

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

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

(24 — 25 апреля 1974 г.)

24 и 25 апреля 1974 г. в конференц-зале Института физических проблем АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. И. А. Асланов, В. Л. Хохлова, В. Шёнайх. Свойства магнитных звезд по спектральным и фотометрическим исследованиям.

2. В. А. Брумберг, Г. А. Красинский. Современное состояние проблемы движения больших планет.

3. И. Л. Фабелинский, В. С. Старунов, Д. В. Власов. О влиянии условий распространения продольного и поперечного звука на спектр теплового и вынужденного рассеяния света (о двух новых явлениях).

4. Г. С. Иванов-Холодный. Полугодовые вариации в аэрономии и геомагнетизме.

5. К. Г. Иванов. Структура типичного нестационарного потока межпланетной плазмы по данным непосредственных измерений.

Ниже публикуется краткое изложение прочитанных докладов.

523.84(048)

**И. А. Асланов, В. Л. Хохлова, В. Шёнайх.** Свойства магнитных звезд по спектральным и фотометрическим исследованиям. В 1969 г. начата совместная работа трех учреждений — Шемахинской астрофизической обсерватории АН Аз.ССР (ШАО), Астрономического совета АН СССР и Центрального института астрофизики АН ГДР (ЦИА) — по изучению магнитных звезд. Была поставлена задача детального спектроскопического и фотометрического изучения группы типичных магнитных Ар-звезд. Качество двухметрового телескопа ШАО и спектрографа Куде, а также хорошие погодные условия позволяют получить необходимый спектральный материал.

Подготовлена и разработана дополнительная аппаратура: изготовлен зеemannовский анализатор для измерения магнитных полей (в ШАО), разработан и изготовлен прецизионный трехдорожковый микрофотометр и приставка к автоматической измерительной машине для измерений зеemannовских расщеплений по контурам линий.

Астрофизики из ГДР организовали в ШАО наблюдательную станцию и установили два автоматизированных телескопа для фотометрических исследований. Один из них дает возможность измерять колебания блеска в десяти спектральных полосах от 3400 до 8100 Å. Второй телескоп использует две трубы для одновременных измерений исследуемой звезды и звезды сравнения, что значительно повышает точность измерений, так как устраняет ошибки, вызванные колебанием прозрачности атмосферы, и повышает временное разрешение.

В Астрономическом совете АН СССР разработаны вычислительные программы для обработки спектральных наблюдений и их интерпретации.

В ходе выполнения совместной программы получены наблюдательные данные, охватывающие полный период переменности для девяти звезд. Ниже приводятся результаты исследований, проведенных фотометрической группой ЦИА АН ГДР и спектроскопическими группами ШАО и Астросовета АН СССР.

Знание точного периода является одним из важных условий детального изучения магнитной звезды. Фотометрической группой измерены и уточнены периоды 40 звезд.

19 из них ранее не были известны. Ни для одной из звезд не найдено аperiodических изменений блеска. Исследован вопрос о постоянстве периодов. Изменения периода установлены надежно только для звезды 17 Com A. Можно сделать заключение, что изменение периодов за время  $\sim 10$  лет не является типичным для магнитных Ар-звезд.

Спектральные исследования, проведенные полностью или частично для девяти магнитных звезд, дали следующие результаты:

1. Во всех исследуемых звездах профили спектральных линий сложные и меняются со временем. Профили разбиваются на отдельные компоненты, и можно проследить изменения лучевых скоростей при изменении фазы. Графики лучевых скоростей позволяют выделить области на поверхности звезды («пятна»), где возникают эти компоненты. Протяженность пятен составляет заметную долю радиуса звезды, число их различно у разных звезд — от 2 у HD 124224 до 10 в 17 Com A.

2. Разработан метод количественного определения содержания химических элементов в «пятнах» по наблюдаемым профилям линий и их изменениям.

3. «Картирование» поверхности звезды необходимо для выяснения механизма образования аномалий химического состава, так как позволяет установить, в каком сочетании друг с другом элементы расположены на поверхности. Согласно гипотезе диффузионного разделения элементов под действием селективного давления (Мишо) следовало бы ожидать в областях с сильным магнитным полем увеличения концентрации кремния и уменьшения концентрации гелия. Исследования звезд HD 19832, HD 140728 и HD 193722 показали, что эти элементы имеют максимальную концентрацию в одних и тех же местах поверхности. Гипотеза Мишо не может объяснить также дефицита Fe на большей части поверхности HD 140160. Проведенные нами расчеты показали, что сила лучевого давления в линиях на атомы C, Mg, Si, Sr недостаточна для действия механизма Мишо.

4. Проведено отождествление линий в спектре трех кремниевых звезд. В этих спектрах усилены линии Mg, Si, Fe, Ti, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Hf. С большой вероятностью отождествляются линии Os II, Pt II, Hg II, Pb II, Th II, Am II.

Зеемановские расщепления в спектре магнитных звезд обычно много меньше доплеровских ширин линий, обусловленных вращением. До настоящего времени почти ничего не известно о распределении магнитного поля по поверхности звезды и его связи с аномалиями химического состава. Сопоставление полученной нами «карты» распределения элементов для 17 Com A с измеренным Престоном магнитным полем показывает, что «пятна», расположенные у экватора, видны одновременно с появлением отрицательной полярности  $H$ , а «пятна», расположенные на больших широтах, видны одновременно с положительной полярностью  $H$ . Это свидетельствует о наличии квадрупольной составляющей магнитного поля. С помощью зеемановского анализатора начаты измерения магнитного поля звезды  $\beta$  CrB. Результаты согласуются с другими авторами для фазы максимума положительного поля. У максимума отрицательного поля результаты всех авторов показывают большой разброс, который можно приписать периодическим изменениям амплитуды отрицательного поля с периодом  $\sim 226$  дней.

Из распределения энергии в непрерывном спектре и из профилей бальмеровских линий водорода следует, что фотосферы магнитных звезд мало отличаются от фотосфер нормальных звезд той же эффективной температуры. Имеются, однако, небольшие отличия и вариации физических условий по поверхности звезды, количественно исследованные в ходе выполнения 10-цветной фотометрии. Наблюдаемые эффекты объясняются наиболее вероятным перегревом (несколько сотен градусов) в верхних слоях фотосферы звезды.

Спектроскопические наблюдения показывают наличие некоторой газовой оболочки у магнитных Ар-звезд. У звезды HD 148112 на одной из зеемановских спектрограмм отмечено появление эмиссионного пика в центре линии, который виден во всех линиях бальмеровской серии, но только в спектре одной поляризации. Очевидно, что излучение линейно поляризовано и степень поляризации составляет не менее 70%. В спектре ряда других звезд, снятых без зеемановского анализатора, наблюдается появление эмиссионных или абсорбционных пиков в центре бальмеровских линий. По-видимому, мы наблюдаем нечто вроде протуберанца над краем диска, рассеивающего фотосферное излучение.

Ранее в литературе отмечалось появление нерегулярных колебаний с очень малой амплитудой и характерным временем  $\sim 1$  часа. Фотометрические наблюдения группы В. Шенайа показали короткопериодические колебания блеска 17 Com A, а спектроскопически обнаружено изменение лучевой скорости, измеренной по абсорбционному пикну в центре водородных линий с характерным временем  $\sim 70$  мин и амплитудой  $\pm 25$  км/сек. Эти явления могут быть вызваны наличием радиальных пульсаций звезды с изменением радиуса менее чем на 1%.

Проведенная работа показывает перспективность и важность комплексного подхода к изучению магнитных Ар-звезд.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A. Aslanov, G. Hildebrandt, V. L. Khokhlova, W. Schoneich, *Astroph. and Space Sci.* **21**, 477 (1973).
2. В. Л. Хохлова, сборник «Магнитные Ар-звезды», Баку, «Элм», 1974.
3. Ю. С. Рустамов, И. А. Асланов, *ibid.*
4. Т. А. Рябчикова, *Астроном. ж.* (1974).
5. И. А. Асланов, А. А. Шакир-заде, цит. в <sup>2</sup> сборник.
6. А. А. Кривошеина, В. Л. Хохлова, *ibid.*
7. И. А. Асланов, Л. О. Глущенко, *ibid.*
8. И. А. Асланов, В. М. Халилов, *ibid.*
9. Е. Панов, В. Шёнайх, *ibid.*

523.4(048)

**В. А. Брумберг, Г. А. Красинский.** Современное состояние проблемы движения больших планет. Аналитические теории движения больших планет разработаны в основном еще в прошлом веке и не соответствуют по точности современным радиолокационным наблюдениям. Построение более совершенной общей планетной теории и обработка на ее основе всех имеющихся наблюдений (оптических и радиолокационных) необходимы как для вычисления более точных эфемерид для космических исследований, так и для определения постоянных, характеризующих гравитационное поле Солнечной системы. В Институте теоретической астрономии АН СССР двумя группами сотрудников во главе с авторами данного сообщения ведется разработка двух общих теорий движения восьми больших планет (Плутон временно исключен из рассмотрения). Одна из этих теорий строится в кеплеровых элементах, другая — в гелиоцентрических прямоугольных координатах. Основная идея, общая для обеих теорий, состоит в разделении быстро и медленно меняющихся переменных. Среди результатов, достигнутых к настоящему времени, можно отметить следующие:

- 1) определение поправок к вековым движениям перигелиев и узлов планетных орбит, обусловленных членами высших степеней относительно эксцентриситетов и наклонов, а также членами второго порядка относительно масс планет;
- 2) решение вековой системы в полиномиальной форме с точностью до членов десятой степени относительно эксцентриситетов и наклонов;
- 3) обнаружение резонансов нулевого порядка, вызванных соотношениями между средними движениями трех и более планет;
- 4) построение рядов теории первого приближения;
- 5) создание специальных систем программирования для проведения на ЭВМ аналитических операций над рядами.

Полученные результаты позволяют приступить к сравнению теории с наблюдениями. Наиболее существенным препятствием, мешающим дальнейшему повышению точности планетной теории, является неопределенность, с которой находится инерциальная система координат и все параметры планетной теории, связанные с отсчетами в этой системе. Точность определения этих параметров обусловлена оптическими наблюдениями и значительно уступает точности параметров, определяемых радиолокационными наблюдениями. Построение инерциальной системы координат высокой точности целесообразно осуществить с помощью компактных внегалактических радиоисточников. Однако для этой цели необходимо дальнейшее развитие техники радиоинтерферометрических измерений углов.

Описанию методики построения общих планетных теорий посвящены работы: Г. А. Красинский, сборник «Малые планеты», под редакцией Н. С. Самойловой-Яхонтовой, М., «Наука», 1973, стр. 108; V. A. Gtumbert, J. Charpent, *Celestial Mech.* **8**, 335 (1973).

535.36(048)

**И. Л. Фабелинский, В. С. Старунов, Д. В. Власов.** О влиянии условий распространения продольного и поперечного звука на спектр теплового и вынужденного рассеяния света (о двух новых явлениях). В докладе (прочитанном одним из авторов — И. Ф.), было рассказано об обнаружении и исследовании двух новых явлений, о которых впервые сообщалось в работах <sup>1, 2</sup>. Одно из этих явлений состоит в том, что в узком участке деполаризованного спектра рассеянного света <sup>3</sup> обнаруживается дублет в такой поляризации (направление вектора электрического поля), которая лежит в плоскости рассеяния, а поляризация возбуждающего света перпендикулярна к плоскости рассеяния. Возникновение дублета в деполаризованном спектре рассеянного света обусловлено модуляцией света, рассеянного вследствие флуктуации анизотропии сильно затухающими поперечными дебаевскими упругими волнами.

В жидкостях, где можно менять вязкость на много порядков, кроме дублета, который можно наблюдать в определенной области температур (вязкости  $\sim 10^{-2}$ — $10^{-1}$  пауз;

высокотемпературная ветвь), при больших вязкостях наблюдается триплет<sup>4, 5</sup>. Изучению нового явления уже было посвящено около трех десятков экспериментальных и теоретических работ (см., например,<sup>9</sup> и библиографию в ней). Наиболее общая феноменологическая теория явления создана Рытовым<sup>8</sup>. Сопоставление результатов этой теории с опытом показало, что дублет и его температурная кинетика описываются теорией количественно. Такое согласие теории с опытом дает возможность найти скорость и коэффициент поглощения затухающих поперечных волн, ответственных за возникновение дублета в деполаризованном спектре<sup>9</sup>.

Для салола скорость меняется от 110 до 140 м/сек в интервале температур 100 ÷ ÷ 65 °С, для бензофенола от 120 до 180 м/сек в области температур 112 ÷ 44 °С. Коэффициент затухания в этих случаях  $\alpha \sim 10^5$  см<sup>-1</sup>. На рис. 1 показана зависимость поглощения на длину волны от частоты для салола при 65 °С.

Второе новое явление, рассмотренное в докладе, наблюдалось в вынужденном рассеянии света<sup>2</sup> и состоит в том, что в поляризациях, в которых векторы электрического

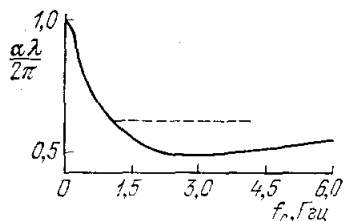


Рис. 1. Зависимость  $\alpha\lambda/2\pi$  ( $\lambda$  — длина волны звука) от частоты для салола при  $t = 65$  °С.

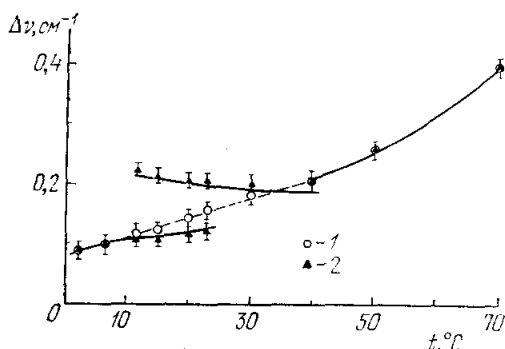


Рис. 2. Температурная зависимость смещения линии ВРК для вертикальной (1) и горизонтальной (2) поляризаций рассеянного света.

Рассеяние возбуждается светом лазера с модулированной добротностью, поляризованным в плоскости рассеяния (горизонтальная плоскость). Специальный выбор геометрии области нелинейного взаимодействия позволяет возбудить ВРК под углом 90°.

поля световой волны возбужденного и рассеянного света лежат в плоскости рассеяния и параллельны между собой, а наблюдение рассеянного света ведется в направлении вектора поля, в определенном температурном интервале, линия вынужденного деполаризованного рассеяния<sup>4</sup> расщепляется, образуя четкий дублет<sup>2</sup>.

Это явление вызвано взаимодействием продольных гиперзвуковых волн с модами ориентационного движения анизотропных молекул жидкости. Явление такого взаимодействия в спектре теплового рассеяния света проявляется в небольшой немонотонности в спектре деполаризованного рассеяния в указанной выше поляризации на частоте, близкой к частоте линии Мандельштама — Бриллюэна  $\omega_{MB}$ <sup>6</sup>. В вынужденном рассеянии, когда в результате изменения температуры частота ориентационной моды  $1/\tau$  ( $\tau$  — время релаксации анизотропии) становится близкой к  $\omega_{MB}$ , кривая коэффициента усиления приобретает два близких максимума и соответствующая линия расщепляется, превращаясь в дублет. На рис. 2 представлена температурная зависимость положений линии в обеих поляризациях в хиолине. Исследование расщепления позволит оценить отношения коэффициентов поглощения звука на частоте  $\omega_{MB}$ , обусловленных сдвиговой вязкостью к общему поглощению звука, и таким путем проследить кинетику процесса релаксации сдвиговой и объемной вязкостей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Старунов, Е. В. Тиганов, И. Л. Фабелинский, Письма ЖЭТФ 5, 317 (1967).
2. Д. В. Власов, И. Л. Фабелинский, Письма ЖЭТФ 17, 476 (1974).
3. И. Л. Фабелинский, Молекулярное рассеяние света, М., «Наука», 1965.
4. I. L. Fabelinskii, V. S. Starunov, Appl. Optics 6, 1793 (1967).
5. I. L. Fabelinskii, V. S. Starunov, L. M. Sabirov, Phys. Lett. A29, 414 (1969); В. С. Старунов, И. Л. Фабелинский, УФН 99, 143 (1969).

6. G. I. A. Stegeman, B. P. Stoicheff, Phys. Rev. Lett. 21, 202 (1968).  
 7. I. L. Fabelinskii, V. S. Starunov, J. de Phys. Suppl. Nr. 1, 33, C1-215 (1972); G. D. Erngight, G. I. A. Stegeman, B. P. Stoicheff, *ibid.*, p. C1-207; G. I. A. Stegeman, B. P. Stoicheff, Phys. Rev. A7, 1160 (1973).  
 8. С. М. Рытов, ЖЭТФ 58, 2154; 59, 2130 (1970).  
 9. В. С. Старунов, И. Л. Фабелинский, ЖЭТФ 66, 1740 (1974).

551.510.536(048)

**Г. С. Иванов-Холодный.** Полугодовые вариации в аэрономии и геомагнетизме. Развитие исследований с помощью ракет и спутников особенно плодотворно сказалось на физике верхней атмосферы (аэрономии). Перелом вызвала полученная возможность производить непосредственные измерения параметров изучаемой среды и вести прямую регистрацию первичных источников ионизации и разогрева, каковыми являются коротковолновое ультрафиолетовое излучение и корпускулярные потоки Солнца. Многочисленные открытия совершенно преобразили наши представления о верхней атмосфере и магнитосфере. До ракет и спутников никто даже не предполагал возможности существования, например, радиационных поясов или хвоста магнитосферы, имелось превратное мнение о составе и даже знаке ионов в ионосфере, не было достаточно правильных представлений и о верхней атмосфере. Одно из наиболее поразительных достижений последних лет, основанное на данных о торможении спутников, — это открытие необычных изменений температуры и плотности верхней атмосферы, характеризующихся максимумами в период равноденствий (две верхние кривые рис. а). Удивительно, что существование таких изменений в течение года не было предсказано и до сих пор не поддается удовлетворительному объяснению, хотя амплитуда этих изменений весьма велика, она уступает место только амплитуде суточных вариаций.

В последующие годы было установлено, что многие явления в верхней атмосфере, ионосфере и в области геомагнетизма испытывают такие же циклические изменения, характеризующиеся полугодовым периодом вариаций. На рис. а) и б) согласно обзору<sup>1</sup> приведены примеры таких изменений, обнаруживающих два максимума в течение года, которые приходится обычно на период равноденствий. Полугодовые вариации наблюдаются на различных высотах выше 90—100 км. Таким образом, полугодовой ритм охватывает всю толщу верхней атмосферы и в ряде случаев он преобладает над известным сезонным ритмом, а его проявление имеет такой же глобальный характер.

Хотя полугодовая компонента не всегда становится доминирующей, важно, однако, что она неизменно присутствует. Тем самым установлено существование новой геофизической закономерности в поведении комплекса верхнеатмосферных явлений.

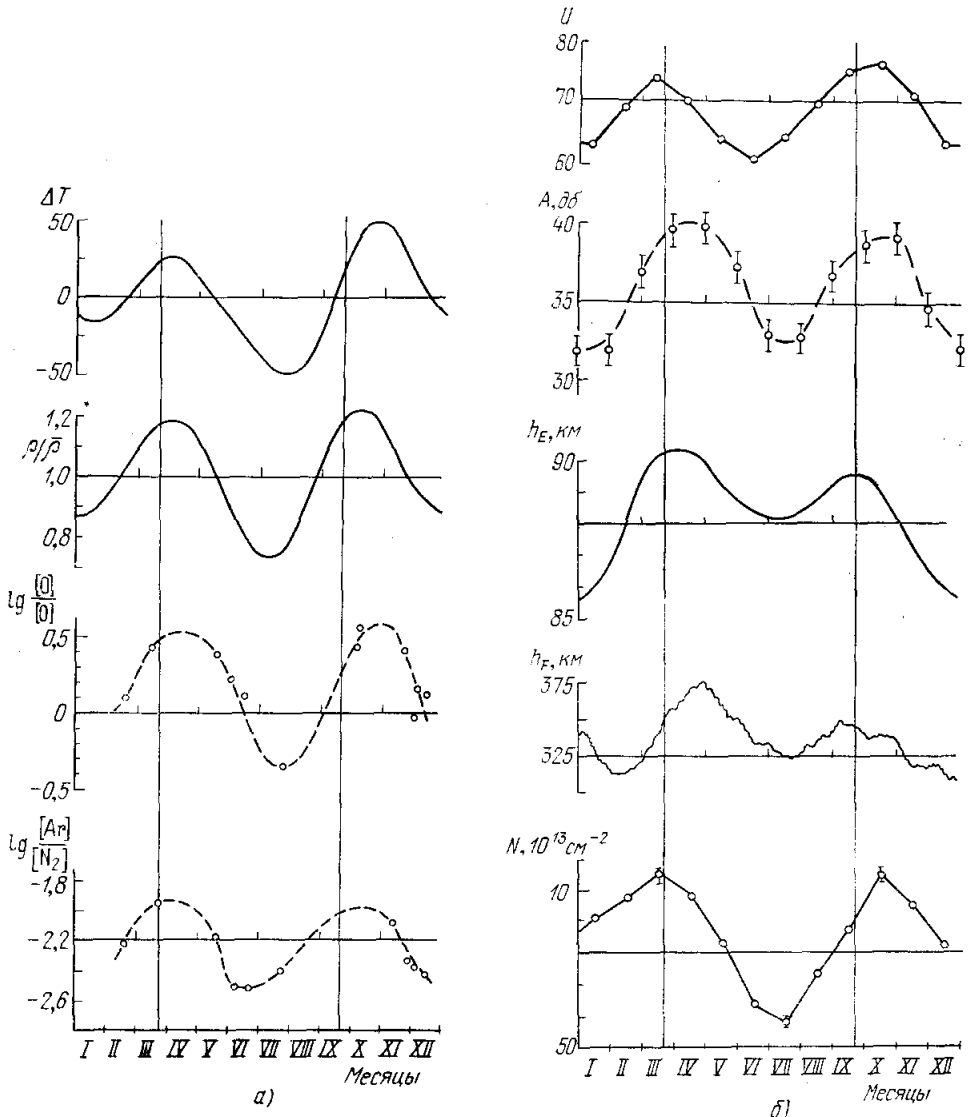
До сих пор были известны четыре основных типа циклических вариаций верхней атмосферы и ионосферы во времени. Это, прежде всего, вариации земного происхождения, *суточные* и *сезонные* (обязанные вращению Земли вокруг своей оси и ее обращению вокруг Солнца), а также вариации солнечного происхождения, *27-дневные* и *11-летние* (связанные с вращением Солнца и изменением солнечной активности), которые в некоторых случаях становятся даже преобладающими; то, что наряду с этим существует пятый тип вариаций — с *полугодовым* периодом, — заставляет заново пересмотреть весь подход к интерпретации закономерностей поведения верхней атмосферы и ионосферы. Одной из первоочередных возникает задача: выяснить источник полугодовых вариаций. Очевидно, что он как-то связан с воздействием Солнца на Землю. Вообще говоря, существуют три вида источников такого воздействия: гравитационные силы, электромагнитное излучение и солнечные корпускулярные потоки. У всех этих источников имеется полугодовая гармоника. Начнем анализ с рассмотрения электромагнитного излучения.

1) Интенсивность падающего солнечного излучения определяется зенитным расстоянием Солнца  $z_{\odot}$ . Поэтому все вариации  $z_{\odot}$  отражаются на эффектах нагрева и ионизации солнечным излучением. Давно замечено, что наряду с очевидными сезонными изменениями величина  $z_{\odot}$  испытывает полугодовые вариации, особенно хорошо заметные в экваториальной зоне. Для того чтобы показать это, рассмотрим взятое из сферической астрономии основное выражение, определяющее  $z_{\odot}$ :

$$\cos z_{\odot} = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cos t, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — широта,  $\delta$  — склонение Солнца, а  $t$  — местное время. Например, на экваторе ( $\varphi = 0$ ) для полудня ( $t = 0$ ) имеем  $\cos z_{\odot} = \cos \delta$ , т. е.  $z_{\odot}$  здесь испытывает чисто полугодовые вариации с максимумами в равноденствие (при  $\delta = 0$ ) и минимумами в солнцестояние (при  $\delta = \pm 23^{\circ},5$ ). Амплитуда вариаций  $\cos z_{\odot}$  (от  $\cos 0^{\circ} = 1$  до  $\cos 23,5^{\circ} = 0,92$ ) невелика, всего  $\pm 4\%$ . Интересно, что полугодовые вариации  $\cos z_{\odot}$  обладают аналогичной амплитудой и на других широтах. В то же время годовые вариации, опре-

деляемые первым членом в (1), сильно возрастают с увеличением широты. Недавно<sup>3</sup> был проведен гармонический анализ разогрева атмосферы на высоте 150 км, который показал более точно, что годовая гармоника действительно резко растет с широтой, но на



Изменение в течение года параметров верхней атмосферы и ионосферы согласно наблюдениям.

а) Температура экзосферы  $T$ , относительная плотность верхней атмосферы на высоте 200 км  $\rho/\bar{\rho}$ , относительная концентрация  $[O]/[O_2]$  на высоте 130 км и  $[Ar]/[N_2]$  на высоте 120 км. б) Интенсивность геомагнитных возмущений на средних широтах при высокой активности Солнца ( $U$ ), поглощение  $A$  (в  $\delta\delta$ ) космического радиоизлучения на частоте 2 Мгц в D-области над экватором, высота  $h_E$  основания E-области при низком положении Солнца над горизонтом, высота  $h_F$  максимума ионизации ионосферы в области F2 и полное количество электронов в ионосфере  $N$  в расчете на столб атмосферы сечением 1 см<sup>2</sup>. Тонкие вертикальные линии на рисунках отмечают моменты равноденствий. Цифрами по оси абсцисс обозначены месяцы. Кругами на графике даны среднемесячные или экспериментальные значения; в некоторых случаях для них указаны ошибки измерений.

экваторе уменьшается не до нуля, а до 4%, тогда как амплитуда полугодовой гармоника почти не зависит от широты и составляет 3—4%.

2) Еще в прошлом столетии был начат детальный гармонический анализ приливобразующей гравитационной силы. Поскольку эффект этой силы зависит от  $z_{\odot}$ , то так-

же как и в интенсивности падающего излучения, в закономерностях изменения приливов Мирового Океана обнаружена полугодовая гармоника <sup>4</sup>. Ее амплитуда в соответствии с теорией также невелика и составляет  $\sim 3\%$  всех остальных колебаний. В отличие от электромагнитного излучения, приливообразующая сила обладает другим географическим распределением, а именно: при переходе через широты  $\pm 35^\circ$  она изменяет знак. Поэтому в экваториальной зоне полугодовые вариации приливов имеют максимумы в период равноденствий, а вне зоны  $\pm 35^\circ$  — в период солнцестояний. Поскольку фаза полугодовых вариаций параметров верхней атмосферы и ионосферы одинакова по всему земному шару, то та роль, которая ранее отводилась приливной силе в явлениях в верхней атмосфере, по-видимому, была преувеличена. Однако значение приливов для нижней атмосферы на высотах менее 100 км, в частности в образовании циркуляции, несомненно.

3) Полугодовые вариации были известны еще ранее для геомагнитных возмущений (верхняя кривая на рис. б)). Их происхождение связывалось с полугодовыми вариациями либо интенсивности солнечных корпускулярных потоков («аксиальная» гипотеза), либо эффективности взаимодействия последних с магнитосферой Земли («равноденственная» гипотеза). Эффекты этого источника полугодовых вариаций изучены меньше.

Стоит отметить, что как и для приливов, для геомагнитных возмущений в экваториальной зоне фаза полугодовых вариаций отличается на  $\pi/2$  от фазы в средних и высоких широтах. Известно, что геомагнитные возмущения вызваны взаимодействием солнечных корпускулярных потоков с магнитосферой Земли; однако строгого расчета эффекта воздействия солнечных корпускулярных потоков, как это сделано для приливных сил или электромагнитного излучения, пока не проводилось. Поэтому объяснение полугодовой модуляции этого воздействия носит качественный характер. Отметим трудности в объяснении полугодовых вариаций.

Механизм образования полугодовых вариаций верхней атмосферы при ближайшем рассмотрении представляет собой загадку. Действительно, эти вариации нельзя считать гармоникой сезонных вариаций с годовым периодом, поскольку амплитуда последних в несколько раз меньше амплитуды полугодовых вариаций, например, геомагнитных возмущений или плотности верхней атмосферы (ср. рисунок). Поэтому необходимо рассматривать самостоятельные источники с полугодовым периодом. Но возникает другая трудность, связанная с тем, что у известных нам источников амплитуда полугодовых изменений, как говорилось выше, составляет всего 3—4%. Подобную амплитуду полугодовых вариаций имеют температура экзосферы или горизонтальная и вертикальная компонента геомагнитного поля. Однако амплитуда вариаций ряда существенных параметров верхней атмосферы и ионосферы во много раз выше. Как видно из рисунка, плотность атмосферы на высотах полета спутников (200—500 км) изменяется в 1,5—3 раза, а концентрация атомного кислорода — даже до 3—4 раз, полное количество электронов  $N$  в дневное время в ионосфере, как и концентрация электронов в максимуме ионосферы ( $\sim 300$  км), — в 1,5—2 раза. Интересно, что моменты наступления максимумов этих параметров, как правило, запаздывают на 0,5—1,5 месяца относительно моментов равноденствия.

При количественном сопоставлении полугодовых и годовых вариаций наблюдаемых параметров верхней атмосферы с теоретическими расчетами выясняется дополнительная трудность. Как говорилось выше, у источника разогрева амплитуда годовой гармоники выше, чем амплитуда полугодовой, и заметно возрастает с широтой. Эффект роста с широтой хорошо прослеживается по данным о температуре и плотности верхней атмосферы <sup>3</sup>. Однако отношение амплитуды полугодовых вариаций к амплитуде годовых вариаций на порядок превосходит теоретическое значение.

Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о существовании некоторого неизвестного механизма усиления именно полугодовых вариаций. Возможно, этот механизм имеет резонансную природу.

Кроме солнечного, существует геофизический источник полугодовых вариаций. Он связан с существованием меридиональной циркуляции между нагретым (летним) и холодным (зимним) полушариями Земли. Относительная роль солнечных и геофизических источников в различных явлениях верхней атмосферы пока не выяснена. Возникает также задача определить механизм образования полугодовых вариаций в каждом геофизическом явлении. Учитывая тесную взаимосвязь этих явлений, важно установить цепь передачи взаимодействия между ними. Таким образом, исследование полугодовых вариаций затрагивает важные проблемы солнечно-земной физики. Учет существования подобных вариаций приводит к более правильному и полному пониманию всей непрерывно изменяющейся картины выше-атмосферных явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Иванов-Холодный, Геомагн. и аэронам. 13, 969 (1973).
2. G. O. Walker, S. D. Ting, J. Atm. and Terr. Phys. 34, 283 (1972).
3. B. K. Ching, Y. T. Chiu, Planet. and Space Sci. 20, 1745, 1761 (1972).
4. И. В. Максимов, Геофизические силы и воды океана, Л., «Гидрометеоздат», 1970.

**К. Г. Иванов.** Структура типичного нестационарного потока межпланетной плазмы по данным непосредственных измерений. Приложение теории сильных разрывов к измерениям магнитного поля ( $H$ ) и плазмы на космических аппаратах — естественный путь разработки качественно верных представлений о структуре межпланетных потоков от мощных хромосферных вспышек. Современный уровень соответствующих зарубежных результатов отражен в модели Хундхаузена<sup>1</sup>, являющейся модификацией более ранней модели Паркера<sup>2</sup>. Недавно в ИЗМИРАН предложено<sup>3</sup> существенное уточнение модели Хундхаузена. Суть его во введении в модель потока (рис. 1): 1) еще одного сильного разрыва ( $R_I$ ), расположенного между ударным фронтом ( $S$ ) и фронтом ( $R_{II}$ ) «вспышечной» плазмы; 2) специфической — «магнитной» области, отделяемой  $R_I$  от ударного слоя, а  $R_{II}$  от «вспышечной» плазмы (точки на рис. 1) — плазмы с аномально высоким содержанием ядер гелия. Необходимость введения  $R_I$  разрыва и «магнитной» области

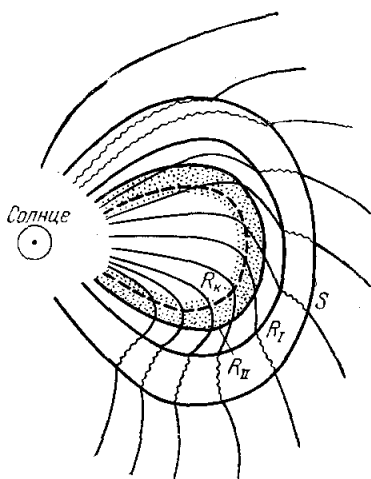


Рис. 1.

вытекает из анализа всего доступного материала непосредственных измерений. Так, на рис. 2 эта структура иллюстрируется магнитограммой  $H$  в потоке 9.VIII. 1972 г. по измерениям на «Геос-2» (данные любезно предоставлены доктором П. Хаджжкоком). «Магнитную» область вместе с расположенной за ней «гелиевой» плазмой можно назвать «вспышечной магнитоплазмой». С гидродинамической точки зрения это пространственное образование, движущееся относительно среды со сверхмагнитозвуковой скоростью, генерирующее головную ударную волну  $S$  и деформирующееся подобно тому, как это имеет место при обтекании плазмой геомагнитосферы. Разрыв  $R_I$  по поведению  $H$  аналогичен магнитопаузе: поле на нем изменяется по величине и направлению, причем  $H$  возрастает в согласии с условием равенства динамического напора и магнитного давления  $\rho(D - v_n)^2 = H_n^2/8\pi$ , где  $\rho$ ,  $v_n$  — плотности и нормальная к  $S$  компонента скорости спокойного ветра,  $D$  — скорость ударного фронта,  $H_n$  — поле на  $R_I$  во вспышечной магнитоплазме. Обычно вверх по потоку от  $R_I$   $H$  уменьшается по времени наблюдения, направление поля стабильно, уровень флуктуаций не высок, и создается впечатление,

что для средней и хвостовой частей потока характерно наличие серии более или менее интенсивных разрывов, посредством которых возмущенные характеристики течения сводятся к уровню относительно спокойного ветра. На рис. 1 штриховой линией показан один из этих разрывов  $R_K$ . Свойства  $H$ -поля, наличие «гелиевой» плазмы и относительно высокое содержание релятивистских электронов (см. рис. 2) позволяют предположить, что вспышечная магнитоплазма — продукты мощной вспышки, выброшенные в межпланетную среду. Для систематизации наблюдаемых модификаций этой структуры и иллюстрации возможных переходов между ними полезна следующая схема, вытекающая из качественных теоретических соображений и анализа измерений.

Структура  $SR_I R_{II} S_r$ , где  $S_r$  — обратная ударная волна, вблизи Земли наблюдается относительно редко. По-видимому, это связано с распадом ударных волн на разрывах и неоднородностях при распространении от Солнца. В конечном итоге возможен полный распад на серию менее интенсивных разрывов, причем вначале его испытывает  $S_r$ -волна, из-за ее меньшей интенсивности. Возможно поэтому типичной наблюдаемой структурой является  $SR_I R_{II} \dots R_K \dots$ . Полный распад  $S$ -волны приводит к...  $R_I \dots R_I R_{II} \dots R_K \dots$ -структуре, т. е. течению без ударных волн, обычно формирующемуся после серии мощных вспышек.

Достигнутый уровень знаний по структуре потоков можно использовать как для дальнейших исследований межпланетной среды, так и уточнения представлений о космо- и геофизических эффектах солнечного ветра.

1. Можно предположить, что форбуш-понижение интенсивности космических лучей (ИКЛ) имеет две стадии: первая — обусловлена ударным слоем, вторая — вспышечной магнитоплазмой, причем за основной форбуш-спад отвечает «магнитная» область. Это подтверждается сопоставлением измерений  $H$  и ИКЛ (см. рис. 2). Ясно, что доминирующую в последнее десятилетие концепцию Паркера<sup>2</sup> о ведущей роли ударных волн в генерации форбуш-спадов, следует заменить на представления, более адекватные реальности.
2. Оказалось, что вблизи Земли вспышечная магнитоплазма может быть практически свободной от энергичных протонов (рис. 2) по сравнению со средой по обе сто-



роны S-фронта. Это говорит против накопления во вспышечной магнитопазме энергичных протонов от изолированной вспышки, а возможно, и против их генерации на Солнце.

3. Структура потока отражается в закономерностях магнитосферной бури. Ударные фронты и слои ответственны за SSC и начальные фазы магнитных бурь, тогда как

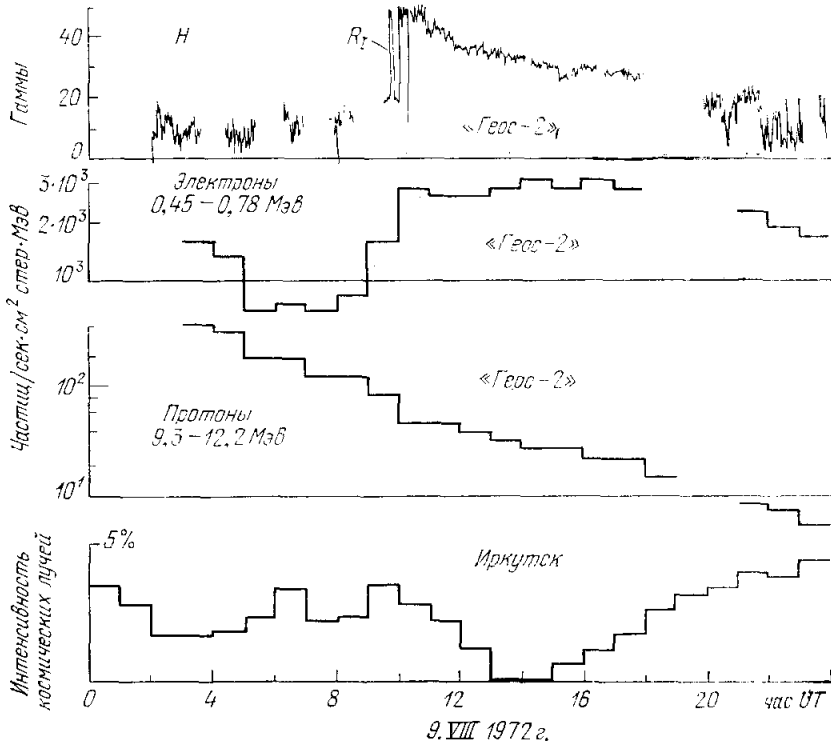


Рис. 2.

«магнитная» область и хвост вспышечной магнитопазмы — за главную и восстановительную стадии. Имеются, однако, отклонения от этого соответствия и множество особенностей магнитосферных возмущений, что определяется как особенностями структуры конкретного потока, так и спецификой механизмов воздействия плазмы на магнитосферу. Тем не менее космические наблюдения можно в принципе эффективно использовать для текущего прогноза начала, продолжительности и интенсивности основных стадий геомагнитной (магнитосферной) бури.

Полный текст доклада публикуется в «Трудах» ИЗМИРАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. J. Hundhausen, Coronal Expansion and Solar Wind, Berlin — Heidelberg — New York, Springer-Verlag, 1972.
2. Е. Паркер, Динамические процессы в межпланетной среде, М., «Мир», 1965.
3. К. Г. Иванов, Н. В. Микерина, Л. В. Евдокимова, Препринт ИЗМИРАН № 1, 1974.