффективной температуры на $\pm 1^\circ$ и согласуется с данными в оптической области спектра⁶. Средняя кривая ИК-яркости для периода 160^m , 010 приведена на рис. 1 в работе⁷.

Таким образом, наш результат свидетельствует о реальности колебаний ИК яркости с периодом пульсаций Солнца 160^m .

Новый результат получен недавно Ерюшевым и др., выполнившими на радиотелескопе РТ-22 в 1977—1978 гг. серию измерений радиояркости на волнах $1,9 - 3,5$ см. Здесь также относительный («центр — край») сигнал оказался флуктуирующим с периодом 160^m и амплитудой изменения радиопотока $\Delta I/I \approx 10^{-3}$, что соответствует вариациям радиотемпературы на $\pm 10^\circ$.

Наблюдаемые периодические (160^m) вариации излучения в верхней фотосфере и хромосфере Солнца обусловлены, по-видимому, отклонениями от адиабатичности при распространении волн в этих слоях, на что обращают серьезное внимание Хилл и др.⁸.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hill H. A., Caudell T. P., Rosenwald R. D. Los Alamos Rept. No. LA-6544-C-1976.
2. Severny A. B., Kotov V. A., Tsap T. T. — Nature, 1976, v. 259, p. 87.
3. Scherrer P. H., Wilcox J. M., Kotov V. A., Severny A. B., Tsap T. T. — Nature, 1979, v. 277, p. 635.
4. Kotov V., Severny A., Tsap T. — In: Proc. of XVI General IAU Meeting. Grenoble, 1976.— 1977.— P. 244.
5. Hill H. A., Caudell T. P., Rosenwald R. D. — Astrophys. J., 1977, v. 213, p. L81.
6. Kotov V. A., Severny A. B., Tsap T. T. — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1978, v. 183, p. 61.
7. Северный А. Б., Котов В. А., Цап Т. Т. Доклад на Научной сессии ООФА АН СССР, 1979. — См. УФН, 1979, т. 128, с. 728 (см. в данном номере).
8. Hill H. A., Rosenwald R. D., Caudell T. P. — Astrophys. J., 1978, v. 225, p. 304.

523.9.1/.8(048)

С. В. Воронцов, В. Н. Жарков. Теоретический спектр колебаний Солнца. К настоящему времени накоплен большой объем новых экспериментальных данных, укрепивших представление о реальности наблюдаемого колебания Солнца периода 160 минут¹. Идентификация этого периода с теоретическим спектром колебаний современной солнечной модели столкнулась с большими трудностями^{2, 3}. Так, периоды радиальных колебаний короче часа. Дипольные колебания не могли быть зарегистрированы в экспериментах КраО. В спектре квадрупольных колебаний период 160 минут попадает в область периодов высоких g -мод. Тогда для объяснения периода 160 минут одной из высоких гравитационных мод (g_{10} или g_{11}) необходимо объяснить механизм, который приводил бы к возбуждению лишь одного из целого ряда колебаний, близких по структуре и по периодам. Можно предложить более естественную возможность идентификации периода 160 минут, что, однако, потребует изменения современной модели. Эта возможность долгое время упускалась из рассмотрений, причиной чего являются определенные недостатки общепринятой схемы классификации колебаний теоретического спектра по модам p , f , g ⁴. Эта классификация хорошо применима для политропных моделей, для которых она и была предложена Каулингом⁵. В современной детальной модели Солнца^{6, 7} индекс политропы меняется скачкообразно от значения около $3,4$ во внутренней радиационной области до $1,5$ в протяженной внешней конвективной зоне. Для этой модели в спектре высоких g -мод с номерами $n > 4$ появляется колебание, сильно отличающееся от других близких по периодам g -мод. В этом колебании максимальные амплитуды сосредоточены во внешних областях Солнца, а амплитуды во внутренних областях очень малы. Существование такой выделенной моды среди близких по периодам g -мод приводит к тому, что даже при одинаковых энергиях, эта мода будет давать несравненно большие амплитуды на поверхности, чем другие g -моды. Возможность существования в теоретическом спектре такой выделенной моды легко понять, если проблему классификации рассмотреть с точки зрения принятой в теории собственных колебаний Земли. Для модели со скачком в распределении материальных параметров по радиусу существуют два типа колебаний: колебания внешних областей и ядерные колебания. Высокий период основного тона колебаний внешних областей располагается при этом среди периодов ядерных колебаний. При непрерывном сглаживании скачка ядерные колебания переходят в гравитацион-

ные g -моды. Таким образом, спектр периодов колебаний внешних областей перекрывается со спектром периодов внутренних гравитационных осцилляций. В той области периодов, где наблюдается такое перекрытие спектров, колебания носят смешанный характер. Смешанность уменьшается с ростом номера колебания n , так как при этом колебания внешних областей сильно вытесняются к поверхности. Для современной модели Солнца основной тон колебания внешних областей отчетливо выделяется в спектре периодов g -мод, начиная с $n=6$. Однако для квадрупольных колебаний ($n=2$) степень смешанности очень велика, что приводит к целому набору близких по структуре g -мод со сравнительно высокими амплитудами на поверхности. Таким образом, объяснение периода 160 минут основным квадрупольным тоном внешних областей освобождает от необходимости поиска механизма резонансного возбуждения; однако такое объяснение требует изменения современной модели.

Из-за влияния сил Кориолиса пространственная картина колебания должна медленно прецессировать по долготе в направлении, противоположном направлению вращения Солнца. Угловая скорость прецессии определяется собственными функциями колебания. Расчеты показывают, что из-за этого эффекта вращение картины смещений основного квадрупольного колебания внешних областей должно примерно вдвое запаздывать относительно вращения колеблющейся сферы для наблюдателя в инерциальной системе координат. Тогда интерпретация периода 160 минут основным квадрупольным колебанием внешних областей могла бы дать естественное объяснение наблюдаемой 27-дневной периодичности в амплитуде колебания 160 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Северный А. Б., Котов В. А., Цап Т. Т. Доклад на научной сессии ООФА АН СССР, 1979. — См. УФН, 1979, т. 128, с. 728 (см. в данном номере).
2. Christensen-Dalsgaard J., Gough D. O. — Nature, 1976, v. 259, p. 89.
3. Iben I., Mahaffy J. — Astrophys. J. (Lett.), 1976, v. 209, p. L39.
4. Воронцов С. В., Жарков В. Н. — Астрон. ж., 1978, т. 55, с. 84.
5. Cowling T. G. — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1942, v. 161, p. 367.
6. Abraham Z., Iben I. — Astrophys. J., 1971, v. 170, p. 157.
7. Spruit H. G. — Sol. Phys., 1974, v. 34, p. 277.