

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

ХАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СЕРИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

3 (283)

МАМЫР–МАУСЫМ 2012 ж.
МАЙ–ИЮНЬ 2012 г.

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

АЛМАТЫ
НАН РК
ҒЫЛЫМ

Бас редактор
ҚР ҰҒА академигі
Б. Т. Жұмағұлов

Редакция алқасы:

физика-математика ғылымдарының докторы **Н. М. Темірбеков** (бас редактордың орынбасары), ҚР ҰҒА-ның академиктері **Т. Ш. Калменов, Н. Қ. Блиев, Б. Н. Мұқашев, М. Ө. Өтелбаев**, физика-математика ғылымдарының докторы **Қ. Қ. Қадыржанов**, физика-математика ғылымдарының докторы **Н. Т. Данаев**, физика-математика ғылымдарының докторы **Т. С. Рамазанов**, физика-математика ғылымдарының докторы **Ө. Ө. Өмірбаев**, химия ғылымдарының докторы **Н. Е. Коробова** (жауапты хатшы)

Главный редактор

академик НАН РК
Б. Т. Жумагулов

Редакционная коллегия:

доктор физико-математических наук **Н. М. Темірбеков** (заместитель главного редактора), академики НАН РК **Т. Ш. Кальменов, Н. К. Блиев, Б. Н. Мукашев, М. О. Отелбаев**, доктор физико-математических наук **К. К. Кадыржанов**, доктор физико-математических наук **Н. Т. Данаев**, доктор физико-математических наук **Т. С. Рамазанов**, доктор физико-математических наук **У. У. Умирбаев**, доктор химических наук **Н. Е. Коробова** (ответственный секретарь)

Editor-in-chief

academician of the NAS of the RK
B. T. Zhumagulov

Editorial staff:

doctor of physical and mathematical sciences **N.M. Temirbekov** (deputy editor-in-chief), academicians of the NAS of the RK **T. Sh. Kalmenov, N. K. Bliiev, B. N. Mukashev, M. O. Otelbaev**, doctor of physical and mathematical sciences **K. K. Kadirzhanov**, doctor of physical and mathematical sciences **N. T. Danaev**, doctor of physical and mathematical sciences **T. S. Ramazanov**, doctor of physical and mathematical sciences **U. U. Umirbaev**, doctor of chemical sciences **N. E. Korobova** (secretary)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая» I ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 218–220, тел.: 261-06-33, 272-13-19, 272-13-18.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Проблемы небесной механики и динамики звездных систем

УДК 524.7

В. Н. ГАЙСИНА, Э. К. ДЕНИСЮК, Р. Р. ВАЛИУЛЛИН

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ АЯГ NGC 3516

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Цель работы: на основе оригинальных наблюдений исследовать переменность сейфертовской галактики NGC 3516.

Методы исследований: абсолютные значения потоков в линиях $H\alpha$ и $H\beta$ вычисляются в данной работе путем использования постоянных и надежно измеренных абсолютных потоков от рядом расположенных линий [SII] или [OIII], соответственно. Абсолютные потоки в эмиссионных линиях [SII] и [OIII] получены с использованием стандартных звезд с известным распределением энергии в их спектрах. Все вычисления проведены по авторским программам на языке Си.

Область применения: спектральные исследования активных ядер галактик

Результаты и выводы: в данной работе рассмотрены спектральные изменения АЯГ NGC 3516 за 35 лет исследований. Выявлено, что поток в линиях водорода начиная с минимума в 1988 году (JD2447205) показывает монотонное увеличение до максимума в 1995 году (JD2449748), а затем медленное падение до уровня первоначального минимума в 2003 году (JD 2452663). Увеличение потока в линиях происходит за 7 лет, а возвращение до прежнего минимального значения - за 8 лет. В общей сложности весь процесс занимает промежуток времени около 15 лет, и при этом поток в эмиссионных линиях $H\alpha$ и $H\beta$ меняется, более чем в два раза.

Введение. Сейфертовская галактика NGC 3516 класса Seyfert 1.5 наблюдается в АФИФ с 1976 года. NGC 3516 - линзообразная (SBO) галактика, находится в направлении созвездия Большая Медведица. Получено 198 спектрограмм, общая экспозиция - 3452 мин, и 40 прямых снимков поля вблизи галактики. Координаты галактики: $11^{\text{h}} 06^{\text{m}} 47.54 + 72^{\circ} 34' 07''$. Красное смещение $z=0.0089$, расстояние до галактики ≈ 36 Мрс, масса галактики $10^{11} M_{\text{Солнца}}$.

Сейфертовская галактика NGC 3516 одна из 6 галактик со звездоподобным ядром (NGC: 1068, 1275, 7469, 4151, 4051 и 3516), на которые еще в 1942 году обратил внимание Карл Сейферт. В своей работе Сейферт назвал три особенности таких ядер, на которые следовало бы обратить внимание:

- высокая светимость звездообразного ядра, сравнимая со светимостью остальной части галактики, или со светимостью сверхновой в максимуме блеска,
- усиленный ультрафиолетовый континуум,
- необычно большие скорости газа в ядре, о чем свидетельствуют широкие эмиссионные линии водорода.

Важной физической характеристикой ядер и окооядерного пространства является амплитуда переменности разрешенных эмиссионных линий. Нами исследовались эмиссии $H\alpha$ и $H\beta$. При этом абсолютное значение потока эмиссий $H\alpha$ и $H\beta$ вычислялись путем использования в качестве стандартов абсолютных потоков от рядом расположенных постоянных и надежно измеренных линий [SII] или [OIII], соответственно. При этом абсолютные потоки в эмиссионных линиях [SII] и [OIII] получены с использованием стандартных звезд с известным распределением энергии в их спектрах.

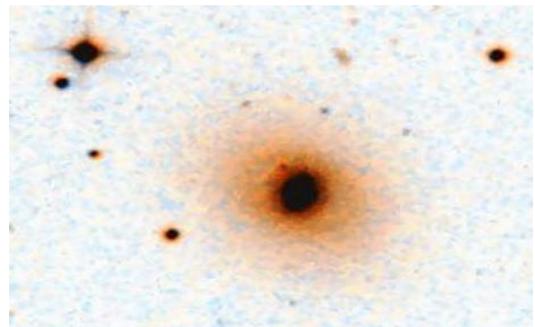
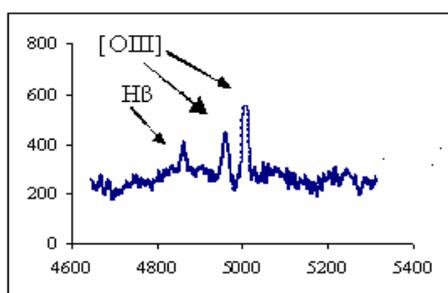


Рис. 1. Снимок поля галактики NGC 3516

Наблюдения. Все наблюдения выполнены в Астрофизическом институте им. В. Г. Фесенкова (г. Алматы, Казахстан) на телескопе АЗТ-8 с диаметром главного зеркала 700 мм и фокусным расстоянием 11.2 м. При наблюдении использовался дифракционный спектрограф оригинальной конструкции [1]. До 2000 г., основным приемником излучения на выходе спектрографа был трехкаскадный ЭОП типа УМ-92, а регистрация проводилась на фотопленку типа А-600 или аналогичную, близкую по характеристикам.

Начиная с 2000 г. в качестве приемника излучения применяется CCD-камера типа ST-7, а с конца 2002 г. – ST-8 (1520x1030,9 пс). В зависимости от используемой дифракционной решетки и объектива камеры спектрограммы имели спектральное разрешение в пределах 2.5–5.0 Å. Ширина входной щели составляла 4"–10". Как правило, для повышения точности результатов спектр исследуемой галактики экспонировался от 2 до 6 раз подряд с экспозициями от 2 до 30 мин в зависимости от дисперсии и яркости ядра галактики.

Спектральные наблюдения галактики NGC 3516 проводятся в областях бальмеровских линий H β ($\lambda\lambda$ 4200-5500) и H α ($\lambda\lambda$ 6000-7100) (рис. 2, 3).



Ось X – длина волны в Å, ось Y – относительная интенсивность

Рис. 2. Спектр NGC3516 в области бальмеровской линии H β

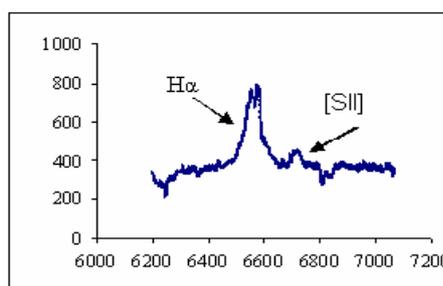


Рис. 3. Спектр NGC3516 в области бальмеровской линии H α

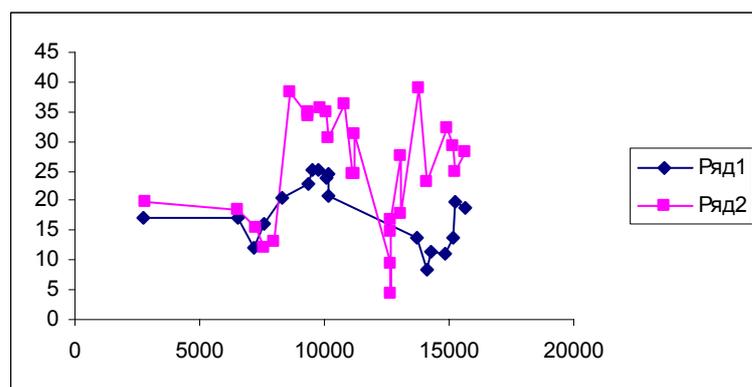
Для галактики NGC 3516 измерены абсолютные потоки в эмиссионных линиях [OIII] λ 5007Å - $4.75 \cdot 10^{-13}$ ergs·s $^{-1}$ ·sm $^{-2}$ и [SII] λ 6717Å, λ 6731Å - $1.65 \cdot 10^{-13}$ ergs·s $^{-1}$ ·sm $^{-2}$. Для получения абсолютных потоков в бальмеровской линии H β , вычислялось отношение относительного потока в линии H β к относительному потоку в линии [OIII] λ 5007Å и умножалось на абсолютное значение потока в линии [OIII] λ 5007Å (табл. 1). Для бальмеровской линии H α была проделана та же процедура с использованием линий H α и [SII] λ 6717Å, λ 6731Å (табл. 2). Ход изменения потоков в линиях H β и H α от времени показан на рис. 4.

Таблица 1. Абсолютные значения потока в эмиссионной линии H β

| | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Дата* | 01.01.1976 | 09.03.1986 | 14.02.1988 | 08.03.1989 | 21.01.1991 | 05.01.1994 | 13.05.1994 | 31.01.1995 | 28.12.1995 |
| JD* | 2778 | 6498 | 7205 | 7593 | 8277 | 9357 | 9485 | 9748 | 10079 |
| F $_{H\beta}$ / 10 $^{-13}$ ergs·s $^{-1}$ ·sm $^{-2}$ | 4.32 | 4.27 | 3.04 | 4.04 | 5.08 | 5.74 | 6.27 | 6.32 | 5.97 |
| Дата* | 17.02.1996 | 11.03.1996 | 11.01.2006 | 28.01.2007 | 25.05.2007 | 30.01.2009 | 16.12.2009 | 11.01.2010 | 06.04.2011 |
| JD* | 10130 | 10153 | 13746 | 14128 | 14245 | 14861 | 15181 | 15207 | 15657 |
| F $_{H\beta}$ / 10 $^{-13}$ ergs·s $^{-1}$ ·sm $^{-2}$ | 6.13 | 5.23 | 3.42 | 2.14 | 2.88 | 2.75 | 3.47 | 4.94 | 4.71 |
| Дата* – дата наблюдений, JD* – юлианская дата – 2 440 000, F $_{H\beta}$ * – абсолютное значение потока в линии H β . | | | | | | | | | |

Таблица 2. Абсолютные значения потока в эмиссионной линии H α

| | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Дата* | 01.02. 1976 | 06.03. 1986 | 16.04. 1988 | 09.03. 1989 | 03.03. 1990 | 04.02. 1992 | 11.01. 1994 | 13.01. 1994 | 26.03. 1995 |
| JD* | 2809 | 6495 | 7267 | 7594 | 7953 | 8656 | 9363 | 9365 | 9802 |
| F _{Hα} / 10 ⁻¹³ ergs*s ⁻¹ *sm ⁻² | 19.74 | 18.53 | 15.55 | 12.18 | 13.01 | 38.21 | 34.19 | 34.93 | 35.47 |
| Дата* | 27.12. 1995 | 19.04. 1996 | 30.12. 1997 | 20.12. 1998 | 23.12. 1998 | 18.01. 1999 | 24.01. 2003 | 25.01. 2003 | 09.02. 2003 |
| JD* | 10078 | 10192 | 10812 | 11167 | 11170 | 11196 | 12663 | 12664 | 12679 |
| F _{Hα} / 10 ⁻¹³ ergs*s ⁻¹ *sm ⁻² | 35.01 | 30.48 | 36.19 | 24.4 | 24.51 | 31.2 | 9.42 | 4.37 | 14.94 |
| Дата* | 26.02. 2003 | 21.01. 2004 | 02.04. 2004 | 21.01. 2006 | 04.02. 2007 | 29.04. 2009 | 19.11. 2009 | 17.02. 2010 | 08.04. 2011 |
| JD* | 12696 | 13025 | 13097 | 13756 | 14135 | 14950 | 15154 | 15244 | 15659 |
| F _{Hα} / 10 ⁻¹³ ergs*s ⁻¹ *sm ⁻² | 16.77 | 27.42 | 17.87 | 38.83 | 23.07 | 32.21 | 29.2 | 24.78 | 28.34 |
| Дата* – дата наблюдений, JD* – юлианская дата – 2 440 000, F _{Hα} * – абсолютное значение потока в линии H α . | | | | | | | | | |



Ось X – юлианская дата – 2 440 000,
ось Y – абсолютный поток в линиях H α в единицах 10⁻¹³ ergs·s⁻¹·sm⁻² и H β в единицах (1/4)·10⁻¹³ ergs·s⁻¹·sm⁻²

Рис. 5. Изменения абсолютных значений потока в эмиссионных линиях H β -ряд 1 и H α -ряд 2

Заключение. В данной работе рассмотрены основные наблюдательные проявления NGC 3516, полученные за 35 лет исследований. Это наиболее длинный период времени, на котором проводились подобные исследования этой галактики. Следует отметить, что, начиная с минимума в 1988 г., (JD2447205) поток в линиях водорода сначала показывает монотонное увеличение до максимума в 1995 г. (JD2449748), а затем медленное падение до уровня первоначального минимума в 2003 г. (JD 2452663). Увеличение потока в линиях происходило за 7 лет, а возвращение на прежнее значение в минимуме происходило за 8 лет. В общей сложности весь процесс занял около 15 лет, и при этом поток в эмиссионных линиях H α и H β изменился более чем в два раза.

Работа выполнена в рамках программы 002 «Прикладные исследования в области космической Деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Denissyuk E.K. Spectrograph for faint objects: the device and the main results of observations // Astron. Aph. Transactions. – 2003. – V. 22(2). – P.175.
2. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд. – КазССР: Изд-во «Наука», 1988. – С. 480.

REFERENCES

1. Denissyuk E.K. Astron. Aph. Transactions. **2003**, V. 22(2), P.175.
2. Kharitonov A.V., Tereschenko V.M., Kniازهva L.N. Spektrofotometrichesky catalog zvezd. Almaty. Kazak universiteti. **2011**. 304. (in Russ.).

B. H. Гайсина, Э. К. Денисюк, Р. Р. Валиуллин

АЯГ NGC 3516 СПЕКТРЛІ АЙНЫМАЛЫЛЫҒЫ

Жұмыстың мақсаты: Соны бақылаулар негізінде сейфертовті галактика NGC 3516 айнымалылығын зерттеу.

Зерттеу әдістері: H α және H β сызықтарында ағындардың абсолютті маңызы осы жұмыста үнемі және сенімді өлшенген абсолютті ағындардың қатар орналасқан сызықтар [SII] немесе [OIII] сәйкесінше қолдану жолымен есептелген. [SII] және [OIII] эмиссионды сызықтарында абсолютті ағындар, спектрінде энергияның бөлінуі мәлім тұрақты жұлдыздарды қолдану арқылы алынған. Барлық есептеулер Си тілінде авторлық бағдарлама бойынша жүргізілген.

Қолданылу аймағы: Галактика активті ядроларын спектрлік зерттеу.

Нәтижелер мен қорытындылар: Бұл жұмыста АЯГ NGC 3516 спектрлі айнымалылығының 35 жыл бойғы зерттеулері қарастырылған.

Сутегінің сызықтарда сәулеленуі 1988 жылы (JD2447205) минимумнан бастап 1995 жылы (JD2449748) сәулелену күшінің максимумге дейін көбеюін көрсететіні анықталды, содан кейін алғашқы минималды деңгейге дейін баяу төмендеуі 2003 жылы (JD 2452663). Сызықтарда ағындардың көбеюі 7 жылда болады, ал бастапқы минималды маңызына қайта оралуы – 8 жылда. Жалпы есеппен барлық үдеріс (процесс) 15 жыл уақыт аралығын алады, бұл ретте сәулелену H α және H β эмиссионды сызықтарында көп дегенде екі рет өзгереді.

V. N. Gaisina, E. K. Denissyuk, R. R. Valiullin

SPECTRAL VARIABILITY OF AGN NGC 3516

Aims: to study variability of the Seyfert galaxy NGC 3516 on the base of the original observations.

Methods: the absolute values of the fluxes of H α and H β lines are measured, using the constant, reliably measured absolute fluxes of [SII] или [OIII], accordingly. Absolute fluxes of the [SII] или [OIII] lines were obtained using the standard stars with the known energy distributions. All calculations are performed under the author's C - programs.

Applications: spectral investigations of the Active Galaxy Nuclei

Results and Conclusions: the spectral variations of NGC 3516 within 35 years of researches are considered in the given paper. It was revealed that radiation of the hydrogen lines shows the monotonous increase since a minimum in 1988 (JD2447205) up to a maximum in 1995 (JD2449748), and then it began to fall slowly down to an initial level of minimum in 2003 (JD 2452663). Thus increase of the emission- line fluxes occurs for 7 years, and their returning up to the former minimal value – for 8 years. As a whole all process lasts about 15 years, and the fluxes in the emission lines H α и H β vary, more than twice.

Исследование звезд и туманностей

УДК 524.31

А. В. КУРЧАКОВ, Л. Н. КНЯЗЕВА

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ В ЗВЕЗДАХ ПО УФ СПЕКТРАМ. I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

ДТОО Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова, г. Алматы

Цели. Выбрать критерии для спектральной классификации В звезд главной последовательности по УФ наблюдениям.

Методы. Используя абсолютные распределения энергии для выбранных В звезд разных спектральных подклассов из архива наблюдений IUE (INES) мы выбираем особенности характерные для всех спектральных подклассов и измеряем эквивалентные ширины (EW) для звезд нескольких подклассов. Затем мы исследуем изменение этих (EW) в зависимости от спектрального подкласса

Результаты. Мы нашли изменения EW выбранных элементов в зависимости от спектрального класса, что позволяет использовать этот параметр для спектральной классификации В звезд главной последовательности.

Основная цель спектральной классификации состоит в выделении групп звезд с подобными признаками в спектрах. Их объединяют средние физические свойства в каждой группе, к которым относятся основные параметры, такие как эффективная температура (Тэфф.), светимость (L), радиус (R) и масса (M).

МК система спектральной классификации, связывающая спектральный класс звезды с ее температурой и классом светимости, была разработана, используя характеристики линий поглощения, такие как их видимость, интенсивность различных элементов в видимой области спектра и в разных стадиях ионизации. Хотя критерии, использованные для МК классификации, были установлены по спектрам низкого разрешения в оптической области, нет причин не использовать МК стандарты, чтобы оценить новую группу критериев, используя особенности, видимые в других участках спектра, взятых с другой дисперсией.

Наша цель – выбрать особенности В УФ спектрах В звезд, подходящие для спектральной классификации. Как первый шаг этой работы, мы рассматриваем В звезды главной последовательности (ГП).

Из каталога [1] были выбраны звезды, классифицированные как «нормальные» В спектральные типы (без «e», «r», «n» или «pn») и имеющие IUE спектры высокого разрешения (~0.2Å) хорошего качества. Затем, используя базу данных SIMBAD, было проверено, насколько уверенная спектральная классификация у выбранных звезд, т.е. должны совпадать данные разных авторов, исключены двойные и переменные звезды, и звезды, сильно затронутые межзвездным покраснением.

Список спектральных линий, наиболее заметных в УФ спектре для выбранных звезд. Чтобы выбрать критерии для спектральной классификации по УФ спектрам «нормальных» В звезд ГП, мы используем спектрофотометрические данные, собранные в базе данных INES. INES – полный астрономический архив, представляющий заключительный этап IUE проекта (Международный Ультрафиолетовый Исследователь). Он содержит полный набор данных для 10 4000 спектров, полученных за 18.5 лет ультрафиолетовой спектроскопии из космоса с IUE спутником. Система INES содержит все данные в форме, удобной для численного анализа.

Для каждой звезды из базы INES были отобраны лучшие наблюдения с высоким разрешением с большой апертурой в области длин волн 1150-1950Å. Выбирались сильные неблендированные

фотосферные линии в разных состояниях ионизации, и резонансные линии, вероятно возникающие в звездном ветре. Для идентификации спектральных особенностей использовались стандартные длины волн элементов из базы данных NIST (<http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>). Список выбранных линий представлен в табл. 1.

Таблица 1. Список выбранных линий

| ион | λ А | ион | λ А | ион | λ А |
|-------|----------------------|-------|----------------|-------|-------------|
| СIII | 1175.7 | SiII | 1527, 1533 | AlII | 1725 |
| SiII | 1260.4 | CIV | 1548.2, 1550.8 | AlIII | 1862.8 |
| SiII | 1264.7 | FeIII | 1601.2, 1602 | FeIII | 1869.8 |
| SiIII | 1299 | AlIII | 1605.8 | | |
| СII | 1324, 1334.5, 1335.7 | FeII | 1608.5 | | |
| SIV | 1393.8, 1402.7 | AlII | 1670.8 | | |

Фотометрический профиль спектральной линии определяется распределением интенсивности внутри линии в зависимости от длины волны. Наиболее удобно в практическом и теоретическом отношениях интенсивность в линии определять в долях непрерывного спектра I_c на участке вблизи линии $r_\lambda = I_\lambda/I_c$. Тогда эквивалентная ширина линии в ангстремах EW будет представляться как

$$EW = \int (1 - r_\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Для вычисления EW отдельной линии необходимо оценить истинный континуум. Истинным континуумом спектра считают уровень потока, который был бы, если бы в спектре звезды не присутствовало никаких дискретных линий поглощения. Его оценка является достаточно простой, когда спектры не переполнены линиями, иначе определение истинного континуума является особенно трудным.

Размещение континуума – главный источник неуверенности для любого EW измерения, и пока еще нет общепринятой наилучшей методики по оценке уровня континуума в звездном спектре, плотно населенном с линиями поглощения, как это имеет место в УФ спектре.

Мы измерили эквивалентные ширины линий SiIII(1299A) CII (1334/1335A), SiIV(1394/1403F), SiII (1526/1533A), CI(1657A), AlII (1670) и AlIII(1863A) для нескольких звезд спектральных подклассов B1, B3, B5, B7 и B9V. Учитывая, что в исследуемой нами области УФ спектра эквивалентные ширины большинства линий малы, меньше одного ангстрема, при проведении непрерывного спектра мы сделали два допущения: а) линии поглощения не влияют на величину непрерывного спектра в области 1150-1900A, в) в этой области УФ спектра абсолютное распределение энергии представляется формулой Вина. На рис. 1 для звезды HD37303 (B1V) показаны реальные значения потоков (точки), и аппроксимация непрерывного спектра формулой Вина (линия).

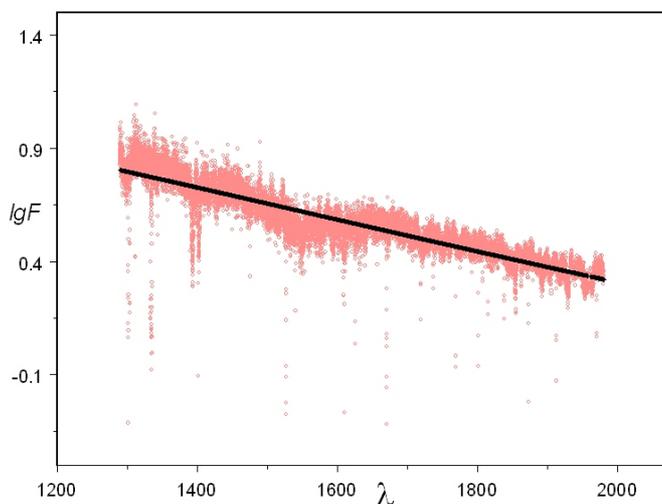


Рис. 1. Для звезды HD37303 SP B1 показаны реальные значения потоков (точки), и аппроксимация непрерывного спектра формулой Вина (линия)

Из рис. 1 видно, что в первом приближении формулу вина можно использовать для аппроксимации континуума В звезд ГП. Эквивалентные ширины EW, вычисленные по формуле (1) для звезд упомянутых спектральных подклассов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Эквивалентные ширины EW выбранных спектральных линий

| Спектр, HD | Тцв. | SiIII 1299 | СII 1334,1335 | SiIV 1394,1403 | SiII 1526 | SiII 1533 | СI 1657 | AlII 1670 | AlIII 1863 |
|-------------------------------|------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 31726 37303 | B1V | 0.43 0.17 | 0.62 0.89 | 1.80,1.01 1.81,1.17 | 0.67 0.77 | – – | 0.089 0.038 | 0.201 0.323 | 0.30 0.11 |
| <i>Среднее</i> | | <i>0.3</i> | <i>0.75</i> | <i>1.805, 1.09</i> | <i>0.72</i> | | <i>0.063</i> | <i>0.262</i> | <i>0.205</i> |
| 44700 (1) 44700(2) | B3V | 0.46 0.45 | 1.33 1.34 | 0.34,0.17 0.36,0.16 | 0.48 0.50 | 0.38 0.37 | 0.21 0.30 | 0.32 0.38 | 0.41 0.44 |
| <i>Среднее</i> | | <i>0.455</i> | <i>0.335</i> | <i>0.35,0.175</i> | <i>0.49</i> | <i>0.375</i> | <i>0.255</i> | <i>0.35</i> | <i>0.425</i> |
| 25430 67797 128345 | B5V | 0.35 0.36 0.35 | 1.52 1.5 1.56 | | 0.49 0.46 0.46 | 0.44 0.45 0.41 | 0.27 0.16 0.08 | 0.37 0.29 0.28 | 0.41 0.43 |
| <i>Среднее</i> | | <i>0.365</i> | <i>1.527</i> | | <i>0.47</i> | <i>0.43</i> | <i>0.17</i> | <i>0.31</i> | <i>0.42</i> |
| 23363 87901(1) 87901(2) | B7V | 0.41 0.33 0.21 | 0.71 0.68 0.64 | | 0.56 0.26 0.33 | 0.42 0.34 0.36 | 0.43 0.20 0.26 | 0.61 0.42 0.52 | 0.33 0.23 |
| <i>Среднее</i> | | <i>0.316</i> | <i>0.676</i> | | <i>0.383</i> | <i>0.373</i> | <i>0.296</i> | <i>0.516</i> | <i>0.28</i> |
| 20319 21790 32309 | B9V | 0.38 0.26 0.26 | 1.05 1.73 1.63 | | 0.60 0.43 0.45 | 0.58 0.42 0.46 | 0.49 0.51 0.61 | 0.64 0.61 0.74 | 0.23 0.14 |
| <i>Среднее</i> | | <i>0.3</i> | <i>1.47</i> | | <i>0.493</i> | <i>0.486</i> | <i>0.536</i> | <i>0.663</i> | <i>0.175</i> |

Примечание. Столбцы: 1 – HD номер звезды, 2 – спектральный класс, 3–10 – эквивалентные ширины.

В этой таблице представлены элементы, эквивалентные ширины которых показывают изменения EW в зависимости от спектрального подкласса. Но для того, чтобы выполнить уверенную спектральную классификацию по УФ спектрам, используя данные об эквивалентных ширинах, необходимо провести вычисления EW для всех спектральных подклассов В.

В табл. 1 хорошо видно, что эквивалентная ширина дублета SiIV сильно меняется при переходе от спектрального подкласса B1V к B3V и практически исчезает для более поздних подклассов. Пример приведен на рис. 2.

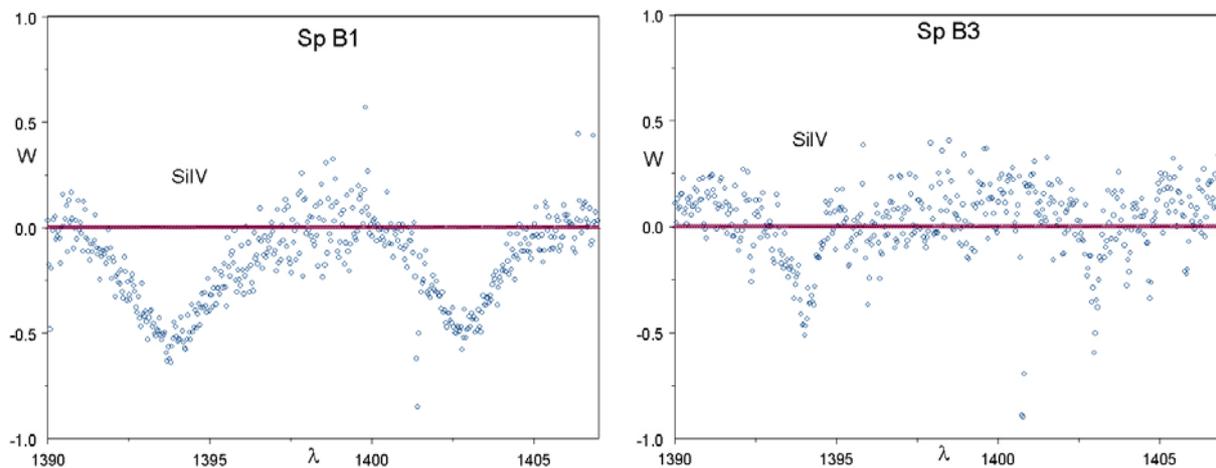


Рис. 2. Пример изменения эквивалентной ширины дублета SiIV со спектральным подклассом

Эта работа является первой в серии работ по количественной спектральной классификации В звезд по УФ спектрам. Для того чтобы выполнить надежную спектральную классификацию, используя данные об эквивалентных ширинах, необходимо:

1. Тщательно проанализировать влияние ошибок, связанных с проведением непрерывного спектра.
2. Провести вычисления для всех спектральных подклассов, используя дополнительно измерения полуширины контуров.
3. Исследовать изменения отношений эквивалентных ширин одного и того же элемента в разных стадиях ионизации.

Работа выполнена по программе 002 «Прикладные исследования в области космической деятельности».

А. В. Курчаков, Л. Н. Князева

УК СПЕКТРЛЕР БОЙЫНША ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ СПЕКТРЛІ
КЛАССИФИКАЦИЯЛАРДЫҢ САНДЫҚ ШАМАСЫ.
I. АЛДЫН АЛА АЛЫНҒАН НӘТИЖЕЛЕРІ

Мақсаттары. УК бақылаулар бойынша бас кезектегі В жұлдыздардан спектрлі классификацияға арналған шаманы таңдап алу.

Әдістері. Бақылау мұрағатынан IUE (INES) әр түрдегі спектрлі қосқласстардан таңдап алынған В жұлдыздарына арналған абсолютті энергия таратуды пайдалана отырып, біз барлық спектрлі қосқласстарға арналған сипаттық ерекшеліктерді таңдап аламыз және олардың эквиваленттік енін өлшейміз (EW).

Нәтижелері. Біз спектрлі кластан таңдап алынған элементтің EW байланысын таптық, осы бас кезектегі В жұлдыздары спектрлі классификациясы үшін оларды пайдалануға мүмкіндік береді.

L. N. Knyazeva, A. V. Kurchakov

QUANTITATIVE CRITERIA
FOR THE SPECTRAL CLASSIFICATION OF B STARS ON UV SPECTRA.
I. PRELIMINARY RESULTS

Aim. To choose the criteria for spectral classification of the main sequence (MS) B stars on the UV observations.

Methods. We select the common features for all spectral subclasses of the MS B stars, using the absolute energy distributions in UV from the INES database and measure the equivalent widths (EW) for the stars of some subclasses. Then we study the variations of these equivalent widths in dependence on a spectral subclass.

Results. We have found variations of the EW of the chosen elements in dependence on the spectral subclass, so this parameter may be used for the spectral classification of B stars of the main sequence.

Л. Н. КОНДРАТЬЕВА, Ф. К. РСПАЕВ

УНИКАЛЬНЫЙ СИМБИОТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ SN Cyg. НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова», г. Алматы

Цель работы: получить спектральные и фотометрические характеристики объекта SN Cyg в современной «спокойной» стадии.

Методы исследования: выполнялись спектральные и фотометрические наблюдения объекта

Результаты работы: Получены данные о V V Rc величинах SN Cyg. Представлены спектры объекта в абсолютных энергетических единицах. Выявлены изменения потоков излучения и эквивалентных шириин эмиссионных линий.

Область применения. Полученные данные могут быть использованы для создания модели исследуемого объекта.

Выводы: Фотометрические характеристики объекта соответствуют максимуму согласно эфемеридам, отражающим пульсации красного гиганта. Уменьшение (в 2-3 раза) потоков излучения в эмиссионных линиях $H\alpha$, $H\beta$ и $[OIII]$ связано с ослаблением ионизирующего излучения горячей компоненты, вызванным, скорее всего, увеличением околозвездного поглощения пылевой составляющей туманности.

Введение. SN Cyg – это наиболее яркий, симбиотический объект, расположенный на расстоянии 270 ± 66 парсек. В течение долгого времени он считался обычным красным гигантом со 100-дневным периодом пульсаций, и только в 1963 г. в его спектре были обнаружены «ультрафиолетовый» континуум и эмиссионные линии водорода, свидетельствующие о симбиотической природе этой звездной системы. В наше время SN Cyg – это «один из наиболее изученных и наименее понятных объектов» [1]. До сих пор не решен вопрос о его составе: предлагаются модели двойной и тройной системы звезд. Есть предположение, что SN Cyg состоит пары: красный гигант – белый карлик и G компоненты [2] или третья звезда является тоже красным гигантом [3]. Фотометрическая история объекта представлена серией вспышек (1967–1970, 1977–1986, 1992–1995 и 1998–1999 гг.), разделенных «спокойными» периодами со спектром «позднего» типа [3–6]. Во время наиболее длительной активной фазы (1977–1986 гг.) произошло внезапное резкое падение блеска до $V \sim 10^m$, сопровождаемое выбросом джета, отмеченного в радиодиапазоне [7]. Начиная с 2000 г., SN Cyg находится в спокойной стадии при довольно высоком уровне блеска, хотя в августе – декабре 2006 г. наблюдалось кратковременное уменьшение яркости \sim на 2^m , до $V = 9^m.4$ и $B = 11^m.5$ [8]. Выделено два периода фотометрических изменений объекта: первый $JD = 2447293.5 + (750.1 \pm 1.3) \times E$, скорее всего, связан с пульсациями атмосферы красного гиганта, второй $JD = 2\ 445\ 681 \pm (5689.2 \pm 47.0) \times E$ отождествляется с орбитальным движением горячей звезды [9]. Изменения физических и спектральных характеристик этого объекта непредсказуемы, поэтому необходимость дальнейших исследований очевидна и неоднократно подчеркивалась многими астрономами. В Астрофизическом Институте (АФИФ) наблюдения SN Cyg проводились в 2010–2011 гг.

Наблюдения и обработка результатов. Большая часть наблюдений объекта SN Cyg проводилась на телескопе АЗТ-8. Использовался дифракционный спектрограф слабых объектов, установленный в фокусе кассегрена. Приемником излучения служила CCD камера ST-8 (1530x1020, 9 μ). Спектрограммы с дисперсией $0.75 \text{ \AA}/\text{пкс}$ охватывают $\sim 1200 \text{ \AA}$ в диапазонах длин волн $\lambda\lambda$ 4000–5200 \AA и $\lambda\lambda$ 6100–7300 \AA . Часть наблюдений была выполнена на 1-метровом телескопе Карл-Цейсс Йена со спектрографом UAGS. Спектрограммы с дисперсией $0.5 \text{ \AA}/\text{пкс}$ покрывали два диапазона: $\lambda\lambda$ 4400–5200 \AA и $\lambda\lambda$ 6100–6900 \AA . Одновременно со спектрограммами исследуемого объекта были получены спектры звезд HD 199579 и HD196330 с известным распределением энергии. Рабочая ширина входной щели спектрографа составляла 0.3 мм, для выполнения абсолютной калибровки потоков излучения использовались спектрограммы объекта и стандарта, полученные с широкой щелью (0.7–1.0 мм).

Обработка спектрограмм состояла из стандартных процедур: учета «темнового шума», ошибки поля, атмосферной экстинкции. Спектры стандартной звезды использовались также для учета спектральной чувствительности аппаратуры.

При фотометрических наблюдениях в касегреновском фокусе 1-метрового телескопа приемником излучения служила ПЗС матрица ST-7 (765x510, 9μ) с полем зрения 2'x3'.6. На телескопе АЗТ-8 для фотометрических наблюдений использовалась специальная оптическая система спектрографа, которая, минуя диспергирующий узел, проектирует область неба с размерами 9'x9' на матрицу ST-8 (1530x1020, 9 μ). Набор BVRc фильтров создавал полосы пропускания, соответствующие стандартной фотометрической системе Джонсона–Моргана–Кузинса. Коэффициенты перевода в стандартную фотометрическую систему определялись по наблюдениям ~ 60 стандартных звезд (от 6 до 10 зв.вел.), преимущественно из Каталога Корнилова и др., 1991 [12]. Средние значения отклонений $\Delta = V^* - V_{calc}$, (где V_{calc} и V^* – расчетное и наблюдаемое значения) равны: 0^m.022 для (B-V) < 1^m.5, 0^m.030 для (B-V) в пределах 1^m.5–2^m.5 и 0^m.05 для (B-V) > 2^m.5. Для каждого объекта подбирались стандарты аналогичного спектрального класса. Проводилась коррекция получаемых изображений с учетом «плоского поля», темнового фона и атмосферной экстинкции. Для измерения звездных изображений использовался стандартный пакет Maxim DL5 (www.cyanogen.com).

Обсуждение результатов. Фотометрические измерения объекта выполнялись в 2010–2011 гг. Полученные оценки B V Rc величин приведены в табл. 1. Заметно, что за время наших наблюдений произошло существенное повышение блеска $\Delta B \approx \Delta V \approx 1^m.3$. К настоящему времени установлено несколько возможных источников фотометрических изменений объекта СН Суг:

- пульсации красного гиганта (с периодом ~ 750 дней);
- изменение вклада горячей звезды в суммарный блеск объекта вследствие орбитального движения (с периодом ~ 15 лет);
- вспышки белого карлика, вызванные нестабильностью аккреционного диска (носят нерегулярный характер).
- изменения поглощения на луче зрения, связанные с переменной мощностью механизма потери массы из атмосферы красного гиганта.

На протяжении периода наших наблюдений показатель цвета объекта (B-V) оставался близким к «нормальному» показателю для звезд-гигантов класса M5–M8: $(B-V)_0 = 1.54$, более того, к сентябрю 2011г. значения (B-V) несколько увеличились. Следовательно, наблюдаемое повышение блеска не связано с изменениями поглощения на луче зрения. Можно также исключить вспышку белого карлика, так как она бы привела к более резкому и большему по величине увеличению блеска. Остановимся на том, что наблюдаемое повышение блеска связано с периодическими пульсациями в атмосфере красного гиганта. Соответствующие фотометрические фазы, приведенные в табл. 1, указывают на «продвижение» объекта к максимуму.

Таблица 1. Фотометрические данные для объекта СН Суг

| Дата наблюдений | JD 2 400 000+ | φ (P = 750.1 день) | B mag | V mag | R mag | B-V |
|-----------------|---------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 03.09.2010 | 55443.40 | 0.39 | 10.92±0.03 | 9.40±0.01 | 6.02±0.01 | 1.52 |
| 27.07.2011 | 55779.48 | 0.84 | 10.04±0.03 | 8.46±0.01 | 5.02±0.01 | 1.58 |
| 04.08.2011 | 55778.52 | 0.84 | 9.76±0.02 | 8.20±0.01 | 4.83±0.01 | 1.56 |
| 03.09.2011 | 55807.38 | 0.88 | 9.66±0.02 | 8.07±0.01 | 4.68±0.01 | 1.59 |

Примечание. Столбцы: 1 – дата наблюдений, 2 – юлианская дата, 3 – фотометрическая фаза по эфемеридам [9], 4–6 – блеск объекта в B V Rc полосах, 7 – показатель цвета (B-V).

На рис. 1 представлена кривая блеска из работы [11] за последние два года. Можно отметить, что наши значения хорошо согласуются с результатами других авторов. Данные Skopal et al, 2012 свидетельствуют о том, что в декабре 2011 г. при фотометрической фазе (φ ~ 0.99) блеск объекта в полосах B и V превышал максимальные значения прошлого цикла на ~ 0^m.25. Поэтому нельзя исключать и усиливающееся влияние белого карлика на интегральный блеск (его прохождение в периастре произойдет в 2015 г.).

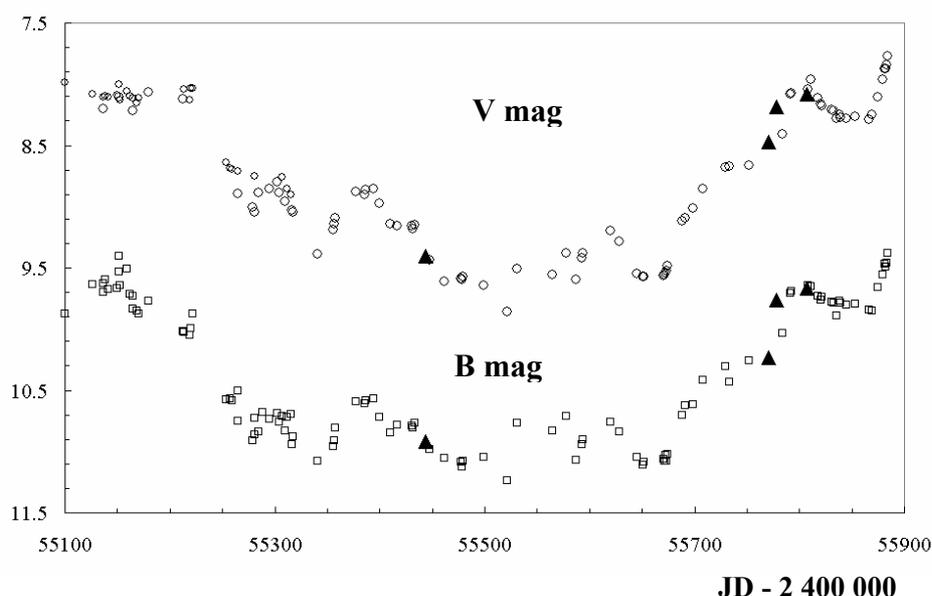


Рис. 1. Изменения блеска СН Суг в В (квадратики) и V (кружки) полосах за период 2010–2002 гг. из работы [11]. Ось X – соответствует юлианским датам, ось Y – звездные величины. Наши значения обозначены треугольниками

Спектр СН Суг сильно зависит от уровня активности белого карлика и от его положения на орбите. В наблюдаемый период объект находился в так называемой спокойной стадии, и, тем не менее, характер его спектра претерпел в течение года существенные перемены. На рис. 2 приведены фрагменты спектрограмм, полученных нами в 2010–2011 гг. Прежде всего, обращает на себя внимание повышение уровня непрерывного спектра с молекулярными полосами, характерными для звезд позднего спектрального класса, и одновременно – ослабление линий H β . В табл. 2 приведены значения абсолютных потоков (Fabs) и эквивалентных ширин (EW) эмиссионных линий. Заметно, что к концу 2011 г. эквивалентные ширины всех эмиссионных линий уменьшились, в основном это вызвано повышением уровня континуума. Кроме того, реально уменьшились потоки излучения в линии H β - в 3 раза, в линиях H α и [OIII], 4959, 5007Å - в 2 раза. Практически неизменными сохранились потоки излучения в линиях [NII] и [OI]. Основными механизмами образования эмиссионных линий в этом объекте признаны фотоионизация и ударное возбуждение.

Таблица 2. Характеристики эмиссионных линий

| Дата наблюдений | H β | | [OIII], 5007 | | H α | | [NII], 6583 | | [OI], 6300 | |
|-----------------|------------------------|------|------------------------|------|------------------------|------|------------------------|------|------------------------|------|
| | Fabs | EW |
| | эрг/см ² ·с | Å |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 03.09.2010 | 1.06·10 ⁻¹¹ | 39.9 | 3.45·10 ⁻¹² | 14.8 | 8.41·10 ⁻¹¹ | 35.3 | 6.03·10 ⁻¹² | 2.80 | 9.10·10 ⁻¹² | 7.58 |
| 27.07.2011 | | | | | 4.27·10 ⁻¹¹ | 7.51 | 6.91·10 ⁻¹² | 1.73 | | |
| 04.08.2011 | | | | | 4.10·10 ⁻¹¹ | 7.92 | 6.41·10 ⁻¹² | 1.33 | 9.05·10 ⁻¹² | 4.27 |
| 06.08.2011 | 4.54·10 ⁻¹² | 12.3 | 1.99·10 ⁻¹² | 7.12 | | | | | | |
| 02.09.2011 | 3.92·10 ⁻¹² | 9.32 | 1.59·10 ⁻¹² | 4.11 | | | | | | |

Примечание. Столбцы: 1 – дата наблюдений, 2, 4, 6, 8, 10 – потоки излучения в линиях H β , [OIII], H α и [NII] в эрг/см²·с. 3, 5, 7, 9, 11 – эквивалентная ширина эмиссионных линий.

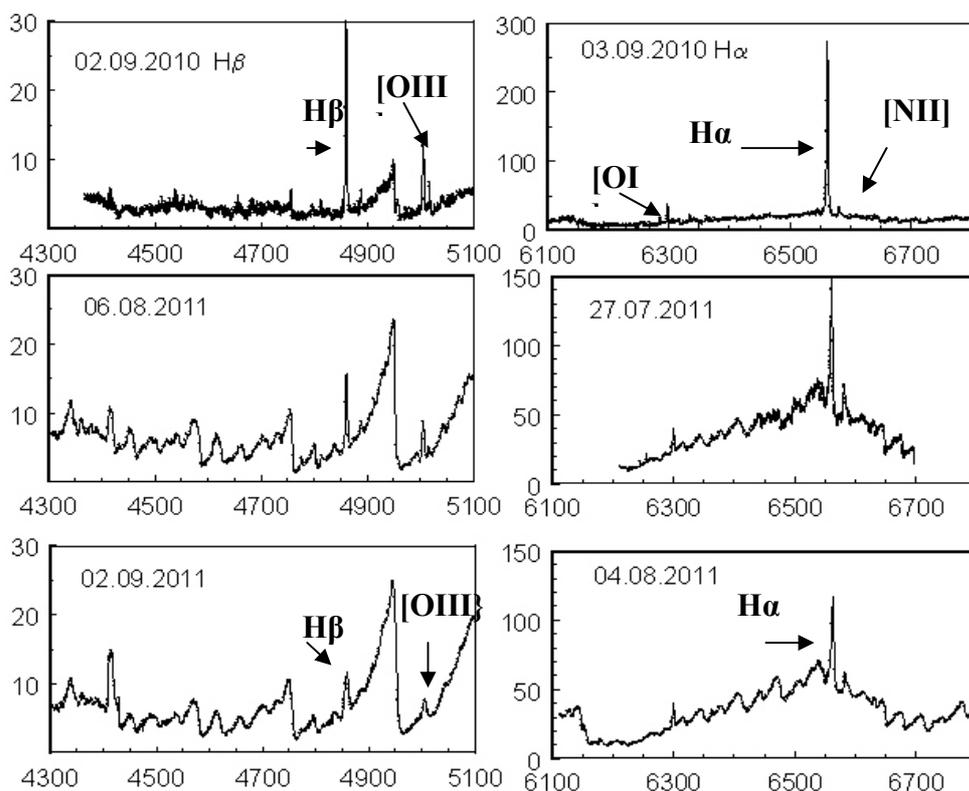


Рис. 2. Фрагменты спектрограмм CH Cyg.
Ось X – шкала длин волн, ось Y – соответствует потоку излучения и выражена в 10^{-12} эрг/см²·с

Ослабление линий [OIII] и H β , скорее всего, связано с уменьшением потока ионизирующего излучения белого карлика, вызванного дополнительным поглощением пылевой составляющей туманности. Эмиссии [NII] и [OI] образуются под действием ударной волны, сформировавшейся в процессе пульсации атмосферы красного гиганта. Поэтому потоки излучения в этих линиях (по мере развития пульсации красного гиганта) не ослабевают, больше того, можно ожидать их усиления.

Работа выполнена по программе 002 «Прикладные исследования в области космической деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Contini M., Angeloni I. R., Rafanelli P. The symbiotic star CH Cyg. ArXiv 0807.1408v1, 2008.
2. Hinkle K.H., Fekel F.C., Johnson D.S., Scharlach W.W.G. The triple symbiotic system CH Cygni // AJ. 1993. V. 105. P. 1074-1080.
3. Skopal A., Vaňko M., Pribulla T., et al. Multifrequency observations of the eclipsing symbiotic triple system CH Cyg during the 1992-94 active phase // MNRAS. 1996. V. 282. P. 327-331.
4. Skopal A., M.Vaňko M., T. Pribulla T., et al. Photometry of symbiotic stars. X. EGAnd, ZAnd, BFCyg, CHCyg, AGDra, RWHya, AXPer and IVVir // arXiv:astro-ph/ 0202249 v1 13 Feb 2002.
5. Wallerstein G., Munari U., Siviero A., et al. The Spectrum and Light Curve of CH Cygni during its Recent Broad Minimum // PASP. 2010. V.122. P. 12.
6. Taranova O.G., Shenavrin V. Infrared photometry of eight planetary nebulae // Astronomy Letters. 2007. V. 33. P. 531.
7. Taylor A.R., Seaquist E.R., Mattei J.A. A radio outburst and jet from the symbiotic star CH CYG // Nature. 1986. 319. 38.
8. Skopal A., Vaňko M., Pribulla T., et al. Recent photometry of symbiotic stars. XII // AN. 2007. V. 999. N 88. P. 1-19.
9. Hinkle K.H., Fekel F.C., Joyce R. Infrared Spectroscopy of Symbiotic Stars. VII. Binary Orbit and Long Secondary Period Variability of CH Cygni // ApJ. 2009. V. 692. P. 1360.
10. Burmeister M., Leedjarv L. Spectroscopy of the symbiotic binary CH Cygni from 1996 to 2007 arXiv:0907.2017v1 [astro-ph.SR] 12 Jul 2009.
11. Skopal A., Shugarov S., Vaňko M., et al. Recent photometry of symbiotic stars. XIII // AN. 2012. V. 333. N 3. P. 242-255.
12. Корнилов В., Волков И., Захаров Д. и др. // Труды ГАИШ. 1991. Т. 63. С. 3.

REFERENCES

1. Contini M., Angeloni R., and Rafanelli P. *ArXiv: 0807.1408v1*, **2008**.
2. Hinkle K. H., Fekel F. C., Johnson D. S., et al. *AJ*, **1993**, 105, 1074-1080.
3. Skopal A., Va'anko M., T. Pribulla T., et al. *MNRAS*, **1996**, 282, 327-331.
4. Skopal A., Va'anko M., T. Pribulla T., et al. , *arXiv: 0202249 v1 13*, **2002**.
5. Wallerstein G., Munari U., Siviero A., et al. *PASP*, **2010**, 122, 12.
6. Taranova O.G., Shenavrin, V. *Astronomy Letters*, **2007**, 33, 531.
7. Taylor A. R., Seaquist E. R., Mattei J. A. *Nature*, **1986**, 319, 38.
8. Skopal A., Va'anko M., , T. Pribulla T., et al. *AN*, **2007**, 999, No. 88, 1-19.
9. Hinkle K. H., Fekel, F. C., Joyce, R *ApJ*, **2009**, 692, 1360.
10. Burmeister M & and L. Leedjarv L. *arXiv:0907.2017v1, 12 Jul 2009*.
11. A. Skopal A., Shugarov S., Va'anko M. et al. *AN*, **2012**, 333, 242-255.
12. Kornlov V., Volkov I., Zakharov D. *Trudy GAISH*, **1991**, 63, 3.

Л. Н. Кондратьева, Ф. К. Рспаев

БИРЕГЕЙ СИМБИОТИКАЛЫҚ СН Cyg ОБЪЕКТИ ЖАҢА НӘТИЖЕЛЕР

Жұмыстың мақсаты: қазіргі «тыныш» кезеңдегі СН Cyg объектісінің спектральді және фотометрикалық сипаттамасын алу.

Зерттеу әдістері: Объектінің спектральді және фотометрикалық бақылаулары орындалды.

Жұмыстың нәтижесі: В V Rc-тің СН Cyg шамасы жөніндегі мәліметтер алынды. Объекті спекторы абсолютті энергетикалық бірліктермен көрсетілген. Сәулелену ағымдарының өзгерістері және эмиссиондық сызықтардың эквиваленттік кеңдігі айқындалған.

Қолдану саласы: Алынған мәліметтерді зерттеліп отырған объектінің моделін құрауда пайдалануға болады.

Қорытындылар: Объектінің фотометрикалық сипаттамасы қызыл алыптың сәулелену пульсациясы, максималды келсімді эфимеридтерге сәйкес келеді. Эмиссионды сызықтарда H α , H β и [OIII] сәулелену ағымдарының кішіреюі (2-3 есе). Бстық компоненттер ионизацияланған сәулелену әлсіреуімен байланысты. Ол жұлдыз маңындағы тұмандықты құрайтын тозақ жұту ұлғаюынан болуы мүмкін.

L.Kondrayeva, F. Rspayev

UNIQUE SYMBIOTIC OBJECT CH Cyg. NEW RESULTS

Aims: To obtain the spectral and photometric characteristics of the object CH Cyg during its modern quiescent stage.

Methods: The spectral and photometric observations.

Results: The B V Rc magnitudes of CH Cyg are received. The spectra of the object are presented in the absolute energy units. Variations of the fluxes and equivalent widths of the emission lines are revealed.

Applications: Obtained data may be used for the modeling of the studied object.

Conclusions: The photometric parameters of the object correspond to maximum in according with the ephemeris of the red giant pulsations. The flux decreasing of H α , H β и [OIII] lines are connected with the reduction of the ionizing flux of the hot star, which is most likely caused by additional circumstellar extinction by the dust component of the nebula.

В. М. ТЕРЕЩЕНКО

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ «МЕЖЗВЕЗДНОГО ПУЗЫРЯ» В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Основной целью настоящего исследования является подтверждение идеи о «межзвездном пузыре» в окрестностях Солнца на основе данных «Спектрофотометрического каталога звезд» [7]. Метод обнаружения межзвездного поглощения для выбранных из каталога 107 звезд основан на визуальном сравнении графиков зависимости межзвездного поглощения от длины волны для этих звезд с универсальным законом межзвездного поглощения. Отсутствие на графиках универсальной зависимости поглощения от длины волны свидетельствует о его малости или отсутствии. Заметного межзвездного поглощения (более 0.04^m) на расстояниях менее 125пк даже в плоскости Млечного Пути не обнаружено, т.е., наши результаты подтверждают существование «межзвездного пузыря». Ввиду малости поглощения в качестве первичных спектрофотометрических стандартов можно использовать близкие ($r < 125\text{пк}$) белые карлики с водородной атмосферой, для которых с высокой точностью рассчитано распределение энергии в их спектрах из моделей атмосфер.

Настоящая работа является завершающей из небольшого цикла работ [1, 2], посвященных исследованию межзвездного поглощения в окрестностях Солнца. Стимулом постановки данного исследования стала проблема создания спектрофотометрических стандартов промежуточного и слабого блеска. Эта проблема актуализировалась в связи с предстоящим запуском Всемирной космической обсерватории «Спектр-УФ». В качестве стандартов в ультрафиолетовой области спектра предполагается использовать белые карлики с чисто водородной атмосферой. Модели атмосфер таких карликов рассчитываются достаточно точно. С метрологической точки зрения излучение белого карлика с водородной атмосферой играет роль излучения абсолютно черного тела. Вычисленное по моделям распределение энергии в их спектрах может служить первичным спектрофотометрическим стандартом. Такой способ получения стандартов был использован в Институте космического телескопа [3, 4]. Естественно, что излучение от звезд, в том числе белых карликов, может быть искажено межзвездным поглощением. Из-за малой светимости белые карлики, имеющие $V = 14^m - 15^m$, а именно такого порядка блеск предполагаемых стандартов, расположены на расстояниях ближе 125пк. Соответственно, требуется знать межзвездное поглощение именно на таких расстояниях.

Исследование межзвездной среды важно в основном по двум причинам, которые условно можно назвать космогонической и информационной. С точки зрения первой из них важны физические свойства среды самой по себе, особенно газово-пылевых облаков как исходного материала, из которого образуются звезды. В этом случае определяют химический состав, температуру, плотность и другие физические параметры газово-пылевых облаков. Не менее важно знать, как распределены облака в космическом пространстве, которые поглощают и рассеивают излучение от звезд и, тем самым, искажают информацию о них. Именно с этой, второй, точки зрения изучается межзвездное поглощение в данной работе. Учитывая клочковатость облаков, различие их размеров и плотности вещества в них, определение структуры и положения облаков, как помех, очень трудоемко. Абсолютное большинство работ посвящено определениям межзвездного поглощения на расстояниях значительно больше 100пк и выполнено фотометрическим методом. В нашем случае из-за малости самой экстинкции, относительно не большого числа ранних звезд в окрестностях Солнца и естественной дисперсии распределения энергии в спектрах звезд одного и того же спектрального класса возникают дополнительные методические трудности. Кроме того, относительно недавно стало известно, что Солнце находится в «межзвездном пузыре», образовавшемся либо вследствие вспышки Сверхновой, либо звездным ветром от О-звезд, входивших в состав ассоциации, располагавшейся в прошлом вблизи Солнца в направлении на созвездия Скорпиона и Центавра [5, 6]. В связи с малостью поглощения появляются трудности не только с определением, но даже с обнаружением самого поглощения в видимой области спектра. Отметим,

что низкотемпературную составляющую межзвездной среды и холодные облака изучают в основном методами инфракрасной астрономии и радиоастрономии, а высокотемпературную плазму – с помощью космических рентгеновских телескопов. Наше исследование, по сути, сводилось

Таблица 1. Список использованных звезд и их характеристики

| HD | π (mas) | V | B-V | Sp | HD | π (mas) | V | B-V | Sp |
|-------|-------------|-------------------|-------------------|--------|--------|-------------|-------------------|-------|--------|
| 431 | 9 | 6,01 ^m | 0,20 ^m | A7IV | 70011 | 8 | 5,98 | -0,04 | B9,5V |
| 2772 | 9 | 4,73 | -0,10 | B8V | 149757 | 7 | 2,56 | 0,04 | O9,5V |
| 4058 | 19 | 4,94 | 0,18 | A5V | 155125 | 39 | 2,43 | 0,06 | A2V |
| 5015 | 54 | 4,82 | 0,53 | F8V | 157950 | 33 | 4,54 | 0,39 | F3V |
| 6210 | 12 | 5,84 | 0,57 | F6V | 158509 | 2 | 8,14 | 0,05 | B9 |
| 6829 | 10 | 5,29 | -0,01 | A0V | 159876 | 31 | 3,54 | 0,26 | F0IV |
| 6960 | 8 | 5,55 | -0,05 | B9,5V | 160613 | 19 | 4,26 | 0,09 | A2V |
| 6961 | 24 | 4,33 | 0,17 | A7V | 165777 | 39 | 3,73 | 0,16 | A4IV |
| 6972 | 9 | 5,57 | -0,07 | B9IV | 166014 | 9 | 3,83 | -0,02 | B9,5V |
| 9021 | 34 | 5,81 | 0,49 | F6V | 166182 | 2 | 4,36 | -0,16 | B2IV |
| 10250 | 12 | 5,18 | -0,02 | B9V | 170296 | 11 | 4,7 | 0,08 | A3V |
| 11946 | 13 | 5,26 | 0 | A0V | 173654 | 13 | 5,9 | 0,13 | A2V |
| 12111 | 28 | 4,54 | 0,16 | A3IV | 176303 | 21 | 5,23 | 0,57 | F8V |
| 12216 | 20 | 3,98 | 0 | A2V | 177724 | 39 | 2,99 | 0,01 | A0V |
| 12279 | 11 | 6 | 0,03 | A1V | 177756 | 26 | 3,44 | -0,1 | B9V |
| 12441 | 2 | 7,5 | 0,3 | A0V | 180782 | 12 | 6,19 | 0,02 | A1V |
| 16895 | 89 | 4,12 | 0,51 | F8V | 180868 | 8 | 5,28 | 0,2 | F0IV |
| 18411 | 10 | 4,7 | 0,06 | A2V | 181383 | 12 | 6,02 | 0,09 | A2V |
| 20677 | 21 | 4,95 | 0,05 | A3V | 182640 | 65 | 3,36 | 0,32 | F3IV |
| 24479 | 10 | 5,03 | -0,07 | B9,5V | 182919 | 15 | 5,63 | -0,01 | A0V |
| 25642 | 9 | 4,29 | 0,01 | A0IV | 184006 | 27 | 3,79 | 0,15 | A5V |
| 26141 | 9 | 7,63 | 0,14 | A0V | 185395 | 54 | 4,48 | 0,4 | F4V |
| 26912 | 8 | 4,29 | -0,05 | B3IV | 186689 | 18 | 5,91 | 0,18 | A3IV |
| 27819 | 22 | 4,80 | 0,15 | A7V | 186882 | 19 | 2,87 | 0 | B9,5IV |
| 27934 | 21 | 4,22 | 0,14 | A7IV-V | 187362 | 10 | 5 | 0,1 | A3V |
| 27946 | 23 | 5,28 | 0,25 | A7V | 187642 | 194 | 0,77 | 0,22 | A7V |
| 27962 | 22 | 4,29 | 0,05 | A2V | 187691 | 52 | 5,11 | 0,56 | F8V |
| 28024 | 21 | 4,28 | 0,26 | A8V | 188728 | 16 | 5,28 | 0,01 | A1IV |
| 28052 | 21 | 4,49 | 0,26 | F0V | 188899 | 11 | 5,02 | 0,06 | A3IV |
| 28149 | 10 | 5,53 | -0,1 | B7V | 189037 | 11 | 4,92 | 0,12 | A4V |
| 28910 | 21 | 4,65 | 0,26 | A8V | 189340 | 41 | 5,88 | 0,6 | F8V |
| 29488 | 21 | 4,69 | 0,15 | A5V | 192518 | 10 | 5,18 | 0,19 | A7IV |
| 29763 | 8 | 4,28 | -0,11 | B3V | 192696 | 21 | 4,3 | 0,11 | A3IV-V |
| 31278 | 9 | 4,47 | -0,02 | A1V | 195068 | 27 | 5,69 | 0,34 | F0V |
| 31647 | 20 | 4,94 | 0,04 | A1V | 196180 | 14 | 4,68 | 0,12 | A3V |
| 32301 | 20 | 4,64 | 0,16 | A7V | 196504 | 11 | 5,59 | -0,05 | B9V |
| 32537 | 38 | 5 | 0,33 | F0V | 196524 | 33 | 3,63 | 0,42 | F5IV |
| 32630 | 15 | 3,17 | -0,18 | B3V | 196724 | 15 | 4,82 | -0,03 | A0V |
| 33959 | 12 | 5,02 | 0,22 | A9IV | 196867 | 14 | 3,77 | -0,06 | B9IV |
| 34557 | 11 | 5,52 | 0,12 | A3V | 199629 | 9 | 3,94 | 0,03 | A1V |
| 35943 | 8 | 5,47 | -0,04 | B8,5V | 202444 | 48 | 3,72 | 0,39 | F2IV |
| 40932 | 21 | 4,12 | 0,17 | A2V | 203280 | 67 | 2,44 | 0,26 | A7V |
| 41695 | 19 | 4,67 | 0,05 | A1V | 205835 | 16 | 5,01 | 0,2 | A5V |
| 45067 | 30 | 5,87 | 0,56 | F8V | 209369 | 27 | 5,03 | 0,44 | F5V |
| 46089 | 15 | 5,23 | 0,18 | A3V | 211336 | 39 | 4,19 | 0,28 | F0IV |
| 47105 | 31 | 1,93 | 0 | A0IV | 213403 | 16 | 5,83 | 0,17 | A2V |
| 55057 | 12 | 5,45 | 0,29 | F2V | 213558 | 32 | 3,77 | 0,03 | A1V |
| 55185 | 9 | 4,15 | -0,01 | A2V | 213798 | 14 | 5,5 | 0,09 | A3V |
| 56537 | 35 | 3,58 | 0,11 | A3V | 214454 | 19 | 4,63 | 0,25 | A8IV |
| 56986 | 55 | 3,53 | 0,37 | F2IV | 217782 | 9 | 5,1 | 0,09 | A3V |
| 58946 | 54 | 4,18 | 0,32 | F0V | 219080 | 41 | 4,52 | 0,3 | F0V |
| 62952 | 14 | 5,04 | 0,34 | F0V | 222439 | 19 | 4,14 ^m | -0,07 | B9IV |
| 64145 | 13 | 4,97 | 0,1 | A3V | 223274 | 11 | 5,04 | 0,01 | A1V |
| 64648 | 10 | 5,35 | -0,04 | A0V | | | | | |

к обнаружению поглощения. Для этой цели был использован прием, который в какой-то мере напоминает решение обратных задач. Мы исходили из предположения, что эмпирический закон межзвездного поглощения, согласно которому поглощение в звездных величинах обратно пропорционально длине волны, справедлив и для окрестностей Солнца. Строя графики зависимости

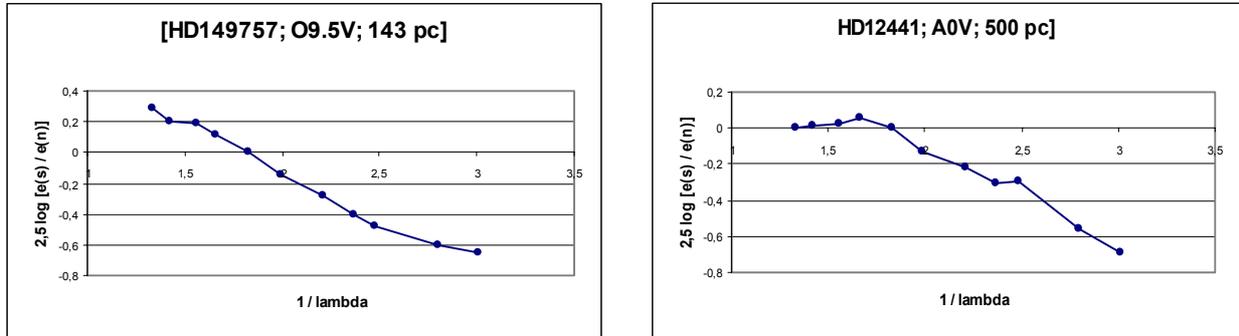


Рис. 1. Пример зависимости межзвездной экстинкции от $1/\lambda$ для звезды с оболочкой ζ Ori (HD143757) и «далекой» звезды HD12441

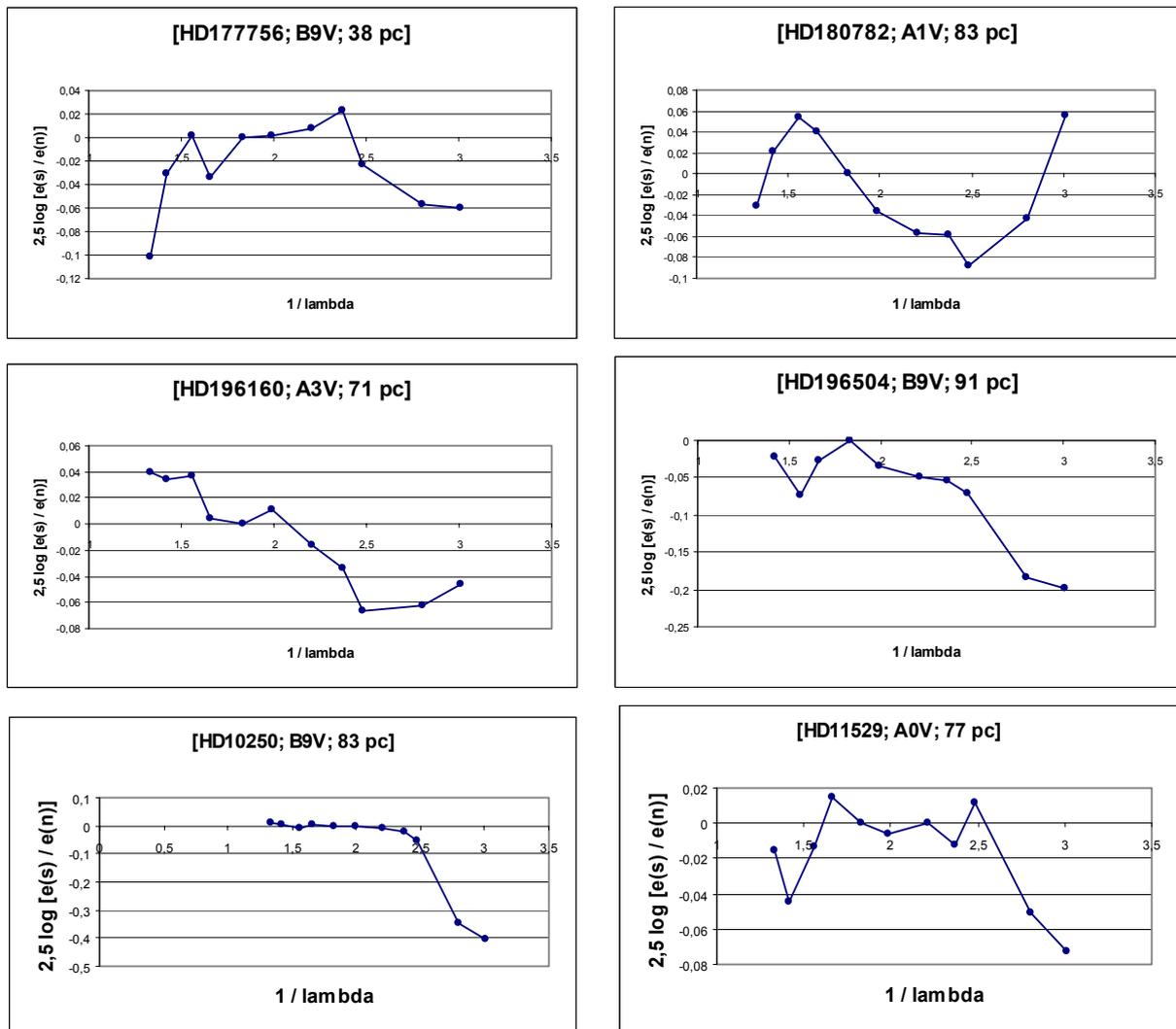


Рис. 2. Пример полученных зависимостей межзвездной экстинкции от обратной длины волны для произвольно выбранных звезд.

поглощения от обратной длины волны можно по их виду судить как о наличии и величине поглощения, так и его отсутствии. В предыдущих двух работах [1, 2] мы таким способом исследовали поглощение в направлении на созвездия Кассиопеи и Змееносца. В настоящей работе мы охватываем область Млечного Пути со склонением более -15° . Как известно, газово-пылевые облака концентрируются в плоскости Млечного Пути.

В качестве исходного материала мы взяли «Спектрофотометрический каталог звезд» [7] и работы [8, 9], в которых представлено нормальное распределение энергии в спектрах звезд ранних спектральных классов. В третьем издании каталога [7] приводится распределение энергии в спектрах 1273 звезд в области спектра от 320 до 760 нм. Были использованы данные для 107 звезд ранних спектральных классов В и А, находящихся на расстоянии ближе 100 пк и имеющих галактические широты $\pm 20^\circ$. Список и основные характеристики звезд приведены в табл. 1. Характеристики заимствованы из каталога [10].

Из 88 длин волн, в которых приводятся данные о распределении энергии в каталоге [7], было выбрано 11. Они равномерно распределены по всему спектру и находятся в участках спектра, свободных от влияния линий поглощения. Процесс обнаружения поглощения состоял из следующих операций. Приводимые в каталоге [7] значения внеатмосферных монохроматических освещенностей были нормированы в длине волны $\lambda_n = 5475 \text{ \AA}$, в которой нормированы нормальные распределения энергии в спектрах звезд в работах [8, 9]. Затем полученные данные были поделены в избранных длинах волн на значения нормальных распределений соответствующих спектральных классов. Результат деления представляет собой избыток цвета $E(\lambda, \lambda_n)$. В звездных величинах он равен:

$$E(\lambda, \lambda_n) = -2,5 \lg [e^*(\lambda) / e_n(\lambda)], \quad (1)$$

где $e^*(\lambda)$ и $e_n(\lambda)$ – относительные распределения энергии в спектрах исследуемой звезды и нормальное распределение соответствующего спектрального класса. Определяемый подобным образом избыток цвета учитывает только селективное поглощение света. Как известно, нейтральное поглощение в межзвездной среде практически отсутствует. Затем для каждой звезды были построены графики зависимости избытков цвета от обратной длины волны. Для дополнительной проверки используемого метода были привлечены две звезды: ζ Oph, имеющая мощную оболочку, и HD12441, находящаяся на расстоянии около 500 пк (рис. 1). Пример для произвольно выбранных звезд представлен на рис. 2. Стоит отметить, что при малых значениях поглощения необходимый тренд не является полной гарантией его наличия. Наблюдаемый тренд может быть обусловлен погрешностями используемого распределения энергии или, что менее вероятно, нормального распределения. Наиболее же вероятный источник возможных ошибок – погрешности спектральной классификации. Из анализа графиков можно заключить, что заметное поглощение (более $0,04^m$) на расстояниях ближе 125 пк отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терещенко В.М. Оценка межзвездного поглощения в окрестностях Солнца по спектрофотометрическим данным // Известия НАН РК. – 2010. – № 4. – С. 59-62.
2. Терещенко В.М. Исследование межзвездного поглощения в направлении на созвездие Змееносца // Известия НАН РК. – 2011. – № 4. С. 47-50.
3. Bohlin R.C., Dickinson M.E., Galzetti F. Spectrophotometric standards from the far ultraviolet to the near-infrared: STIS and NICMOS fluxes // *Astron. J.* – 2001. – V. 122. – P. 2118-2128.
4. Bohlin R.C. HST stellar standards with 1% accuracy in absolute flux // In book «The future of photometric, spectrophotometric and polarimetric standardization» / Ed. C. Sterken, 2007. 405 p.
5. Vergely J.-L., Ferrero R.F., Egret D., Koppen J. The interstellar extinction in the solar neighbourhood // *Astron. Astrophys.* – 1998. – 340. – P. 543-555.
6. Frisch P.C. The local bubble and interstellar material near the sun // http://fr.arxiv.org/PC_cacke/astro-ph/pdf0702
7. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд. – Изд. 3-е. – Алматы: «Казак Университеті», 2011. – 304 с.
8. Князева Л.Н., Харитонов А.В. Нормальное распределение энергии в спектрах звезд // *Астрономический журнал РАН.* – 1993. – Т. 70, № 4. – С. 740.
9. Князева Л.Н., Харитонов А.В. Нормальное распределение энергии в спектрах звезд // *Астрономический журнал РАН.* – 1994. – Т. 71, № 2. – С. 264.
10. Атлас звездного неба 2000,0 / Под ред. А. П. Гуляева. – М.: Космоинформ, 1998. – 112 с.

REFERENCES

1. *Tereschenko V. M.* *Izvestija NAN RK.* **2010.** N 4. 59-62 (in Russ.).
2. *Tereschenko V. M.* *Izvestija NAN RK.* **2011.** N 4. 66-69 (in Russ.).
3. *Bohlin . C., Dickinson M. E., Galzetti .* *Astron. J.* **2001.** v. 122. 2118-2128.
4. *Bohlin R.C.* In book “The future of photometric, spectrophotometric and polarimetric standardization”/ Ed. C. Sterken, **2007.** 405 p.
5. *Vergely J.-L., Ferrero R.F., Egret D., Koppen J.* *Astron. Astrophys.* **1998.** 340. p. 543-555.
6. *Frisch P.C.* http://fr.arxiv.org/PC_cacke/astro-ph/pdf0702
7. *Kharitonov A.V., Tereschenko V.M., Kniazeva L.N.* *Spektrofotometrichesky catalog zvezd.* Almaty. Kazak universiteti. **2011.** 304. (in Russ.).
8. *Kniazeva L.N., Kharitonov A.V.* *Astronomicheskyy zh. RAN.* 1993. 70. 740. (in Russ.).
9. *Kniazeva L.N., Kharitonov A.V.* *Astronomicheskyy zh. RAN.* 1994. 71. 264. (in Russ.).
10. *Guliaev A.P.* *Atlas zvezdnogo neba 2000,0.* M. Kosmoinform. 1998. 112 s(in Russ.).

B. M. Терещенко

КҮННИҢ ЖАНЫНДАҒЫ «ЖҰЛДЫЗАРАЛЫҚ КӨПІРШІКТЕРДІҢ»
БАР БОЛУЫН РАСТАУ

Осы зерттеудің негізгі мақсаты – «Спектрлі фотометрикалық жұлдыздар каталогы» [7] деректерінің негізінде Күн маңайындағы «жұлдызаралық көпіршіктер» туралы идеяларды дәлелдеу болып табылады. Каталогтан таңдап алынған 107 жұлдыздың жұлдызаралық жұту тәртібін анықтау әдісі, жұлдызаралық жұту жөніндегі қолданбалы заңдылықтарды ала отырып, осы жұлдыздар толқынының ұзындығына қатысты жұлдызаралық жұту арасындағы байланыс кестесін сырттай салыстырып қарауға негізделген. Кестеде толқын ұзындығына қатысты жұтудың әмбебап байланысы болмаса, оның өте аз немесе жоқтығын дәлелдейді. Тіпті Күс жолы жазықтығында 125 пк-дан төмен қашықтықта байқалатын жұлдызаралық жұту анықталған жоқ (0.04^m астам), яғни біздің нәтижелеріміз «жұлдызаралық көпіршіктің» барын растайды. Алғашқы спектрлі фотометрикалық стандарттар ретінде аз жұтуын ескере отырып, сулы атмосферасы бар жақындағы ($r < 125$ пк) ақ карликтерді пайдалануға болады олар үшін атмосфера модельдерінің ішінен олардың спектрінде энергия таралуы жоғарғы дәлдікпен есептелген.

V. M. Tereschenko

THE CONFIRMATION OF THE EXISTENCE OF «INTERSTELLAR BUBBLE»
AT NEIGHBORHOOD OF THE SUN

By the main purpose of the present investigation is the confirmation of idea about the "interstellar bubble" at neighborhood of the Sun on base of the data "The spectrophotometric catalog of the stars" [7]. The method of the detection of the interstellar extinction for the selective from the catalogue 107 stars is based on visual comparison of the graphs of the dependence of interstellar absorption for these stars with the universal law of the interstellar absorption. The absence on graphs of the universal dependence of absorption from the inverse wavelength is evidence about it trifle or absence. On the results our investigations the noticeable interstellar absorption (more 0.04^m) on the distances less 125 pk was not detected. Our results are confirm the available of the "cavity", "interstellar bubble" at neighborhood of the Sun. In view of the small absorption in the capacity of prime spectrophotometric standards can be used the near ($r < 125$ pk) white dwarfs with hydrogen atmosphere for that with high precision was calculated the energy distribution in theirs spectra from the model atmosphere.

Л. А. ПАВЛОВА

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ОРИОНЕ

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова, г. Алматы

Цель. Для исследования магнитных полей провести анализ поляриметрических данных в оптическом и субмиллиметровом диапазоне для молодых объектов в облаке L1630 в Орионе. Современные данные межзвездной поляризации были использованы для вычисления собственной поляризации молодых звезд для исследования околозвездных структур и магнитных полей в Орионе.

Методы. Для молодых звезд в Орионе проведено сравнение ориентации поляризации в оптическом и субмиллиметровом диапазоне для выявления связи с околозвездными и межзвездными структурами.

Результаты. При сравнении разных данных мы находим связь оптической ориентации поляризации молодых звезд в Орионе с контуром облака. Сравнивая данные поляризации в оптическом и субмиллиметровом диапазонах на отдельных примерах, можно видеть, что для ряда объектов ориентация их поляризации взаимно ортогональна.

В нашей Галактике Млечный Путь известно большое многообразие разномасштабных структур: спиральные рукава, молекулярные облака, газово-пылевые туманности. Образование разных структур в межзвездной среде связано с гравитацией, магнитными полями, эволюцией звезд, вспышками сверхновых, космическими лучами и др. Межзвездные магнитные поля способствуют образованию больших молекулярных облаков, из которых конденсируются звезды. Происхождение галактического магнитного поля и его образование могло быть связано с формированием первых звезд и выбросом его в межзвездное пространство, где оно могло усилиться турбулентными движениями и дифференциальным вращением Галактики. В плотных молекулярных облаках формирование околозвездных структур молодых звезд происходит вдоль силовых линий магнитных полей. Именно данные поляризации дают информацию об асимметрии околозвездной среды. Связь наблюдаемой поляризации излучения звезд с галактическими околозвездными структурами показывает большую роль магнитного поля в формировании этих образований. Именно поэтому можно ожидать связь между величиной и ориентацией поляризации излучения молодых звезд с наблюдаемыми околозвездными структурами, которые видны в оптическом, ИК и радио диапазонах.

К настоящему времени обнаружена связь между ориентацией поляризации источников с большим инфракрасным избытком излучения и локальными магнитными полями, определенными по межзвездной поляризации. Это соответствует предположению, что ответственность за поляризацию несет межзвездная пыль, состоящая из несферических частиц, ориентированных магнитными полями [1, 2].

Область Ориона – одна из ярких ближайших областей на расстоянии 437пс, где непрерывно продолжают процессы формирования звезд малых и больших масс. В этой области расположены темные молекулярные облака, в которых наблюдаются очень юные звездные объекты типа Ori KL и BN, области II и III, убегающие звезды (AE Aug) и необычная структура – петля Барнарда. Орион содержит два гигантских молекулярных облака с массой $10^5 M_{\odot}$: Орион А локализован позади Меча Ориона в южной части созвездия, Орион В с запада от Пояса Ориона. К области Орион В относятся яркие туманности NGC 2024, NGC 2023, туманность Конская голова, в северной части расположены плотные части облака с обширной CO эмиссией скопления молодых звезд в NGC 2068 и NGC 2071 [3].

Для изучения собственной поляризации, которая несет непосредственную информацию об асимметрии околозвездной среды, необходимо знать распределение межзвездной поляризации вблизи отдельных объектов и по области в целом. Обширные архивные данные поляриметрических наблюдений областей звездообразования были проанализированы для определения усредненных параметров межзвездной поляризации и поведения магнитных полей в области Ориона [4].

Таблица 1. Межзвездная поляризация и экстинкция в Орионе

| № пл. | Область | RA | Dec | $P\%_{is}$ | θ_{is} | A_v |
|-------|-----------------------------|----------|-----------|------------|---------------|-------|
| 1 | 2 | 3 | | 4 | 5 | 6 |
| 1 | L1630 - South of NGC2068 | 5 42 30 | 00 00 00 | 2.21 | 173 | 2.0 |
| 6 | L1641 - Orion | 5 39 00 | -06 27 00 | 1.46 | 131 | 3.7 |
| 11 | L1641 - Orion | 05 31 00 | -06 32 00 | 0.32 | 53 | 0.7 |
| 12A | Orion B | 5 38 57 | -01 08 00 | 0.55 | 50 | 1.0 |
| 12 B | Orion B | 5 39 10 | -00 57 30 | 0.47 | 160 | 0.9 |
| 25 | Orion $\frac{1}{2}$ глобула | 5 35 40 | -01 46 00 | 0.32 | 161 | 0.6 |
| 28 | Orion 1B | 5.37 15 | -02 31 00 | 0.90 | 83/147 | 0.8 |

Примечание. Столбцы: 1 – номер площадки, 2 – название области, 3 – экваториальные координаты на 1950 г., 4 – усредненные значения межзвездной поляризации, 5 – угол поляризации, 6 – величина поглощения в звездных величинах.

Вблизи площадки 12A ($P_{is} = 0.55\%$, $\theta_{is} = 50$) расположены отражательные туманности IC 431 (HD 37674, $P = 1.2\%$, $\theta = 52$) и IC 432 (HD 37776, $P = 0.80\%$, $\theta = 41$), которые подтверждают связь ориентации поляризации звезд в туманностях с ориентацией края облака и направлением локального магнитного поля. Туманности NGC 2023 (HD 37903, $P = 2.20\%$, $\theta = 119$) и IC 435 (HD 38 087, $P = 2.93\%$, $\theta = 118$) относятся к площадке №28, где средний угол межзвездной поляризации имеет разброс от 83 до 147 градусов, здесь тоже край облака связан с локальным магнитным полем и влияет на ориентацию поляризации звезд в отражательных туманностях.

Эти две группы объектов расположены вблизи видимого южного края большого облака L1630, ориентация поляризации звезд повторяет пространственное изменение ориентации края облака. Отметим, что большая величина поляризации объектов отражает большую плотность газовой пылевой среды.

Из архивных данных поляризации в субмиллиметровом диапазоне мы выбираем данные поляризации для молодых объектов области Ориона, которые приведены в табл. 2 [5].

Таблица 2. Параметры поляризации на 350 мкм для области молодых звезд в Орионе

| Name | l | b | Коорд. 2000 | | P % | θ | θ_g | $\theta_g(\text{CO})$ |
|------------------|--------|--------|-------------|----------|------|----------|------------|-----------------------|
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| IRAS 053227-0457 | 208.6 | -19.2 | 5 35 14 | -4 57 38 | 3.02 | 143.3 | 80.6 | 143.6 |
| OMC-1 | 209 | -19.4 | 5 35 14 | -5 22 32 | 1.86 | 27.6 | 144.8 | |
| OMC-2 | 208.9 | -19.2 | 5 35 14 | -5 10 00 | 0.54 | 138.8 | 76.1 | |
| OMC-3 | 208.7 | -19.2 | 5 35 23 | -5 01 32 | 1.72 | 135.6 | 72.9 | |
| L 1641 N | 210 | -19.52 | 5 36 18 | -6 22 11 | 0.66 | 36.3 | 153.1 | |
| OMC- 4 | 209.2 | -19.5 | 5 35 08 | -5 35 56 | 1.13 | 168 | 104.8 | |
| NGC 2023 | 210.06 | -19.6 | 5 41 25 | -2 18 06 | 0.66 | 36.3 | 153 | 84 |
| NGC2024 | 206.5 | -16.4 | 5 41 43 | -1 54 22 | 0.51 | 154 | 93 | |
| HH24MMS | 205.5 | -14.6 | 5 46 28 | -0 10 43 | 1.19 | 90 | 28.8 | |
| NGC2068LBS | 205.4 | -14.4 | 5 46 28 | -0 00 54 | 0.76 | 49 | 167 | |
| NGC2068 | 205.4 | -14.3 | 5 46 50 | 0 02 01 | 3.24 | 128 | 66.5 | |
| NGC 2071 | 205.1 | -14.1 | 5 47 04 | 0 21 47 | 0.46 | 147.4 | 86 | 50 |

Примечание. Столбцы: 1 – имя объекта или области, 2 – галактические координаты, 3 – экваториальные координаты, 4 – параметры поляризации P и θ , 5 – угол поляризации по отношению к плоскости Галактики θ_g , ориентация молекулярного потока CO $\theta(\text{CO})$.

Средний угол поляризации был analyzed по отношению к галактическим координатам для исследования корреляции между величиной поляризации, ее углом, интенсивностью и локализацией в разных областях Галактики. Анализ данных показывает, что для 80% источников было найдено среднее направление магнитного поля на шкале этих источников.

Проведем сравнение оптических и субмиллиметровых параметров поляризации: справа оптические данные для центральных звезд, слева данные для их туманностей в субмиллиметровом диапазоне.

| | | | | | |
|----------|-----------|----------------|-----------|------------|----------------|
| NGC 2023 | P = 0.66% | $\theta = 36$ | HD 37903, | P = 2.20%, | $\theta = 119$ |
| NGC 2068 | P = 0.76% | $\theta = 49$ | HD 38563A | P = 3.50%, | $\theta = 91$ |
| NGC 2068 | P = 3.24% | $\theta = 128$ | HD 38563 | P = 2.39%, | $\theta = 9$ |
| NGC 2071 | P = 0.46% | $\theta = 147$ | HD 290861 | P = 7%, | $\theta = 142$ |

Для ряда объектов ориентация их поляризации взаимно ортогональна. Объяснение этого факта может быть в различии механизмов поляризации, обусловленным рассеянием или поглощением света центральных источников. Оптический свет, который подвергается поглощением пылевыми частицами, показывает поляризацию параллельно магнитному полю. Для NGC 2071 угол джета $\theta = 50$ (табл. 2), позволяет предположить, что наблюдаемая величина угла поляризации $\theta = 147$ отражает плоскость околосредного диска большой плотности, ориентированного перпендикулярно истечению.

Проведем анализ наблюдаемой, межзвездной и собственной поляризации звезд в Орионе по данным работ [6–8].

Таблица 3. Данные наблюдаемой и собственной поляризации звезд в отражательных туманностях

| Name | тум. | P% | θ_e | θ_g | Eb-v | Pis | θ_{is} | Pin | θ_{in} |
|--------|---------|------|------------|------------|------|------|---------------|------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 36540 | NGC1973 | 1.60 | 80 | 16 | 0.19 | 1.46 | 131 | 2.37 | 147 |
| 37674 | IC 431 | 1.2 | 52 | 110 | 0.14 | 0.50 | 50 | 0.70 | 84 |
| 37776 | IC 432 | 0.80 | 41 | 159 | 0.12 | 0.50 | 50 | | |
| 38023 | | 1.58 | 83 | 19 | 0.54 | | | | |
| 37903 | NGC2023 | 2.20 | 119 | 54 | 0.36 | 0.90 | 147 | 1.88 | 122 |
| 38087 | IC 435 | 2.93 | 118 | 55 | 0.35 | 0.90 | 147 | | |
| 38563A | NGC2068 | 3.50 | 91 | 30 | 0.80 | 2.21 | 173 | 3.93 | 91 |
| 38563 | NGC2068 | 2.39 | 9 | 128 | | 2.21 | 173 | | |
| 37806 | | 0.5 | 120 | | | 0.4 | 76 | 0.6 | 138 |
| 290861 | NGC2071 | 7.0 | 142 | | | 2.21 | 173 | 7.84 | 172 |

Примечание. Столбцы: 1 – имя звезды, 2 – имя туманности, 3 – поляризация звезды, 4 – позиционный угол (θ) поляризации, 5 – θ в галактических координатах, 6 – избыток цвета, 7, 8 – параметры межзвездной поляризации по данным [4], 9, 10 – вычисленные параметры собственной поляризации.

Исследования связи направлений наблюдаемой и собственной поляризации для звезд в отражательных туманностях (табл. 3) показали, что есть случаи, когда наблюдаемая поляризация близка к направлению молекулярных истечений, а собственная указывает ориентацию возможной плоскости диска [6]. Это может быть указанием на присутствие в некоторый момент ранней эволюции двух взаимно перпендикулярных структур – диска и джета. В контексте звездообразования формирование дисков должно идти перпендикулярно силовым линиям магнитного поля локального или галактического, а истечение вдоль линий. Недавние данные ИК поляризации подтверждают зависимость ориентации поляризации от оптической толщи диска: оптически тонкий диск имеет угол поляризации перпендикулярно плоскости диска, тогда как оптически толстый диск производит поляризацию параллельно диску [9].

Работа выполнена по бюджетной программе 055, подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. Hodapp K.W. Infrared polarization sources wit bipolar mass outflow // Astron. and Astroph. – 1984. – V. 141. – P. 255-268.
2. Bastien P. Polarization, jets and distribution of circumstellar dust around young infrared sources // Astroph. J. – 1987. – V. 317. – P. 231-240.

3. Bally J. Overview of the Orion Complex // Handbook of star formation Region. – Vol. 1. – APS Confer. Series. – 2008. Bo Reipurth, ed.
4. Targon C.G., Rodrigues C.V., Cerqueira A.H., Hickel G.R. Correlating the interstellar magnetic field with protostellar jets and its sources // arXiv: 1109.2031v1 9sep 2011.
5. Stephens W., Looney Leslie W., Dowell C. Darren. The Galactic Magnetic Field's Effect in Star-Forming Regions // ArXiv: 1012.3702 v1[astro-ph.SR] 16 Dek2010).
6. Павлова Л.А. Влияние магнитных полей на формирование околозвездных структур // Изв. МОН РК, НАН РК. – 2001. – № 4. – С. 56-60.
7. Jain S.K., Bhatt H.C. Study of variability of the polarization in Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astroph. Suppl. Ser. – 1995. V. 111. – P. 399-405.
8. Maheswar G., Manoj P., Bhatt H.C. Circumstellar disks around Herbig Ae/Be stars: Polarization, outflows and binary orbits // Astron. and Astroph. – 2002. – V. 387. – P. 1003-1012.
9. Pereyra A. et.al. Near Infrared polarimetry of a sample of YSOs? 2009. arXiv:0903.4212.

REFERENCES

1. Hodapp K.W. Astron. And Astroph. 1984. V141. P255-268.
2. Bastien P. Astroph.J.1987.V.317. P.231-240.
3. Bally J. Overview of the Orion Complex// Handbook of star formation Region Vol.1. APS Confer. Series 2008. Bo Reipurth, ed.
4. Targon C.G., Rodrigues C.V., Cerqueira A.H., Hickel G.R. arXiv:1109.2031v1 9sep 2011.
5. Stephens W., Looney Leslie W., Dowell C. Darren, ArXiv: 1012.3702 v1.
6. Pavlova L.A. Izvestiya MON RK 2001. № 4. S.56.
7. Jain S.K., Bhatt H.C. Astron. and Astroph. Suppl. Ser. 1995. V.111.P.399-4058. Maheswar G., 8.Manoj P., Bhatt H.C. Astron. and Astroph. 2002.V.387.P 1003-1012.
9. Pereyra A. et.al. arXiv:0903.4212.

Л. А. Павлова

ОРИОН ШОҚЖҰЛДЫЗЫНДАҒЫ ПОЛЯРИЗАЦИЯ МЕН МАГНИТТИ ӨРІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ

Мақсаты. Магнит өрісін зерттеу үшін Орион шоқжұлдызында L1630 бұлттағы жас объектілер үшін оптикалық және субмиллиметрлік ауқымда поляриметрлік мәліметтерге талдау жүргізу. Орион шоқжұлдызындағы магнит өрісін және жұлдыздар жанындағы құрылымдарды зерттеу үшін, жас жұлдыздардың поляризацияларын есептеу үшін қазіргі кездегі жұлдызаралық поляризация мәліметтері қолданылды.

Әдістері. Орион шоқжұлдызындағы жас жұлдыздарға оптикалық және субмиллиметрлік ауқымында жұлдызаралық және жұлдыздар жанындағы байланыстарды табу үшін поляризация бағытына салыстырулар жүргізілді.

Нәтижелері. Өртүрлі мәліметтерді салыстырғанда Орион шоқжұлдызындағы жас жұлдыздардың поляризацияларының оптикалық бағытының бұлттардың контурымен байланысын табамыз. Жеке мысалдарда поляризация мәліметтерін оптикалық және субмиллиметрлік ауқымында салыстыра келе, бірқатар объекті-лерге олардың поляризацияларының бағыттары ортогональды.

L. A. Pavlova

THE INVESTIGATIONS OF POLARIZATION AND MAGNETIC FIELDS IN ORION

Aims. Study of polarization and magnetic fields using the optical and submillimeter data on the polarization of the young stars in the Orion cloud L1630, in order to probe interstellar and circumstellar environment.

Methods. Compilation of data on the sample of the young stars in Orion with the known optical and submillimeter polarization. Comparing of polarization data with orientation of their circumstellar structure. Study of intrinsic polarization and its connection with the orientation of the circumstellar structure.

Results. We find that young stars in Orion cloud L1630 show the connection between the angle of the star's polarization and the edge of the cloud. In some sources we find that optical and submillimeter polarization angles are often orthogonal.

А. В. ХРУСЛОВ¹, Н. Н. САМУСЬ², Р. И. КОКУМБАЕВА³, А. В. КУСАКИН³

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ ТУС 0075 01143 1

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия,

²Институт астрономии РАН (ИНАСАН), г. Москва, Россия,

³ДТОО Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова, г. Алматы, Казахстан

Цель работы: получить уточненные частоты и амплитуды пульсаций новой переменной звезды с двойной периодичностью.

Методы исследования: Фотометрия объекта и временной спектральный анализ полученных кривых блеска.

Результаты работы: Получены данные наблюдений в виде ряда из 777 точек в звездных величинах фотометрической полосы V Джонсона. Проведен временной спектральный анализ фотометрического поведения звезды. Подтверждена переменность типа δ Щита с двойной периодичностью. Уточнены частоты и амплитуды пульсаций, выявлена частота взаимодействия $f_1 + f_0$.

Область применения: Полученные результаты будут использованы в теории звездных пульсаций и для создания моделей данного класса объектов

Выводы: Полученное нами соотношение частот f_0/f_1 равное 0.77795 подтверждает физическую природу звезды, как малоамплитудную переменную типа δ Щита с двойной периодичностью.

Амплитуда в полосе V не превышает 0.58m. Также выявлены колебания, соответствующие взаимодействию частот $f_1 + f_0$.

В данной работе мы представляем результаты исследования переменной звезды типа δ Щита с двойной периодичностью ТУС 0075 01143 1. В каталоге Tycho-2 переменная имеет координаты $04^{\text{h}}26^{\text{m}}05^{\text{s}}.90, +01^{\circ}26'26''.2$ (J2000.0).

Переменность ТУС 0075 01143 1 = ASAS 042606+0126.4 обнаружена в проекте ASAS-3 (Rojmanski 2002). В каталоге ASAS переменная отнесена к типу EC/DSCT (контактная затменная двойная либо переменная типа δ Щита), там же дан период $P = 0.07443$ суток. Принадлежность ТУС 0075 01143 1 к звездам типа δ Щита подтверждена А.В. Хрусловым (Khruslov 2011). Им же обнаружена двойная периодичность в изменениях блеска и найдены следующие элементы:

$$\text{Max} = \text{JD } 2453600.043 + 0^{\text{d}}.0744301 \cdot E - \text{колебание основной моды } (f_0);$$

$$\text{Max} = \text{JD } 2453600.049 + 0^{\text{d}}.0579031 \cdot E - \text{колебание первого обертона } (f_1).$$

Нами получены новые ПЗС-наблюдения ТУС 0075 01143 1. Наблюдения проводились на Тянь-Шанской астрономической обсерватории Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова (высота 2750 м над у.м.) с телескопом Ричи-Кретьена конструкции В. Б. Секирова. Диаметр зеркала телескопа 360 мм, фокусное расстояние системы 1440 мм. Использовалась ПЗС камера ST-402 SBIG. При обработке наблюдений применялась программа MuniWin. Общее количество кадров, полученных за 6 ночей с 17 декабря 2011 г. по 2 марта 2012 г., составляет 777. Для учета плоского поля проводились наблюдения утреннего или вечернего неба. Темновой ток учитывался в процессе наблюдений; матрица охлаждалась до температуры -20°C . Все кадры были получены с экспозицией 60 секунд в полосе "V" Джонсона.

В качестве звезды сравнения S использовалась GSC 00075-01862, в качестве контрольной звезды K – GSC 00075-01079. Для этих звезд в каталоге GSC2.3 приведены звездные величины $V = 12.70$ и $V = 11.88$, соответственно.

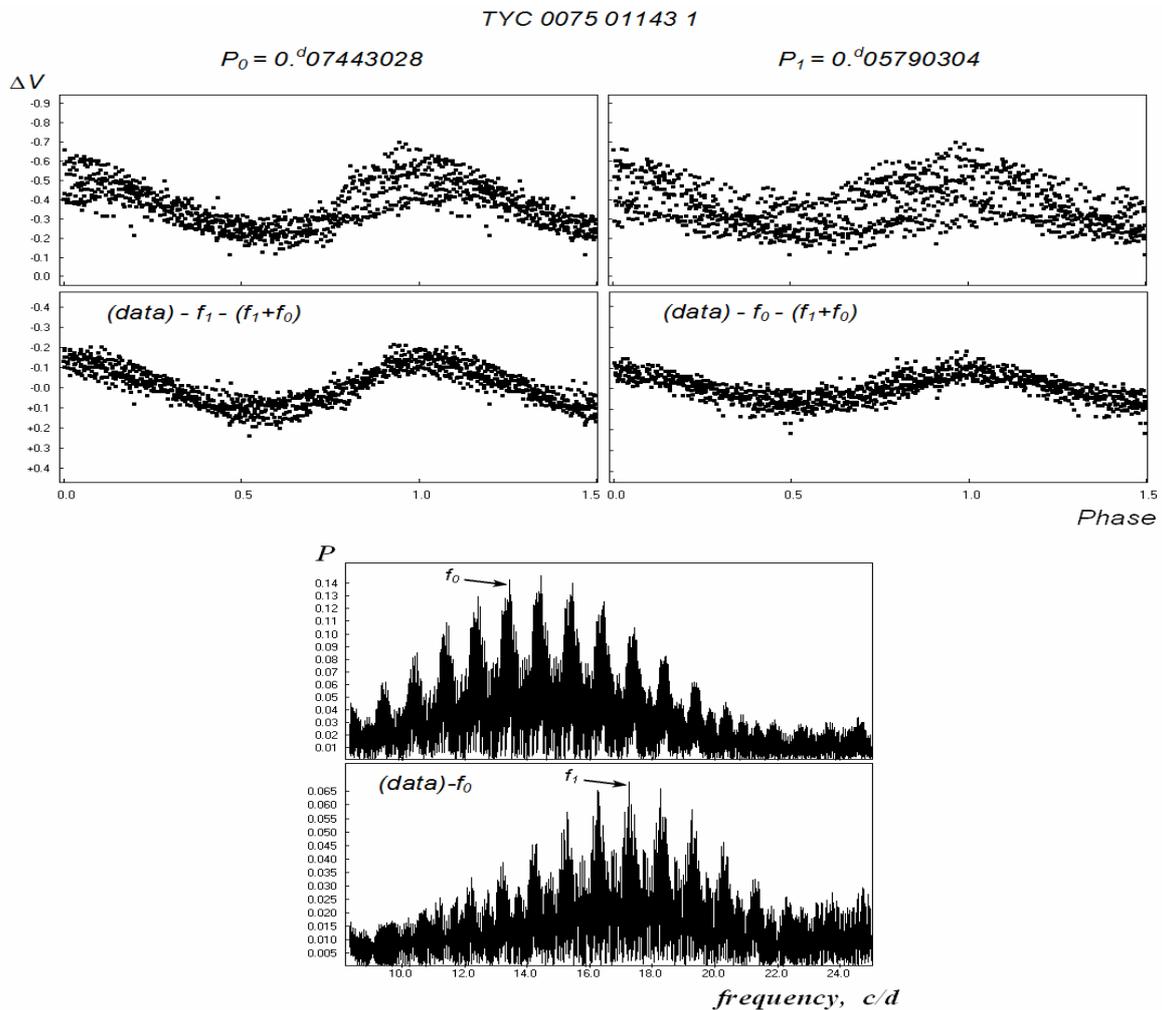
Анализ временных рядов проводился по методу Диминга с использованием программы WinEfk В. П. Горанского.

Используя наши новые наблюдения ТУС 0075 01143 1, мы уточнили частоты f_0 и f_1 , а также выявили колебание, соответствующее взаимодействию частот $f_1 + f_0$. Результаты приведены в таблице.

| Мода | Частота, c/d | Полуамплитуда, V mag | Период, сут | Эпоха, HJD |
|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|
| f_0 | 13.435392 | 0.1219 | 0.07443028 | 2455960.004 |
| f_1 | 17.270250 | 0.0724 | 0.05790304 | 2455960.004 |
| $f_1 + f_0$ | 30.70555 | 0.0236 | 0.0325674 | 2455960.0013 |

Следует отметить, что если проводить обработку наших новых наблюдений независимо от полученных ранее результатов, наиболее вероятным оказывается период 0.0692645 сут., суточно сопряженный периоду, соответствующему частоте f_0 , что, по-видимому, объясняется недостаточно продолжительным рядом наблюдений.

Полная амплитуда изменения блеска в полосе V составляет 0.58^m . Отношение частот $f_0/f_1 = 0.77795$ характерно для пульсаций в основной моде и первом обертоне звезд типа δ Щита с двойной периодичностью (Petersen & Christensen-Dalsgaard 1996).



Фазовые кривые блеска и спектры мощностей

В верхней части рисунка представлены кривые блеска, построенные по исходным данным с периодом основной моды P_0 (слева) и с периодом первого обертона P_1 (справа). Ниже показаны кривые блеска с периодом P_0 после вычитания колебаний f_1 и f_1+f_0 (слева) и с периодом P_1 после вычитания колебаний f_0 и f_1+f_0 (справа). В нижней части рисунка приведены спектры мощности, на которых отмечены частоты f_1 и f_0 .

Авторы благодарят В. П. Горанского за предоставление программы анализа временных рядов, а также выражают благодарность М. А. Кругову за оказание технической поддержки в наблюдениях. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-02-00495) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Нестационарные явления в объектах Вселенной».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Khruslov A.V.* // 2011, PZP, **11**, 30.
2. *Petersen J.O., Christensen-Dalsgaard J.* // 1996, Astron. and Astrophys., **312**, 463.
3. *Pojmanski G.* // 2002, Acta Astronomica, **52**, 397.

REFERENCES

- 1 Khruslov, A.V., 2011, PZP, **11**, 30.
- 2 Petersen, J.O., Christensen-Dalsgaard, J., 1996, Astron. and Astrophys., **312**, 463.
- 3 Pojmanski, G., 2002, Acta Astronomica, **52**, 397.

A. V. Хруслов, Н. Н. Самусь, Р. И. Қоқымбаева, А. В. Кусакин

АЙНЫМАЛЫ ТҮС 0075 01143 1 ЖҰЛДЫЗЫН
ФОТОМЕТРЛІК ЗЕРТТЕУ

Қос оралымқағыстағы δ Щит түрінің айнымалылығы анықталған. Бүлкілдеудің жиіліктері мен амплитудасы нақтыланды. f_1+f_0 әрекеттестік жиілігі анықталды. Джонс V белдеуіндегі амплитуда $0.58m$ аспайды. Сондай-ақ, f_1+f_0 жиілік әрекеттестігіне сәйкес тербеліс анықталды..

A. V. Khruslov, N. N. Samus, R. I. Kokumbaeva, A. V. Kusakin

THE PHOTOMETRICAL INVESTIGATION
OF THE OSCILLATION VARIABLE STAR TYC 0075 01143 1

We present the results of our new observations of TYC 0075 01143 1, a recently discovered double-mode δ Scuti variable. We improved the frequencies f_0 and f_1 and pulsation amplitudes, detected the interaction frequency f_1+f_0 .

Физика Солнца и тел солнечной системы

УДК 523.4 +629.78

А.В. ДИДЕНКО

ОПТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (КА) CANYON, CHALET (VORTEX) И MERCURY

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», Алматы

На основе результатов наземных наблюдений определены эффективные площади отражения для трех поколений КА США Canyon, Chalet (Vortex) и Mercury.

Данная статья – это часть исследований автора, связанных с анализом наземных наблюдений ГСС спецназначения США и их разгонных блоков [1, 2]. Сопровождению КА Canyon, Chalet (Vortex), Mercury уделялось особое внимание, так как их оптические и динамические характеристики существенно отличаются от ГСС других типов, эволюция элементов их орбит также имеет особенности. Тем не менее, эти же особенности позволяют объединить отдельные аппараты в одну группу. Естественно, что в открытой печати сведений об аппаратах этого типа немного. Выводы аналитиков относительно состава и комплектации бортового оборудования, основанные на анализе имеющейся официальной информации и результатах наземных наблюдений, неоднозначны [3, 4].

Canyon – первая серия спутников ELINT/SIGINT на орбитах, близких к геостационарным [3]. Аппараты создавались компанией TRW по заказу ВВС США, размещались на геосинхронных орбитах с наклоном 9–10°, высотой перигея 30–33 тыс. км и высотой апогея 39–42 тыс. км. Их основная задача – точное определение местоположения радарных станций. Запуск первого Canyon состоялся 6 августа 1968 г. В 1978 г. им на смену пришло новое поколение спутников радиоэлектронной разведки (РЭР) США, известное как CHALET. В 1979 г. наименование CHALET было изменено на VORTEX, в 1994 году их заменили КА типа Mercury.

С 2000 года наземными пунктами наблюдений (ПН) РК сопровождают 8 из 13 запущенных КА Canyon, Chalet (Vortex), Mercury (табл. 1). В ней для каждого из объектов указаны: наименование, международный номер, номер в каталоге Norad и состояние (статус) объекта на момент наблюдений (с – активный, L – либрационный, d – дрейфующий). Пометка * в последнем столбце означает, что мы не имеем информации по данному КА.

Таблица 1. Список запущенных и сопровождаемых ПН РК КА Canyon, Chalet (Vortex) и Mercury

| № п/п | Каименование КА | Международный номер | Номер Norad | Ракета-носитель | Статус |
|-------|------------------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------|
| 1 | Canyon 1 | 68063A | 03334 | Agena D SLV-3A | d |
| 2 | Canyon 2 | 69036A | 03889 | Agena D SLV-3A | d |
| 3 | Canyon 3 | 70069A | 04510 | Agena D SLV-3A | L3 * |
| 4 | Canyon 5 | 72101A | 06317 | Agena D SLV-3A | L1 ** |
| 5 | Canyon 6 | 75055A | 07363 | Agena D SLV-3A | L1 |
| 6 | Canyon 7 | 77038A | 10016 | Agena D SLV-3A | L1 |
| 7 | Chalet 1-Vortex 1 (OPS 9454) | 78058A | 10941 | Titan-3(23)C | d |
| 8 | Chalet 2-Vortex 2 (OPS 1948) | 79086A | 11558 | Titan-3(23)C | d |
| 9 | Chalet 3-Vortex 3 (OPS 4029) | 81107A | 12930 | Titan-3(23)C | L2 *** |
| 10 | Chalet 4-Vortex 4 (OPS 0441) | 84009A | 14675 | Titan-34D Transtage | c ** |
| 11 | Chalet 6-Vortex 6 (USA-37) | 89035A | 19976 | Titan-34D Transtage | c |
| 12 | Mercury 1 (USA-105) | 94054A | 23223 | Titan 4A/Centaur | c ** |
| 13 | Mercury 2 (USA-118) | 96026A | 23855 | Titan 4A/Centaur | c |

* Объект относится к классу L3 и не виден в восточном полушарии.

** Отсутствует фотометрическая информация по данному объекту.

*** Объект относится к классу L2 и не виден в восточном полушарии.

Методика получения и интерпретации используемой нами координатной и фотометрической информации достаточно детально описаны в наших предыдущих работах ([5-7] и др.). В них показано, что основными оптическими и динамическими характеристиками, которые можно вычислить на основе наземных координатных и фотометрических наблюдений, можно считать эффективную площадь отражения, фазовые коэффициенты, периоды вращения вокруг центра масс. Каждая из этих характеристик сама по себе не может определить принадлежность наблюдаемого объекта к какому-либо классу. Но их совокупность и совместный анализ с другими сведениями позволяют найти приемлемое решение в процессе проведения идентификации ГСС.

Анализ результатов позиционных наблюдений свидетельствует о том, что эволюция орбит всех трех поколений аппаратов Canyon, Chalet (Vortex), Mercury имеет такой же характер, как и у ГСС классов UHF и Thurgaа – они заполняют правую ветвь эволюционной диаграммы «наклон – узел» [6]. Критическое значение долготы восходящего узла составляет 360° , а начальный наклон орбиты может достигать до 11° . Изменение направления эволюции угла наклона происходит при существенно большем значении (2° – 4°). В качестве иллюстрации этого на рис. 1 показана зависимость i от Ω для КА Canyon 6 (75055A).

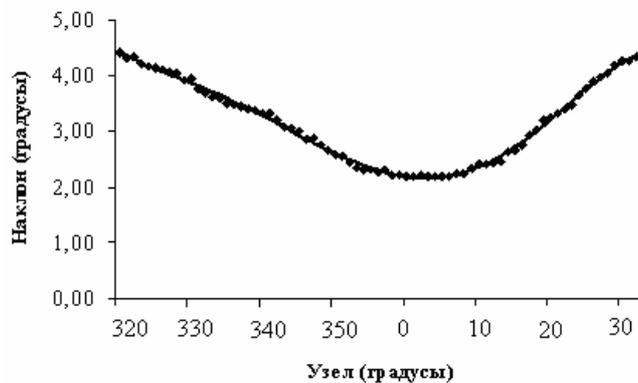


Рис. 1. Зависимость i (Ω) для ГСС Canyon 6

На основе кривых блеска, полученных при различных фазовых углах, были построены фазовые портреты для каждого наблюдавшегося объекта, определена его ориентация на фиксированные моменты и затем вычислены эффективные площади отражения в полосах В, V и R.

Ниже приведены некоторые результаты этого анализа на примере Canyon-6 (75055A). На рис. 2 показана кривая блеска этого КА, свернутая за период 218.3 сек. Единичный вектор нормали к поверхности, формирующей данные вспышки, на момент наблюдений имел координаты: $X_n = 0.9772$; $Y_n = 0.1271$; $Z_n = 0.1703$, т.е. был направлен практически на наблюдателя. Здесь X_n , Y_n , Z_n – компоненты единичного нормального вектора в экваториальной системе координат (начало –

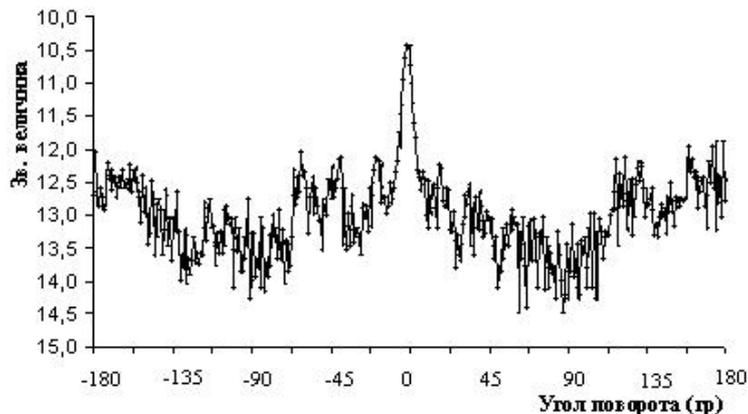


Рис. 2. Кривая блеска Canyon 6 (75055A), свернутая за период 218.3 с. Наблюдения 12.03.2011 г., фильтр V, фазовый угол $\phi = 33^\circ,5$

в центре масс объекта, ось X параллельна небесному экватору в направлении точки весеннего равноденствия, ось Y направлена в центр Земли, а ось Z – в полюс мира параллельно оси вращения Земли). Показатели цвета данных вспышек: (B-V) = 0^m,30; (V-R) = 0^m,16 соответствуют зеркальным вспышкам от солнечных батарей [9].

Из разложения полученной кривой блеска по базисным векторам, соответствующим шару, цилиндру и плоскости следует, что в данном случае доминирующая форма КА соответствует цилиндру. Принимая во внимание величины показателей цвета, приведенные выше, можно сказать, что корпус КА представляет собой цилиндр, покрытый солнечными панелями.

КА Chalet (Vortex) и Mercury считаются преемниками спутников Canyon. Они были созданы компанией Hughes [8] на базе серийных коммерческих спутников связи, но с существенно большей по размеру развертываемой антенной. Эксперты полагают, что аналог такой антенны, но меньший по размеру, используется на КА Thugaуа для обеспечения связи мобильных пользователей [3, 4].

Если предположить, что внешний вид антенн, установленных на КА РЭР схож с «коммерческим вариантом», который поставляется компаниями, специализирующимися на создании развертываемых антенных систем [8], то можно получить некоторые количественные оценки эффективных площадей отражения ГСС рассматриваемого типа.

ПН РК сопровождают два стабилизированных КА Thugaуа и один дрейфующий. Была проведена оценка суммарной эффективной площади отражения и соответствующих коэффициентов отражения для КА Thugaуа 2 (03026A) на основе наблюдений, проведенных в апреле 2006 года. Эффективные площади отражения в полосах B, V и R соответственно составили: $\overline{S\gamma_B} = 2,18 \pm 0,25\text{м}^2$; $\overline{S\gamma_V} = 2,91 \pm 0,22\text{м}^2$; $\overline{S\gamma_R} = 3,80 \pm 0,21\text{м}^2$. Зная площадь отражения КА Thugaуа [4], можно найти его коэффициенты отражения: $\gamma_B = 0,032$, $\gamma_V = 0,047$, $\gamma_R = 0,061$.

Результаты расчетов эффективных площадей отражения наблюдавшихся нами КА Canyon, Chalet (Vortex) и Mercury при условии принятых выше предположений приведены в табл. 2. В ней $\overline{S\gamma_B}$, $\overline{S\gamma_V}$, $\overline{S\gamma_R}$ – величины эффективных площадей отражения и соответствующий этим значениям диаметр D эталонного диска. Величина D наглядно демонстрирует соотношение площадей отражения данных типов КА.

Таблица 2. Эффективные площади отражения и вероятные значения диаметров эталонного диска для КА Canyon, Chalet (Vortex), Mercury.

| № | Наименование КА | $\overline{S\gamma_B}, \text{м}^2$ | $\overline{S\gamma_V}, \text{м}^2$ | $\overline{S\gamma_R}, \text{м}^2$ | D, м |
|---|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|
| 1 | Canyon 1 | 0.27±0.07 | 0.32±0.08 | 0.52±0.08 | 1.65±0.20 |
| 2 | Canyon 2 | 0.28±0.06 | 0.35±0.08 | 0.55±0.06 | 1.77±0.25 |
| 3 | Canyon 6 | 0.27±0.05 | 0.34±0.06 | 0.52±0.06 | 1.57±0.25 |
| 4 | Canyon 7 | 0.29±0.05 | 0.36±0.06 | 0.56±0.06 | 1.81±0.20 |
| 5 | Chalet 1 | 0.89±0.05 | 1.28±0.05 | 1.69±0.06 | 2.97±0.15 |
| 6 | Chalet 2 | 0.88±0.05 | 1.27±0.05 | 1.68±0.05 | 2.98±0.15 |
| 7 | Chalet 6 | 2.46±0.03 | 3.25±0.02 | 4.24±0.02 | 25.08±0.15 |
| 8 | Mercury 2 | 2.58±0.03 | 3.27±0.02 | 4.26±0.02 | 25.25±0.15 |

Следует подчеркнуть, что при оценке D мы исходили из конструктивной однотипности наблюдаемых ГСС. На обоснованность такого предположения указывает тот факт, что интегральные цветовые показатели (с учетом эффектов старения, [10]), приведенные на момент запуска, для КА Chalet (Vortex) и Mercury составляют: (B-V) = 1^m,10; (V-R) = 0^m,85. Проведенные исследования позволили провести идентификацию всех наблюдавшихся космических аппаратов данного типа.

Работа выполнена по программе 002 «Прикладные исследования в области космической деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Диденко А.В. Оптические и орбитальные характеристики некоторых ГСС США и их разгонных блоков // II Междунауч. науч. конф. «Наблюдение околоземных космических объектов». Звенигород, 24-28 января 2008 г. <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000027/index/htm>
2. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Оптические характеристики геостационарных спутников RHYOLITE, MAGNUM, MENTOR // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2011. – № 4. – С. 93-97. <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000049/index.htm>
3. Gunter's Space Page // http://space.skyrocket.de/doc_sdat/canyon.htm.
4. Агапов В.М. Новое «ухо» на орбите // «Новости космонавтики». – 2003. – № 17.
5. Didenko A.V., Usoltzeva L.A. Methods of geostationary satellites' identification by the photometric information // Transaction of the Kazakh-American University. – 2001. – № 2. – P. 83-91.
6. Диденко А.В., Демченко Б.И., Усольцева Л.А., Афонин А.Н. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. – Вып. 2. Алматы: Ғылым, 2000. – 108 с.
7. Диденко А.В., Демченко Б.И., Нифонтов С.Г., Афонин А.Н., Усольцева Л.А. Зональный каталог ГСС и принципы отождествления типа объекта на основе координатной и фотометрической информации // «Околоземная астрономия - 2003». Тр. междунауч. конф. – Россия. Терскол. 8–13 сентября 2003 г. – С. 42-48.
8. Информационный космический центр «Северная корона». Развертываемые спутниковые антенны // http://www.spacecenter.ru/Information%20chanell/t_parad/ka/depant/depant2.htm
9. Муртазов А.К. Оптические свойства поверхностей ИКО и техногенных отходов в космосе // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел солнечной системы. – М., 2000. – С. 262-268.
10. Диденко А.В. О влиянии старения покрытий космического аппарата на его фотометрические характеристики // Вестник КазНПУ им. Абая. Сер. «Физ.-мат. науки». – 2005. – № 1(12). – С. 81-84.

REFERENCES

1. Didenko A.V. Zvenigorod, 24-28 2008г. (in Russ.). <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000027/index/htm>
2. Didenko A.V., Usoltzeva L.A. // Izvestija NAN RK. 2011. N 4. 93-97 (in Russ.). <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000049/index.htm>
3. Gunter's Space Page // http://space.skyrocket.de/doc_sdat/canyon.htm.
4. Agapov V.M. // «Novosti kosmonavtiki». № 17. 2003. (in Russ.).
5. Didenko A.V., Usoltzeva L.A., Methods of geostationary satellites' identification by the photometric information // Transaction of the Kazakh - American University. № 2. 2001. P. 83-91.
6. Didenko A.V., Demchenko B.I., Usoltzeva L.A., Afonin A.N.. Zone catalogue of geostationary satellites. Galim. Almati. 2000. 108 s. (in Russ.).
7. Didenko A.V., Demchenko B.I., Nifontov S.G., Usoltzeva L.A., Afonin // «Okolozemnai astronomia 2003», Terskol 2003. S. 42-48. (in Russ.).
8. http://www.spacecenter.ru/Information%20chanell/t_parad/ka/depant/depant2.htm
9. Murtazov A.K. // «Okolozemnai astronomia 2000», M. S. 262-268. (in Russ.).
10. Didenko A.V. // Vestnik KNPU, «Fiz.-mat.». № 1(12). 2005. S. 81-84. (in Russ.).

А. В. Диденко

(КА) CANYON, CHALET (VORTEX) ЖӘНЕ MERKURY ҒАРЫШТЫҚ АППАРАТТАРЫНЫҢ
ОПТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Жердегі бақылаулар нәтижелерінің негізінде ҒА АҚШ Canyon, Chalet (Vortex) және Mercury үш ұрпақ үшін сәулеленуінің тиімді аудандары анықталды.

A. V. Didenko

THE OPTICAL AND DYNAMICAL CHARACTERISTICS OF SPACE VEHICLES
CANYON, CHALET (VORTEX) AND MERCURY

There were determined the effective reflecting squares for three generations of USA space vehicles Canyon, Chalet (Vortex) and Mercury at the bases of ground observations.

А. В. ДИДЕНКО

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАСНЫХ СБЛИЖЕНИЙ В ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ЗОНЕ

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

На основе статистического анализа каталога орбит геостационарных спутников (ГСС) установлено, что среднесуточное количество сближений ГСС $n(R)$ при небольших расстояниях R хорошо описывается степенной функцией $n(R) = cR^b$, где c , b – постоянные. Используя эту зависимость, сделана оценка частоты опасных сближений ГСС.

Современное состояние околоземного космического пространства (ОКП) вызывает естественную озабоченность всех организаций и служб, работающих в этой области. Основная проблема – неконтролируемый рост «запасов» космического мусора (КМ), который представляет реальную угрозу для работающих аппаратов. Согласно информации, предоставленной Т. S. Kelso [1], наземными службами слежения на околоземных орбитах зарегистрированы 38 154 объекта, из них работающими являются лишь 1048, все остальное – космический мусор (состояние на 13 апреля 2012 г.).

Рост населения геостационарных орбит (ГСО) происходит за счет запуска новых спутников (старые, исчерпавшие ресурсы, остаются на орбите), взрывов и столкновений активных и пассивных КА между собой и с фрагментами КМ. Кроме наблюдаемых объектов на ГСО и в ее окрестностях движутся десятки тысяч малоразмерных фрагментов КМ, которые не удается зарегистрировать современными наземными средствами. С течением времени их количество возрастает, соответственно, возрастает и вероятность столкновений.

Для того чтобы оценить масштабы загрязнения, вероятность взаимных столкновений объектов, спрогнозировать их обнаружение наземными средствами наблюдения, разрабатываются различные модели техногенного загрязнения ГСО космическим мусором [2]. В качестве источников информации в них, как правило, используются результаты наземных наблюдений ГСС (каталоги), зарегистрированные данные о характеристиках спутников, запусках, столкновениях и разрушениях на орбитах. Очевидно, что для создания адекватной модели надо иметь надежную теорию движения ГСС, с помощью которой можно было бы представить имеющиеся наблюдения и орбитальные элементы на длительных интервалах времени. Необходимо также разработать программное обеспечение, способное достаточно быстро вычислять эволюцию десятков и сотен фрагментов.

Линейная абсолютная скорость движения типичного ГСС составляет 3.075 км/с, относительная скорость (она же – скорость взаимного сближения или удаления) может достигать половины этой величины, то есть 1.5 км/с, или превышать ее. Понятно, что на таких скоростях даже легкое касание может привести к разрушению спутников. Но даже если фактического столкновения не происходит, то слишком тесное сближение двух активных ГСС может нарушить нормальное функционирование любого из них, например, из-за взаимных радиопомех. Поэтому анализ опасных сближений (до 25 км, [3]) спутников в геостационарной зоне является достаточно актуальной задачей.

В данной работе мы провели оценку частоты опасных сближений ГСС на предельно малых расстояниях (вплоть до нескольких метров). Для расчетов использовался обобщенный каталог ГСС, содержащий орбитальные данные примерно для 1500 ГСС на март 2012 г., [4-6]. В нем активные (управляемые) спутники составляют 1/4 часть, 3/4 – это неуправляемые, в том числе и крупные фрагменты космического мусора.

Вычисление положения объектов проводилось в геоцентрической экваториальной системе координат. В данном случае мы полагали, что управляемые (корректируемые, или активные) ГСС подчиняются тем же законам, что и неуправляемые (пассивные) спутники. Для ускорения расчетов использовалась упрощенная теория движения, в которой учитываются только гравитационные возмущения в долготе ГСС (именно эти резонансные возмущения порождают уникальный класс объектов – либрационные ГСС). Понятно, что при таком подходе точность расчета конкретного

парного сближения ГСС будет низкой, особенно на больших интервалах времени. Однако можно надеяться, что глобальные статистические параметры достаточно хорошо отражают реальную ситуацию.

В рамках принятой модели движения погрешность вычисления моментов сближения ГСС составила около 1.0–1.5 мсек, а ошибка соответствующих взаимных расстояний – около 2-х метров. Расчеты были выполнены на интервале 1080 суток (т. е. примерно 3 года), 540 суток до средней даты элементов, и столько же после этой даты. Фиксировались все парные сближения ГСС вплоть до расстояний 200 км. Общее количество минимальных сближений до этого расстояния за 3 года составило более 1.7 млн. Суммарное время непрерывного счета на современных ПК среднего класса – около 30 часов.

В табл. 1 приведена статистика минимальных сближений на небольшие расстояния. Здесь R – расстояние в км, $N(R)$ – количество сближений до расстояния R за весь расчетный интервал в 1080 суток, $n(R) = N(R)/1080$ – среднесуточное число сближений до расстояния R . В дальнейшем функция $n(R)$ будет основной функцией статистического анализа.

Как видно из этой таблицы, за одни сутки должно происходить примерно одно сближение до 1.5 км, и 120 сближений до 25 км, или одно «опасное» сближение каждые 12 мин. До расстояния 400 метров два объекта могут сблизиться в среднем один раз в 13 суток.

Таблица 1. Число минимальных сближений до расстояния R км

| R | N(R) | n(R) | R | N(R) | n(R) | R | N(R) | n(R) |
|-----|-------|--------|------|-------|--------|------|--------|---------|
| 0.4 | 84 | 0.078 | 7.0 | 17324 | 16.041 | 17.0 | 75320 | 69.741 |
| 0.5 | 124 | 0.115 | 8.0 | 21934 | 20.309 | 18.0 | 82030 | 75.954 |
| 0.7 | 198 | 0.183 | 9.0 | 27208 | 25.193 | 19.0 | 88665 | 82.097 |
| 1.0 | 432 | 0.400 | 10.0 | 32531 | 30.121 | 20.0 | 95356 | 88.293 |
| 1.5 | 1023 | 0.947 | 11.0 | 38270 | 35.435 | 21.0 | 102209 | 94.638 |
| 2.0 | 1801 | 1.668 | 12.0 | 44105 | 40.838 | 22.0 | 108921 | 100.853 |
| 3.0 | 3795 | 3.514 | 13.0 | 49986 | 46.283 | 23.0 | 115704 | 107.133 |
| 4.0 | 6443 | 5.966 | 14.0 | 56147 | 51.988 | 24.0 | 122538 | 113.461 |
| 5.0 | 9495 | 8.792 | 15.0 | 62365 | 57.745 | 25.0 | 129458 | 119.869 |
| 6.0 | 13184 | 12.207 | 16.0 | 68741 | 63.649 | 26.0 | 136232 | 126.141 |

На рис. 1 показана зависимость $\lg(n(R))$ от $\lg(R)$ в диапазоне расстояний 0.4 км – 40 км. Из рисунка видно, что на малых расстояниях (0.4 км – 10 км) эта зависимость хорошо представляется прямой линией:

$$\lg(n(R)) = a + b \cdot \lg(R), \text{ или } n(R) = c \cdot R^b, \quad (1)$$

где $c = 10^a$. Численные значения входящих сюда констант:

$$a = -0.3784 \pm 0.0099; b = 1.8799 \pm 0.0158; c = 0.4184 \pm 0.0096. \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что коэффициент c равен среднесуточному числу сближений до расстояния $R = 1$ км.

Заметим, что показатель степени $b = 1.8799$ можно рассматривать как фрактальную размерность множества точек минимального сближения, определяемых радиусом-вектором $\mathbf{R} = (R_x, R_y, R_z)$ в трехмерном фазовом пространстве (x, y, z) , а сам алгоритм определения этого параметра практически совпадает с методом Грассбергера–Прокаччиа для вычисления корреляционной размерности фрактального множества [7, 8].

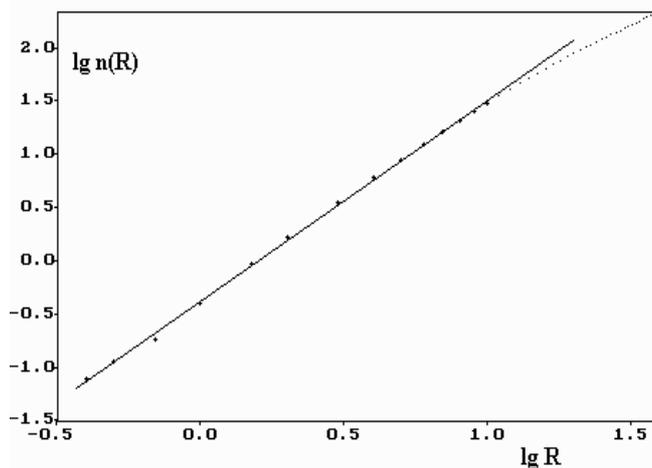


Рис. 1. Зависимость среднесуточного числа сближений $n(R)$ и линейная аппроксимация на расстояниях 0.4 км – 10 км

Для контроля этим же способом была обработана более ранняя версия того же каталога ГСС, на конец января 2011 года. Расчет проводился на 360 суток, при этом в логарифмическом масштабе линейная зависимость проявлялась до расстояния $R = 15$ км. Были получены следующие значения постоянных: $a = -0.6345 \pm 0.0058$; $b = 1.8241 \pm 0.0073$; $c = 0.2320 \pm 0.0031$. Значительные отличия параметров a , c от значений (2) легко объясняются разной полнотой двух каталогов, но обращает на себя внимание близость значений параметра b ($b = 1.8799$ по рабочему каталогу, и $b = 1.8241$ по каталогу годичной давности).

Если предположить, что степенная зависимость $n(R) = c \cdot R^b$ сохраняется и при $R < 0.4$ км, то можно проэкстраполировать значения $n(R)$ на предельно малые расстояния. Результаты такого прогноза приведены в табл. 2, где R – расстояние сближения в км; $n(R)$ – прогнозируемое среднесуточное количество сближений до расстояния R ; $\text{days} = 1/n(R)$ – среднее количество суток на одно сближение; $\text{years} = \text{days}/365.25$ – среднее количество лет на одно сближение. Из этой таблицы следует, что, если наши предположения верны, то по состоянию геостационарной зоны на март 2012 года одно парное сближение каталогизированных ГСС до 3 м должно происходить в среднем за 362 года, до 5 м – за 138 лет, до 10 м – за 38 лет, до 30 м – за 4.8 года и т.д. Эти оценки следует считать оптимистическими, так как в используемый каталог ГСС не включены малоразмерные объекты. Согласно современным данным их количество исчисляется тысячами.

Таблица 2. Расчет $n(R)$ по формуле (1) на малые расстояния

| R | $n(R)$ | Days | Years | R | $n(R)$ | Days | Years |
|-------|----------|--------|-------|-----|--------|-------|--------|
| 0.003 | 0.000008 | 132140 | 361.8 | 0.1 | 0.0055 | 181.2 | 0.4961 |
| 0.005 | 0.000020 | 50581 | 138.5 | 0.3 | 0.0435 | 23.0 | 0.0629 |
| 0.010 | 0.000073 | 13744 | 37.6 | 0.5 | 0.1137 | 8.80 | 0.0241 |
| 0.030 | 0.000574 | 1743 | 4.77 | 1.0 | 0.4184 | 2.39 | 0.0065 |

Выше мы полагали, что корректируемые ГСС двигаются по тем же законам, что и неуправляемые. Между тем ясно, что соответствующие службы контроля космического пространства не допустят слишком тесного сближения корректируемых ГСС. Поэтому представляет интерес провести аналогичный анализ только для неуправляемых спутников. В табл. 3 приведена статистика сближений только для пассивных ГСС. Обозначения такие же, что и в табл. 1.

Таблица 3. Число сближений до расстояния R (км) для пассивных ГСС

| R | N(R) | n(R) | R | N(R) | n(R) | R | N(R) | n(R) |
|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|--------|
| 1.0 | 27 | 0.025 | 11.0 | 2192 | 2.030 | 22.0 | 8167 | 7.562 |
| 1.5 | 58 | 0.054 | 12.0 | 2618 | 2.424 | 23.0 | 8912 | 8.252 |
| 2.0 | 92 | 0.085 | 13.0 | 3030 | 2.806 | 24.0 | 9654 | 8.939 |
| 3.0 | 190 | 0.176 | 14.0 | 3505 | 3.245 | 25.0 | 10415 | 9.644 |
| 4.0 | 333 | 0.308 | 15.0 | 3959 | 3.666 | 26.0 | 11178 | 10.350 |
| 5.0 | 485 | 0.449 | 16.0 | 4481 | 4.149 | 27.0 | 11979 | 11.092 |
| 6.0 | 662 | 0.613 | 17.0 | 5041 | 4.668 | 28.0 | 12763 | 11.818 |
| 7.0 | 888 | 0.822 | 18.0 | 5625 | 5.208 | 29.0 | 13614 | 12.606 |
| 8.0 | 1159 | 1.073 | 19.0 | 6210 | 5.750 | 30.0 | 14451 | 13.381 |
| 9.0 | 1489 | 1.379 | 20.0 | 6834 | 6.328 | 31.0 | 15367 | 14.229 |
| 10.0 | 1838 | 1.702 | 21.0 | 7519 | 6.962 | 32.0 | 16251 | 15.047 |

Сравнивая данные из табл. 1 и 3, можно заметить, что на небольших R основная часть сближений приходится на такие пары объектов, где хотя бы один является управляемым. Но и на больших расстояниях эта тенденция сохраняется. Общее количество сближений до 200 км для неуправляемых спутников за три года составило 415 000, вместо 1.7 млн для всего массива ГСС. Заметим, что такая большая разница возникла только из-за того, что из исходного каталога было выброшено всего лишь 1/4 часть объектов.

На рис. 2 показана зависимость $\lg(n(R))$ от $\lg(R)$ для неуправляемых ГСС в интервале 1 км – 150 км. Из этого рисунка хорошо видно, что степенная зависимость вида (1) наблюдается на значительно большем диапазоне расстояний, чем для всего массива ГСС (см. рис.1), и составляет, как минимум, 1 км – 50 км. Численные значения постоянных, входящих в формулы (1), для пассивных ГСС получились такими:

$$a = -1.6313 \pm 0.0072; b = 1.8660 \pm 0.0064; c = 0.02337 \pm 0.00039. \quad (3)$$

Отличия констант a и c от значений, приведенных в (2), в особых комментариях не нуждаются. Однако показатель степени b оказался практически таким же, что и на полном массиве ГСС, несмотря на значительную разницу в исходных данных.

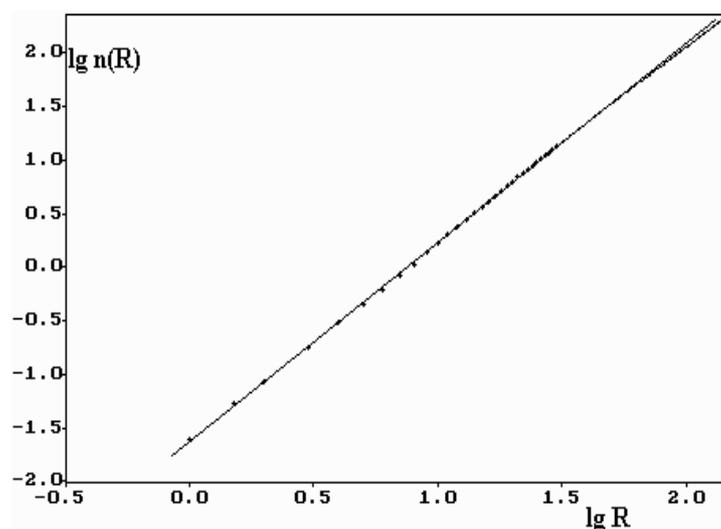


Рис. 2. Зависимость среднесуточного числа сближений $n(R)$ для неуправляемых ГСС и линейная аппроксимация на расстояниях 1 км – 50 км

В табл. 4 представлен прогноз функции $n(R)$ на малые расстояния сближения только для пассивных ГСС. Расчет проводился по формулам (1) с учетом значений (3).

Таблица 4. Расчет $n(R)$ на малые расстояния для неуправляемых ГСС

| R | n(R) | Days | Years | R | n(R) | Days | Years |
|-------|-----------|---------|-------|-----|----------|-------|-------|
| 0.003 | 0.0000005 | 2182682 | 5976 | 0.1 | 0.000318 | 3143 | 8.600 |
| 0.005 | 0.0000012 | 841433 | 2304 | 0.3 | 0.002472 | 404.6 | 1.108 |
| 0.010 | 0.0000043 | 230832 | 632 | 0.5 | 0.006412 | 156.0 | 0.427 |
| 0.030 | 0.0000337 | 29716 | 81.4 | 1.0 | 0.023373 | 42.78 | 0.117 |

Таким образом, в рамках принятых предположений, тесные сближения двух неуправляемых спутников должны происходить довольно редко: до 30 метров – один раз за 81 год, до 100 метров – один раз за 8.6 года. Напомним, что при расчетах не учитывались малоразмерные объекты, не включенные в используемый каталог.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Среднесуточное количество сближений ГСС $n(R)$ до небольших расстояний R хорошо подчиняется степенному закону $n(R) = c \cdot R^b$.
2. Показатель степени b можно рассматривать как фрактальную размерность множества точек сближения, он слабо зависит от объема исходных данных и равен примерно 1.87.
3. Указанная зависимость, с учетом сделанных в тексте предположений, позволяет оценивать частоту опасных сближений на предельно малые расстояния.

Работа выполнена по программе 002 «Прикладные исследования в области космической деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://celestrak.com/satcat/boxscore.asp>
2. UNCOUOS Scientific and Technical Subcommittee // Technical Report on Space Debris, A/AC.105/720, May 1999.
3. Schildknecht T., Musci R. et al. An Optical Search For Small-Size Debris In GEO And GTO // Proceedings of the 5th US-Russian Space Surveillance Workshop. Pulkovo. St. Petersburg. September 24-27. 2003.
4. <http://celestrak.com/NORAD/elements.geo.txt>
5. <http://planet4589.org/space/log/geo.log>
6. Classification of geosynchronous objects. Issue 14. Prepared by T. Flohrer. February 2012, ESOC Robert-Bosch-Str. 5, D-64293 Darmstadt, Germany). <http://astronomer.ru/ru/menu-help-ru/help-info-ru/reference-ru.html>.
7. Grassberger P., Procaccia I. // Phys. Rev. Lett. – 1983. – V. 50, № 5. – P. 346-349.
8. Айманова Г.К., Демченко Б.И., Макаренко Н.Г. Прикладные методы топологической динамики. 2. Численный анализ хаоса // Препринт АФИФ. – 1990. – № 90-03. – Алма-Ата. – 52 с.

А. В. Диденко

ГЕОСТАЦИОНАРЛЫҚ АЙМАҚТАҒЫ ҚАУІПТІ ЖАҚЫНДАСУЛАРДЫҢ КЕЙБІР СТАТИСТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Геостационарлық спутниктер (ГСС) орбит каталогін статистикалық талдау негізінде, шағын арақашықтықта R , ортағәуліктік жақындасу мөлшері ГСС $n(R)$, c , b – тұрақты, $n(R) = c \cdot R^b$ деңгейлік функциясымен жақсы бейнеленетіндігі анықталды. Осы тәуелділікті қолдана отырып, қауіпті жақындасу ГСС жиілігіне баға берілді.

А. В. Диденко

SOME STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE DANGEROUS RAPPROCHEMENTS IN GEOSTATIONARY ZONE

On the basis of the statistical analysis of the catalogue of orbits of geostationary satellites (GSS) it is established, that the average daily number of the GSS' rapprochements $n(R)$ at small distances R is well described by power-mode function $n(R) = c \cdot R^b$, where c , b – constants. Using this dependence we made the estimation of the GSS' frequency of dangerous rapprochements.

Г. С. МИНАСЯНЦ, Т. М. МИНАСЯНЦ

СТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ОБЛАКОВ И ИХ СВЯЗЬ С РАЗВИТИЕМ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Для выяснения физических и структурных свойств магнитных облаков и их влияния на развитие геомагнитных бурь, использовались данные солнечных космических аппаратов SOHO, ACE, WIND с привлечением наблюдений на геомагнитных станциях.

Отождествлены активные области на Солнце, предположительно связанные с районами образования магнитных облаков. Установлено, что вероятность возникновения магнитных облаков наибольшая в активных областях самых сложных магнитных структур: **BG** – 35% и **BGD** – 62%. Для плазмы магнитных облаков характерно наличие повышенных значений концентрации α -частиц, вплоть до $N_\alpha = 10 \text{ см}^{-3}$ и их относительного содержания до $N_\alpha/N_p = 0.4$.

Магнитные облака являются геоэффективными структурами солнечного ветра: 83% из числа, принятых к рассмотрению магнитных облаков, оказали влияние на возникновение и развитие геомагнитных бурь. Исследование показало, что минимальные значения вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля предшествуют (в среднем на 4 часа) максимальной фазе развития геомагнитной бури.

Полученные результаты являются вкладом в область изучения солнечно-земных связей.

Магнитные облака относятся к возмущенному типу солнечного ветра и благодаря присутствию в них южной B_z – компоненты магнитного поля, обладают высокой геоэффективностью [1-3].

Известно, что физические параметры в структуре магнитных облаков (МО) отличаются от спокойного солнечного ветра (СВ) тем, что повышенным значениям магнитного поля с низким уровнем флуктуаций соответствуют пониженная протонная плотность и температура. Поэтому параметр β , характеризующий отношение газового давления к магнитному, в МО имеет очень низкие значения ~ 0.05 . На рис. 1 показаны типичные для МО распределения физических параметров и ход развития магнитной бури.

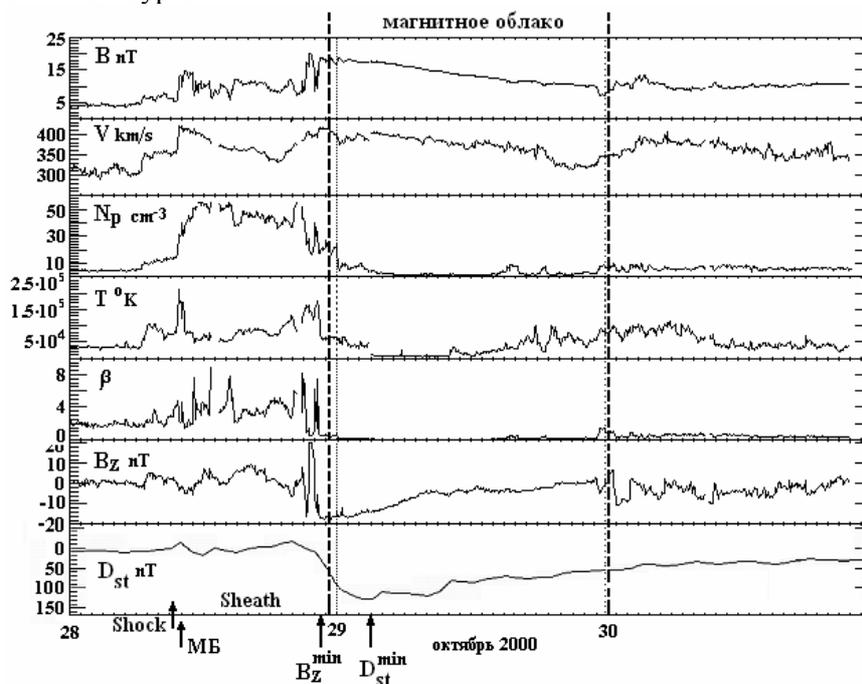


Рис. 1. Временной ход параметров плазмы солнечного ветра 28-30 октября 2000 г.

Вертикальными пунктирными линиями показано время прохождения магнитного облака, стрелками – моменты прихода ударного фронта КВМ (Shock) и начала магнитной бури (МБ). Область Sheath расположена перед границей МО

В своем исследовании мы использовали список МО, составленный по наблюдениям на космическом аппарате (КА) *WIND* (Magnetic Cloud Intervals) в течение 1995–2007 гг. Список содержит моменты времени начала и конца каждого из 106 МО, при прохождении их через *WIND*.

1. Для каждого МО был определен предполагаемый район его образования на поверхности Солнца. С этой целью использовались снимки со спутника *SOHO/EIT* и *SOHO/LASCO*. Отождествление активных областей (АО), являющихся источником развития МО, существенным образом было облегчено благодаря тому, что подавляющая часть МО связана со структурой корональных выбросов массы. В результате появилась возможность выявить наиболее эффективные магнитные структуры АО, которые являются источниками образования МО, причем с учетом разных периодов развития цикла в 1995–2007 гг. (рис. 2).

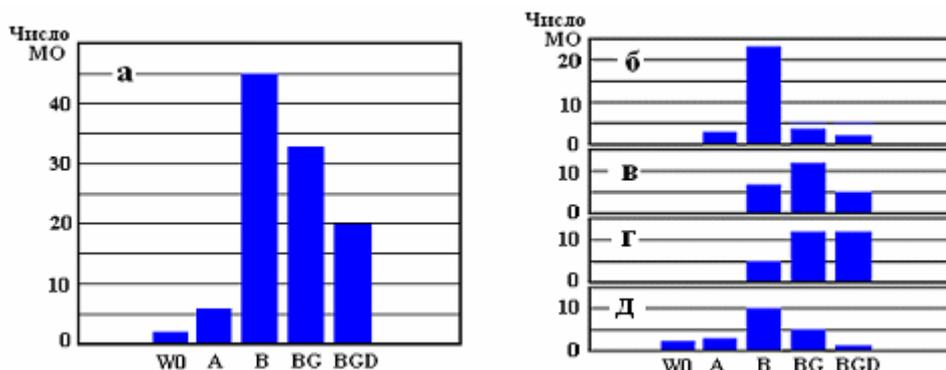


Рис. 2. Распределение общего числа МО по отдельным магнитным классам активных областей, в которых они образовались: (а) – период 1995-2007 гг.; (б) – стадия роста цикла 1997–1999 гг.; (в) – максимум цикла 2000-2001 гг.; (г) – стадия спада 2002-2005 гг.; (д) – минимум цикла 1995-1996 гг. и 2006-2007 гг.

Для характеристики АО использовалась маунтвилсоновская магнитная классификация, указывающая на характер распределения ядер различных полярностей в группах пятен. Класс **A** – униполярные пятна или группы пятен, **B** – обычные классические биполярные группы, **BG** – группы характеризуются нерегулярным распределением полярностей. Класс **BGD** составляют группы с самой сложной магнитной структурой, у которых хотя бы одно из пятен имеет тень, состоящую из ядер различных полярностей, δ -конфигурацию. Лишь в двух случаях МО образовались при отсутствии активных областей на Солнце (**W0**) – в годы минимума цикла.

Если использовать распространенность на Солнце числа групп пятен различных классов согласно Вальдмайеру [4], то можно оценить эффективность АО каждого из классов в образовании МО. Для нашего массива данных получено следующее относительное распределение возникших МО в каждом из классов АО: **A** – 0.5%, **B** – 2.5%, **BG** – 35%, **BGD** – 62%. Поэтому увеличение количества АО самых сложных классов, даже на небольшую величину, привело к резкому росту числа возникших МО в периоды максимума и особенно спада активности цикла.

2. Роль структуры магнитных облаков в развитии магнитных бурь (МБ) станет понятней, если определить положение пиковых значений B_z компоненты и *Dst*-индекса МБ.

Возникновение и развитие МО связывают с корональными выбросами массы (КВМ). МО представляют особое подмножество межпланетных корональных выбросов. По материалам наблюдений физических параметров солнечного ветра на КА *SOHO* публикуется список ударных фронтов КВМ – «Shock History». Каждый Shock характеризуется уровнем достоверности в процентах: Shock1 – 42%, Shock2 – 68%, Shock3 – 92% и Shock4 – 99%. Для указанного периода наблюдений, обнаружено, что самой высокой геоэффективностью (вероятностью возникновения геомагнитной бури) обладают КВМ с наиболее выраженными передними ударными фронтами Shock4 – 96%.

Динамическое воздействие МО приводит к возмущениям в области Sheath – районе, расположенном перед движущимся магнитным облаком. Возмущенность области Sheath объясняется деформацией, турбулентным искажением плазмы и появлением в межпланетном магнитном поле вертикальной компоненты B_z . При этом установлено, что степень возмущенности области Sheath, через величины динамического давления связана с мощностью Shock. Таким образом, чем мощнее Shock, тем вероятнее обнаружить в области Sheath высокоамплитудные колебания B_z – компоненты, в том числе и в южном направлении, в течение продолжительных периодов времени.

Чтобы оценить геоэффективные свойства магнитных облаков и, связанных с ними, областей Sheath, были использованы распределения часовых значений Bz^{\min} и Dst^{\min} при возникновении и развитии магнитных бурь (МБ). Из 106 МО, 88 были связаны с МБ. Учитывая связь состояния области Sheath с мощностью Shock, данные наблюдений были разбиты на три группы (рис. 2). Первая – МБ, возникновение которых связано с воздействием Shock 4 (29 случаев), вторая – МБ с Shock 1,2,3 (20 случаев) и третья – МБ при отсутствии выраженных ударных фронтов (39 случаев).

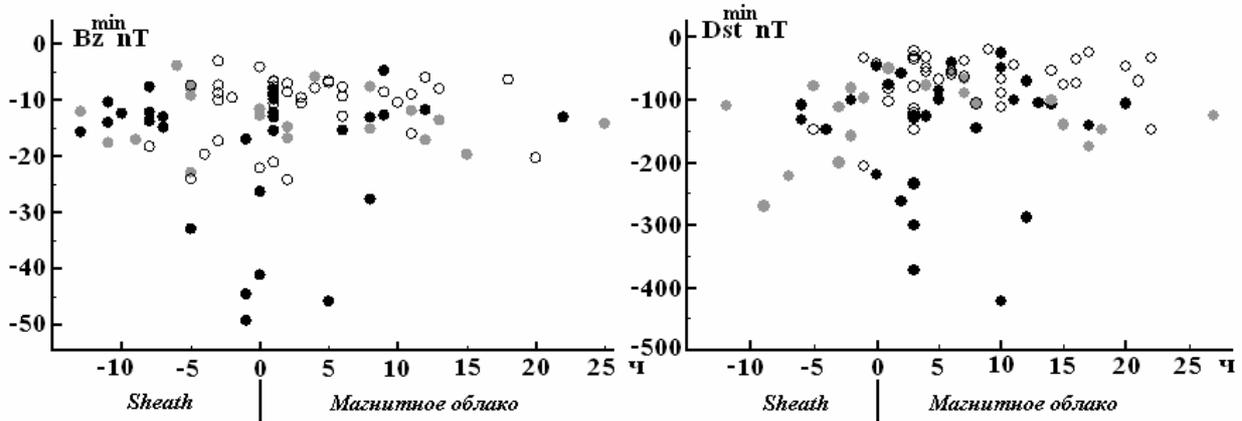


Рис. 2. Положения пиковых значений параметров Bz и Dst при развитии 88 магнитных бурь в области Sheath и магнитных облаках в период 1995–2007 г.г. для трех групп данных: I – присутствие Shock4 (●), II – присутствие Shock1,2,3 (●), III – отсутствие ударного фронта (○). На горизонтальных осях – время в час. За ноль принят момент прохождения передней границы МО

Для 1-ой группы значений характерно присутствие всех минимальных величин $Bz^{\min} < -25$ nT и почти равное число Bz^{\min} в области Sheath (48%) и МО (52%). Для 2-ой и 3-ей групп это соотношение составляет: 45–55% и 28–72%. Т.е. при наличии Shock, положение Bz^{\min} распределяются почти поровну в области Sheath и МО, а в их отсутствии – подавляющее преимущество имеют МО. Довольно наглядно проявляется влияние степени возмущенности области сжатия на количество случаев, когда Bz принимает пиковые значения в Sheath и величины самих Bz^{\min} . Подобная картина наблюдается и для распределений Dst^{\min} – наиболее мощные МБ развивались при наличии Shock4. Однако преимущественным расположением Dst^{\min} для всех МБ являются магнитные облака – в 78% случаев. Максимальное развитие магнитной бури происходит, в основном, во время прохождения магнитного облака. МБ, в развитии которых отсутствовало влияние Shock, имели $Bz^{\min} \geq -24.3$ nT и $Dst^{\min} \geq -207$ nT, существенно уступающие пиковым значениям параметров МБ при воздействии Shock4. Начало всех МБ, связанных с Shock4, инициировано действием переднего фронта ударной волны, включая и две выдающиеся МБ 23-го цикла: 20 ноября 2003г. с $Dst^{\min} = -422$ nT и 8 ноября 2004г. с $Dst^{\min} = -373$ nT, максимальная фаза развития, которых относится к МО.

Исследование показало, что минимальные значения Bz -компоненты предшествуют максимальной фазе развития МБ, при этом время задержки Dst^{\min} относительно Bz^{\min} составляет в среднем 4 часа.

Для 18 МО, не повлиявших на возникновение и развитие МБ, и относящихся, в основном, к периодам минимальной активности Солнца, характерно или полное отсутствие направленной к югу Bz -компоненты или присутствие фоновых значений. Источниками возникновения таких МО могли стать структурные неоднородности в солнечной короне, обладающие повышенной скоростью движения плазмы и способствующие выносу замкнутых магнитных петельных структур в межпланетное пространство. Реальность существования таких структурных неоднородностей подтверждается спутниковыми наблюдательными данными (ACE, WIND, GENESIS).

3. Данные наблюдений на КА ACE и WIND позволили исследовать также поведение плотности α -частиц (N_α) и их относительное содержание в магнитных облаках (N_α/N_p).

Для довольно однородной структуры МО характерно индивидуальное поведение протонной плотности (N_p), в котором трудно выявить какие-либо закономерности.

Ранее было установлено, что в теле КВМ, связанных с Shock4, присутствуют заметные подъемы N_α (до 10 см^{-3}), которые имеют вид непродолжительных скачков [5]. При этом отмечена

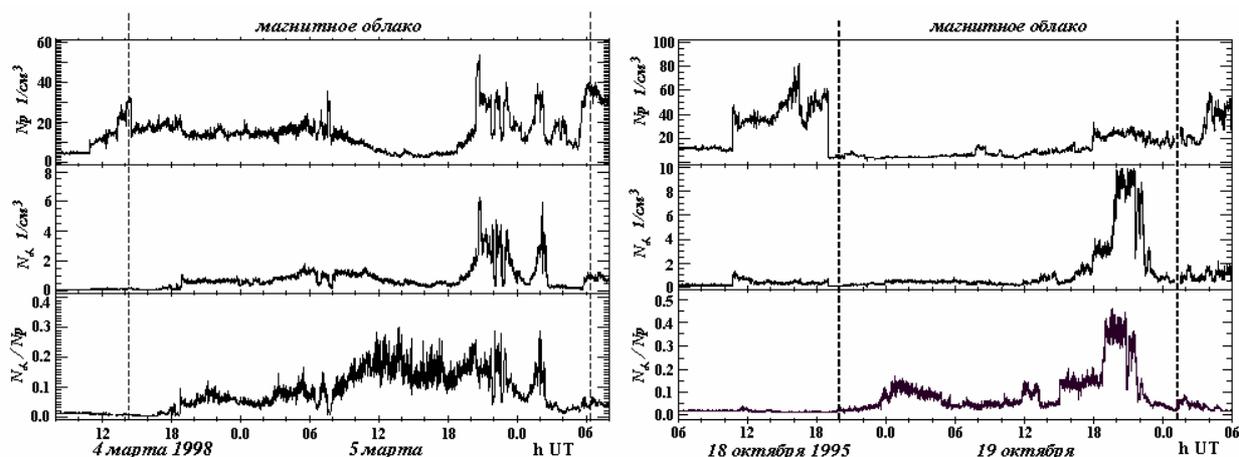


Рис. 3. Ход изменения плотности протонов, α -частиц и их относительного содержания в магнитных облаках 4-6 марта 1998 г. и 18-20 октября 1995 г.

тесная корреляция изменений плотности протонов и α -частиц. На рис. 3 для двух МО приведены изменения со временем значений N_p , N_α и N_α/N_p .

Учитывая, что для спокойного солнечного ветра плотность α -частиц равна $N_\alpha = 0.02-0.05 \text{ см}^{-3}$, в МО наблюдаются участки с плотностью, которая более, чем на два порядка превосходит фоновые значения. Причем в одних случаях, скачки N_α совпадают с подобными изменениями N_p (для МО 5-6 марта 1998), в других – тесной корреляции между N_α и N_p не наблюдается (19 октября 1995). В районах уменьшения плотности N_p до уровня фона в спокойном СВ в период 12h-18h 5 марта 1998 и в 0h-6h 19 октября 1995, значения N_α заметно превышали фоновые. Это привело к существенному подъему относительного содержания α -частиц в МО: до 0.1-0.2.

Для плазмы МО характерно наличие повышенных значений плотности α -частиц, вплоть до $N_\alpha = 10 \text{ см}^{-3}$ и их относительного содержания до $N_\alpha/N_p = 0.4$.

Результаты исследования и выводы. Для каждого из 106 МО, которые достигли магнитосферы Земли в течение 1995-2007 гг., была отождествлена активная область предположительного его образования. Получены распределения МО по магнитным классам АО, в которых они возникли, для всего цикла и отдельно по его стадиям. Максимальное число МО возникло в АО класса **B**, что связано с их самой высокой распространенностью на Солнце. Вероятность возникновения МО наибольшая в АО самых сложных магнитных структур – **BG** – 35% и **BGD** – 62%, при этом вероятность появления таких АО на Солнце всего 3 и 1 % – соответственно.

Существование на Солнце очень мощных комплексов активности (классов **BG** и **BGD**) на стадии спада цикла, привело к возникновению значительного числа МО, даже по сравнению с периодом максимума цикла.

Самым эффективным фактором возникновения МБ является динамическое воздействие Shock на магнитосферу. В этих случаях пиковые значения отрицательной компоненты B_z , присутствуют почти с равной вероятностью в Sheath и в теле МО. Степень возмущенности области Sheath можно охарактеризовать величиной скачка значений физических параметров плазмы на фронте ударной волны – Shock. Максимальная фаза развития МБ наблюдается преимущественно в МО. Причем время задержки Dst^{\min} относительно B_z^{\min} составляет в среднем 4 часа.

Магнитные облака являются геоэффективными структурами солнечного ветра: 83% из числа 106 МО оказали влияние на возникновение и развитие геомагнитных бурь.

Обнаруженные увеличения плотности α -частиц и их относительного содержания в МО, указывают на состояние возмущенности плазмы в этих межпланетных структурах.

Высокие значения N_α/N_p объясняются как более значительными повышениями N_α по сравнению с N_p , так и случаями понижения N_p до фонового уровня.

Для плазмы МО характерно наличие повышенных значений плотности α -частиц, вплоть до $N_\alpha = 10 \text{ см}^{-3}$ и их относительного содержания до $N_\alpha/N_p = 0.4$.

Работа выполнена по бюджетной программе 055, подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. Gosling J.T., Pizzo V.J. Formation and evolution of corotating interaction regions and their three-dimensional structure // Space Sci. Rev. – 1999. – 89. – P. 21.
2. Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clua de Gonzalez A.L. Interplanetary origin of geomagnetic storms // Space Sci. Rev. – 1999. – 88. – P. 529.
3. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 5-35.
4. Вальдмайер М. Результаты и проблемы исследования Солнца. – М.: Изд. ин. лит., 1950. – 240 с.
5. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М. Свойства потоков α -частиц в солнечном ветре // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2011. – № 4. – С. 62-66.

REFERENCES

1. Gosling J.T., Pizzo V.J. Formation and evolution of corotating interaction regions and their three-dimensional structure // Space Sci. Rev. 1999. 89. P. 21.
2. Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clua de Gonzalez A.L. Interplanetary origin of geomagnetic storms // Space Sci. Rev. 1999. 88. P. 529.
3. Ermolaev Ju.M., Ermolaev M. Ju. Solnechnye i mezhplanetnye istochniki geomagnitnyh bur': aspekty kosmicheskoi pogody // Geofizicheskie processy i biosfera. 2009. T.8. № 1. S. 5-35.
4. Val'dmjer M. Rezul'taty i problemy issledovanija Solnca. Izd. in. lit. M.1950. 240 s.
5. Minasyants G.S., Minasyants T.M. Svoistva potokov α – chastitc v solnechnom vetre // Izvestija NAN RK. Serija fis-mat. 2011. № 4. S. 62-66. (in Russ.)

Г. С. Минасянц, Т. М. Минасянц

МАГНИТТІ БҰЛТТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ОЛАРДЫҢ ГЕОМАГНИТТІ ТОЛҚУЛАРДЫҢ ДАМУЫМЕН БАЙЛАНЫСЫ

Магниттік бұлттардың физикалық және құрылымдық сипаты мен олардың геомагнитті толқулардың дамуына әсер етуін анықтау үшін, геомагнитті станциялардың бақылауларын тарта отырып, SOHO, ACE, WIND күннің ғарыштық аппараттарынан алынған деректер қолданылды.

Магнитті бұлттардың пайда болу аумақтарымен байланысты болжамға орай, Күндегі белсенді аумақтар теңестіріліп қаралды. Магнитті бұлттардың барынша белсенді аумақтарында пайда болатын ең күрделі магнитті құрылым, шамамен – **BG** – 35% мен **BGD** – 62% құрайтыны белгіленді. Магнитті бұлттардың плазмасы үшін α -бөлшектерінің, $N_\alpha = 10 \text{ см}^{-3}$ -ке дейін және олардың құрамына қарай $N_\alpha/N_p = 0.4$ -ке дейін концентрациясының жоғарғы мәні болуы тән.

Магнитті бұлттар күн желінің геотиімді құрылымы болып табылады: оның ішінде магнитті бұлттарды қарастыруға алынған 83%-ы геомагнитті толқулардың пайда болуы мен дамуына әсерін тигізеді. Планетааралық магнитті өрістің вертикальді құрамының ең төмен мәні, геомагнитті толқулардың пайда болуының максималды фазасынан (орташа 4 сағатқа) ілгері жүретінін зерттеулер көрсетіп отыр.

Алынған нәтижелер күн-жер байланысын зерттеу аясына қомақты үлес қосады.

G. S. Minasyants, T. M. Minasyants

STRUCTURE OF MAGNETIC CLOUDS AND THEIR CONNECTION WITH DEVELOPMENT OF GEOMAGNETIC STORMS

To investigate the physical and structural properties of magnetic clouds and their influence on development of geomagnetic storms, the data of solar spacecrafts SOHO, ACE, WIND and observations at geomagnetic stations were used.

The solar active regions presumably connected with formations of magnetic clouds were identified. It is established that probability of occurrence of magnetic clouds is the greatest in active regions of the most complex magnetic structures - **BG** - 35 % and **BGD** - 62 %. For plasma of magnetic clouds presence of the increased values of concentration α - particles is characteristic, up to $N_\alpha = 10 \text{ sm}^{-3}$ and their abundance to $N_\alpha/N_p = 0.4$.

Magnetic clouds are geoeffective structures of a solar wind: 83 % from number, accepted to consideration of magnetic clouds, have influenced occurrence and development of geomagnetic storms. Research has shown that the minimum values vertical components of an interplanetary magnetic field proceed (on the average at 4 o'clock) the maximum phase of development of a geomagnetic storm.

The received results are the contribution to studying of solar-terrestrial connections.

Г. С. МИНАСЯНЦ, Т. М. МИНАСЯНЦ

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

В целях изучения особенностей изменения солнечной постоянной проведено сопоставление их значений со свойствами активных областей в период 1996-2011 годов. Для этого были использованы данные с космического аппарата SOHO (прибор VIRGO) и результаты наблюдений на различных обсерваториях мира. В результате исследования установлено, что сглаженный подъем значений солнечной постоянной в период максимума цикла объясняется преобладанием излучения факельных полей над дефицитом излучения от групп пятен, в основном, малой и средней площади. Проведенное сопоставление значений солнечной постоянной с ежедневной средней площадью группы в разные периоды активности цикла позволили выявить, что пятенная активность является преобладающим фактором в тонкоструктурном характере вариаций солнечной постоянной.

Полученные результаты позволяют связать развитие активности с ходом изменений солнечной постоянной.

Солнечная постоянная (СП) – это полное по всему спектру излучение Солнца, проинтегрированное по всему диску и выраженное в единицах Wm^{-2} . Среднее значение СП на расстоянии в 1AU вне атмосферы Земли составляет $1366 Wm^{-2}$ [1]. Определение СП по регулярны наблюдениям Солнца за пределами земной атмосферы с помощью космических аппаратов (КА) проводятся с 1978 г. Это позволило в значительной степени повысить точность определения СП, сейчас она составляет $0.48 Wm^{-2}$. О важности рассмотрения влияния свойств активных областей на ход изменений СП указывается в работах [2,3]. Считается установленным фактом, что вариации значений СП определяются, в основном, изменениями яркостной энергии факельных полей и дефицитом излучения из-за присутствия солнечных пятен (рис. 1).

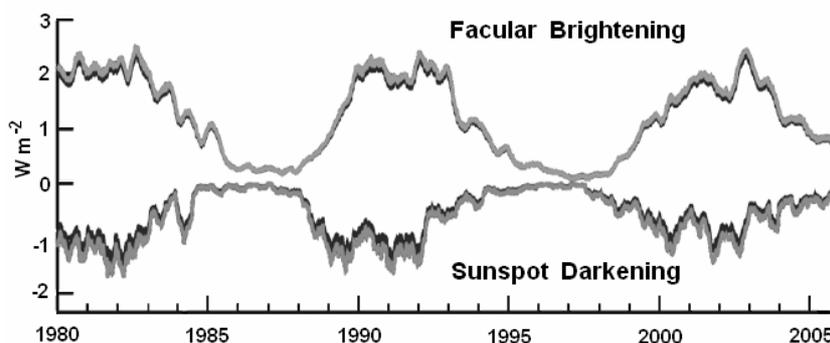


Рис. 1. Сопоставление вариаций излучения факелов и солнечных пятен в 1980-2005 гг. согласно J. Lean [4]

Сопоставление сглаженных вариаций, показанное на рис. 1, указывает на преобладание излучения факелов над потерей излучения из-за солнечных пятен, для всех представленных циклов активности.

Начиная с февраля 1996 г. и по настоящее время, прибор VIRGO на КА SOHO непрерывно регистрирует излучение Солнца, что позволяет с высокой точностью рассчитывать значения солнечной постоянной. В своем исследовании мы использовали ежедневные значения СП (рис. 2) и площади пятен для всего диска Солнца в период 1996-2011 годов. Для описания магнитной структуры пятен использовалась классификация Хэйла: α , β , $\beta\gamma$, $\beta\delta$ и $\beta\gamma\delta$.

Для сопоставления свойств активных областей с изменениями СП, использовались данные наблюдений в различные периоды развития цикла.

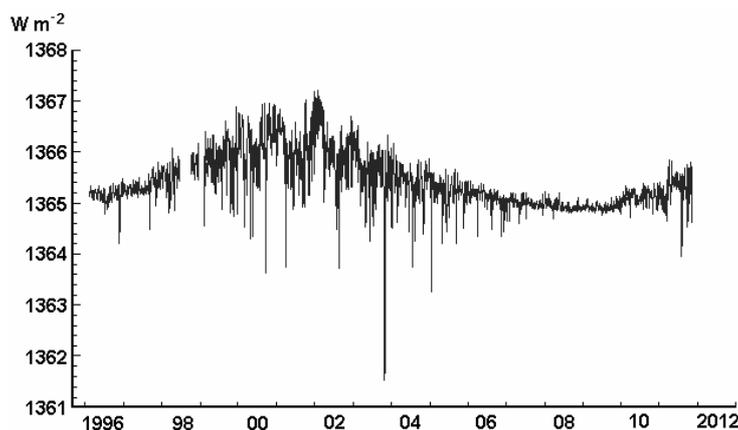


Рис. 2. Ежедневные значения солнечной постоянной, полученные по данным наблюдений на SOHO (прибор VIRGO) в течение 1996–2011 г.

В ходе изменения СП привлекают внимание непродолжительные по времени, внезапные падения значений СП с самыми разными амплитудами. Природу этих резких изменений СП можно выяснить, используя рис. 3. На нем показано сопоставление значений площадей пятен S_p и СП в течение 2003 года. Площади пятен выражаются в миллионных долях полусферы – мдп. Во всех случаях, когда $S_p > 2000$ мдп, наблюдается одновременное уменьшение значений СП. В течение 23 октября – 3 ноября 2003 (296-307 дни года) на Солнце развивались огромные активные области, общая площадь пятен которых, 30 октября составила $S_p = 7966$ мдп. Это привело к тому, что значение СП достигло абсолютного минимального значения за все годы наблюдений и составило 1361.5 W m^{-2} (падение относительно среднего на 4.5 W m^{-2}).

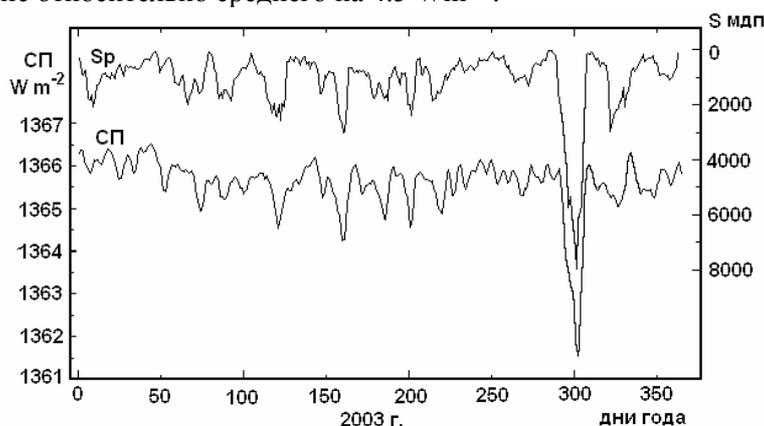


Рис. 3. Сопоставление ежедневных значений площади пятен и СП для 2003 г. Ось ординат площадей пятен развернута на 180°

Отметим, что наибольшая амплитуда роста значений СП в цикле от минимума до максимума не превышает 2.5 W m^{-2} . Приведенные факты указывают на преобладающее влияние пятненной активности на тонкоструктурный характер вариаций СП.

Далее, для исследования изменений СП в течение цикла в зависимости от магнитного класса групп пятен и их площадей, были использованы данные наблюдений, представленные в таблице.

Характеристики использованных данных

| Показатель | Годы | N | Значения СП | Scp. | N^{AR} ср. | M_H |
|-------------|-----------|----|---------------------|------|--------------|--|
| Минимум | 2007-2009 | 16 | 1364.8587-1365.2094 | 37 | 0.5 | α, β |
| Рост цикла | 1998 | 10 | 1365.5167-1366.1745 | 834 | 6.3 | $\alpha, \beta, \beta\gamma$ |
| Максимум | 2000-2002 | 18 | 1366.5371-1367.2028 | 1595 | 10.8 | $\alpha, \beta, \beta\gamma$ |
| Пиковые min | 1996-2011 | 17 | 1361.5398-1364.4949 | 2736 | 5.8 | $\beta, \beta\gamma, \beta\delta, \beta\gamma\delta$ |

В период максимума выбраны дни с наиболее высокими значениями СП в цикле: с 9 сентября по 19 декабря 2000, 3-12 октября 2001 и с 30 декабря 2001 до 28 января 2002. Для стадии роста цикла использован интервал с 8 октября до 18 декабря 1998; для минимума – с 9 ноября 2007 до 8 июля 2008 и с 11 февраля до 2 июня 2009. Присутствие минимальных пиковых значений СП $< 1364.5 \text{ W m}^{-2}$ характерно для всех этапов цикла (рис. 2). N – число использованных наблюдательных дней, S_{cp} и N^{AR}_{cp} – средние значения ежедневной площади пятен и ежедневного количества групп пятен на Солнце, для каждого из рассмотренных этапов, представленных в 1-ом столбце таблицы. Интервалы значений СП для каждого из этапов показаны в 4-ом столбце. В последнем столбце приведены хэйловские магнитные классы групп пятен – M_H .

Влияние площади групп пятен, их количества и магнитного класса на значения СП, можно проследить на конкретном примере. 26 января 2002 г. на Солнце существовало 13 групп пятен (магнитных классов α и β) общей площадью 2772 м.д.п. и значением СП, равным $1367.0252 \text{ W m}^{-2}$. Точно такую же площадь имели 2 группы (магнитных классов β и $\beta\delta$) 15 января 2005 г. и СП = $1363.2624 \text{ W m}^{-2}$. Большую разницу в значениях СП можно объяснить преобладающим излучением многочисленных факельных полей 26.01.02 и существенной блокировкой излучения из-за сильной напряженности магнитного поля в сложной и большой по площади группе 15.01.05, при немногочисленных факельных полях.

Чтобы более наглядно представить характер вариаций СП на разных стадиях цикла, мы для каждого из использованных дней наблюдений определили среднюю площадь группы, которая равна суммарной ежедневной площади всех групп, деленной на их количество: $S^* = S_p/N_{AR}$.

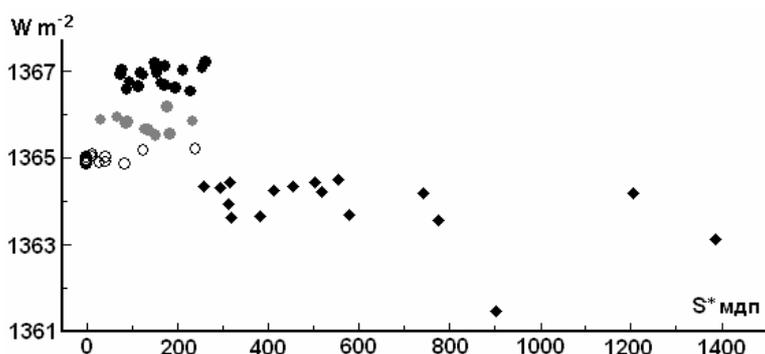


Рис. 4. Сопоставление значений СП с ежедневной средней площадью группы S^* в разные периоды активности: \circ – стадия минимума, \bullet – роста, \bullet – максимума цикла; \blacklozenge – минимальные пиковые значения

Типичным значениям СП для различных стадий развития цикла соответствует довольно ограниченный интервал ежедневных средних площадей групп пятен $0 \leq S^* \leq 263$ мдп. В то время как для пиковых минимальных значений он составляет $257 \text{ мдп} \leq S^* \leq 1386$ мдп.

Для стадии максимума цикла, когда числа Вольфа имеют наибольшие значения, характерно одновременное существование большого количества активных областей, в основном, средних и малых площадей. Вокруг каждой из областей присутствует факельное поле, яркостное излучение которых преобладает над потерей излучения из-за присутствия пятен. В итоге это приводит к увеличению значений СП.

Спорадические кратковременные, значительные падения значений СП происходят в течение всех стадий развития цикла. Они связаны с прохождением по диску Солнца больших по площади групп пятен, как правило, со сложной структурой магнитного поля. В среднем, ежедневное количество групп пятен в эти дни уступает их числу в периоды роста и максимума цикла. Для факельных полей, из-за плавного изменения их площади отсутствуют скачки подобной амплитуды при увеличении значений СП (рис. 2).

Работа выполнена по бюджетной программе 055, подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. Space environment (natural and artificial) – Process for determining solar irradiances // International Organization for Standardization. – Switzerland, 2007. – P.12.
2. *Zahid H. J., Hudson H. S., Fröhlich C.* Total solar irradiance variation during rapid sunspot growth // *Solar Phys.* – 2004. – 222. – P. 1-15.
3. *Baranyi T., Pap J.M.* Active Region Properties and Irradiance Variations // *Advances in Space Research.* – In press. – 2011. – P.1-14.
4. *Lean J.* Solar Spectral Irradiance: Users, Applications, Models // Naval Research Laboratory. – Presentations. 2006. – P. 1-19.

REFERENCES

1. Space environment (natural and artificial) – Process for determining solar irradiances // International Organization for Standardization. Switzerland. 2007. P.12.
2. *Zahid H. J., Hudson H. S., Fröhlich C.* Total solar irradiance variation during rapid sunspot growth // *Solar Phys.*, 222, 2004. P. 1-15.
3. *Baranyi T., Pap J. M.* Active Region Properties and Irradiance Variations // *Advances in Space Research*, in press. 2011. P.1-14.
4. *Lean J.* Solar Spectral Irradiance: Users, Applications, Models // Naval Research Laboratory. Presentations. 2006. P. 1-19.

Г. С. Минасянц, Т. М. Минасянц

КҮН ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ ӨЗГЕРУІНЕ БЕЛСЕНДІ АУМАҚТАРДЫҢ ӘСЕР ЕТУ

Күн тұрақтылығы өзгеруі ерекшеліктерін зерттеу мақсатында, олардың мәнін 1996–2011 жылдар аралығында алынған белсенді аумақтардың сипаттамаларымен салыстырып тексеру жүргізілді. Аталған жағдайға орай, SOHO ғарыштық аппаратының (VIRGO құралы) деректері мен әлемнің әр жеріндегі обсерваториялардың бақылау нәтижелері қолданылды. Зерттеу барысында циклдың ең үлкен шамасы кезінде, күн тұрақтылығы мәнінің біртегіс көтерілуі негізінде шағын және орташа аумақтарда, таңбалық топтан сәуле шашырату жетіспеушілігінен факельді өрістердің сәуле шашыратуы жоғары болуымен түсіндірілетіні анықталды. Күн тұрақтылығы мәнін, әр мерзімдегі белсенді циклдағы топтың күнделікті орташа аумағымен салыстырып тексеру барысы, таңбалық белсенділік, күн тұрақтылығы вариациясының жіңішке құрылымдық сипатында басымды фактор болып табылатынын анықтауға мүмкіндік берді.

Алынған нәтижелер күн тұрақтылығы өзгеруі барысымен белсенділіктің дамуын байланыстыруға мүмкіндік береді.

G. S. Minasyants, T. M. Minasyants

INFLUENCE OF ACTIVE AREAS ON CHANGES OF THE TOTAL SOLAR IRRADIANCE

With the purpose of features study of the total solar irradiance the comparison its magnitudes with properties of active regions was carried out for 1996-2011. For this purpose the observations from spacecraft SOHO (device VIRGO) and of various observatories of the world have been used. As a result of research was established the smoothed rise of values of the total solar irradiance during a maximum of a cycle points to the exceeding of a facular radiation above deficiency of radiation from groups of sunspots, basically, of the small and average areas. The carried out comparison of values of the total solar irradiance with daily average area of sunspot groups for the different periods of a solar cycle established that the sunspot activity is the prevailing factor in the variations fine-structure of the total solar irradiation.

The received results allow to connect the development of solar activity with variations of the total solar irradiance.

Л. И. ШЕСТАКОВА, Б. И. ДЕМЧЕНКО, Г. М. БАЙНАКАТОВА

ПОВЕДЕНИЕ ОКОЛОЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ ВБЛИЗИ ЗВЕЗДЫ ТИПА β PICTORIS

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Цель работы. Определение границ области сублимации пыли около звезды класса А и действия светового давления на частицы разных размеров и материалов.

Методы исследований. Численное моделирование. Выполнены расчеты температуры пылевых частиц в зависимости от материала, размера и расстояния до звезды на основе решения уравнения теплового баланса по авторским программам, составленным на языке Си++. Для расчетов взаимодействия частиц с излучением звезды использована теория Ми для однородных сферических частиц.

Выбраны три сорта силикатов с разными индексами рефракции, позволяющие оценить различия между веществами с разными свойствами поглощения: р-обсидиан, базальт и астросиликат. Р-обсидиан (r-obsidian) с низким содержанием железа является полупрозрачным вулканическим стеклом, слабо поглощающим свет. Базальт обладает средними абсорбционными свойствами и астросиликат – синтетическое вещество с сильными абсорбционными свойствами. Для всех перечисленных сортов силикатов выполнены расчеты светового давления на пылевые частицы разных размеров.

Область применения. Результаты могут быть полезны при рассмотрении эволюции звезд с газопылевыми дисками.

Результаты и выводы. Показано, что на расстояниях до 15-20 радиусов звезды, космическая пыль в виде облака твердых частиц существовать не может, так как ее нагрев за счет излучения звезды выше температуры плавления силикатов всех типов. Температурный режим пыли отличается от режима абсолютно черного тела и сильно зависит от размера частиц и материала, из которого они состоят. Максимальную температуру, превышающую температуру черного тела, имеют частицы промежуточных размеров радиусами около 0.03-0.1 мкм.

Радиационное давление оказывает сильное селективное воздействие на пылинки, как по размерам частиц, так и по типу материала. Из-за преобладания силы радиационного отталкивания над гравитационным притяжением силикатные частицы с радиусами от 0.02 мкм до 1 мкм покидают систему звезды β Pictoris и смешиваются с межзвездной средой.

Введение. В результате первых наблюдений в инфракрасном диапазоне с помощью миссии IRAS [1, 2] были обнаружены избытки эмиссии на длинах волн 12, 25 и 100 мкм около ближайших звезд главной последовательности: Веги, Фомальгаута и β Pictoris [2, 3]. Обнаруженные избытки инфракрасного излучения свидетельствуют о наличии пылевых дисков, окружающих эти звезды.

Среди звезд с пылевыми дисками около 50% - молодые звезды класса А и 25% - А-звезды, заканчивающие свою жизнь на главной последовательности [4]. Это обусловлено двумя обстоятельствами:

Во-первых, благодаря короткому времени жизни (в среднем около 850 миллионов лет) в сравнении с солнцеподобными звездами или М-карликами, они могли сохранить первоначальный диск.

Во-вторых, А-звезды обычно ярче звезд других классов, диски около которых невозможно обнаружить.

Основным объектом нашего исследования является звезда класса AV5 - β Pictoris (HR 2020). Она является прототипом звезд класса А с переменной околозвездной компонентой.

Протопланетный диск около β Pictoris имеет сходные черты с Солнечной системой [5]:

– Химический состав пыли около β Pictoris подобен материалам частиц в Солнечной системе. Спектроскопия эмиссионной полосы в районе 10 мкм показывает, что нагретая пыль, присутствующая в центральной зоне низкой плотности, состоит главным образом из аморфных силикатов с добавлением кристаллического оливина, очень похожего на пыль кометы Галлея.

– Также как и в Солнечной системе, в системе β Pictoris присутствуют β -метеороиды и α -метеороиды, то есть гранулы, сильно или слабо подверженные давлению солнечной радиации.

– Испарившийся и ионизованный газ планетезималей, наблюдаемый вблизи звезды, имеет обычное солнечное химическое обилие.

Различия в процессах, происходящих в пылевых дисках около Солнца и звезды класса А (β Pictoris) определяются различиями в возрасте и классе звезды. Большая часть гранул около β Pictoris может немного отличаться по составу от типичного для Солнечной системы межпланетного и кометного материала. Содержание углерода меньше, чем в стандартном составе хондритов и углеродосодержащих метеороидов. Особенно светлым выглядит состав гранул около β Pictoris в сравнении с темной кометной пылью Солнечной системы.

– Роль радиационного давления, действующего на пыль, проявляется у β Pictoris сильнее, чем в нашей системе. Появляется возможность лавинообразного потока коллизионных осколков субмикронных размеров и их фрагментов наружу сквозь диск. Недостаток углерода в составе частиц также может быть обусловлен сильным световым давлением, поскольку углеродосодержащие частицы сильнее подвержены этому эффекту, за счет чего может происходить некоторая «сепарация» состава частиц световым давлением.

Базовые понятия по тепловому излучению и теории Ми. Теория Ми (Mie) [6, 7] описывает взаимодействие электромагнитных волн с частицами малых размеров с характерным масштабом, сравнимым с длиной волны. Эта теория позволяет рассчитывать самые разные параметры, включая поляризацию света и индикатрису рассеяния, с учетом волновой природы света и некоторых квантовых эффектов. При расчете теплового баланса и светового давления на пылевые частицы используются факторы поглощения Q_{abs} и давления Q_{pre} .

Основное уравнение теплового баланса согласно [8] выглядит следующим образом:

$$E_{abs} = \pi s^2 (\Omega / \pi) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_s) d\lambda = E_{rad} = 4\pi s^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_g) d\lambda, \quad (1)$$

где s – радиус пылевой частицы (гранулы); λ_1 и λ_2 – пределы интегрирования ($\lambda_1 = 0.10$ мкм, $\lambda_2 = 50.0$ мкм); r – расстояние от звезды; $\Omega = 2\pi(1 - \sqrt{1 - r_s^2 / r^2})$ – телесный угол диска звезды, видимый с расстояния r , где r_s – радиус звезды. Если $r > 10r_s$, то с погрешностью менее 1% выражение для Ω можно упростить: $\Omega = \pi(r_s^2 / r^2)$. Для β Pictoris $r_s = 974400$ км, $T_s = 8250$ К. $Q_{abs}(\lambda, s, m)$ – фактор эффективности поглощения, рассчитывается по теории Ми, $m(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$ – комплексный индекс рефракции материала частиц. $B(\lambda, T_s)$ – функция излучения Планка для звезды с эффективной температурой T_s . $B(\lambda, T_g)$ – функция Планка для пылевой частицы, нагретой до температуры T_g .

Фактор $Q_{abs}(\lambda, s, m)$ входит как в левую, так и в правую части равенства (1). Это означает, что эффективность поглощения падающего электромагнитного излучения на длине волны λ такая же, что и эффективность излучения на этой же длине волны.

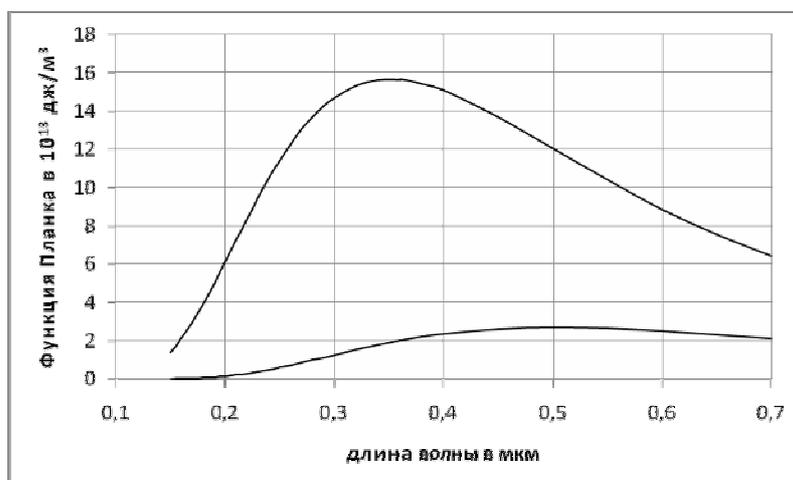


Рис. 1. Функции Планка для звезды β Pictoris (верхняя кривая, $T_s = 8250$ К) и Солнца (нижняя кривая, $T_s = 5779$ К)

Предположим теперь, что гранула представляет собой абсолютно черное тело. Чтобы исключить влияние дифракции, будем считать, что это тело имеет достаточно большие размеры. При этих условиях $Q_{abs} = 1$. Для больших расстояний ($r > 10r_s$) из формулы (1) путем простых преобразований получим температуру пылинки в зависимости от расстояния до звезды в приближении

$$\text{абсолютно черного тела: } T_g = T_s \sqrt{\frac{r_s}{2r}}.$$

На рис. 1 для сравнения представлены функции Планка для β Pictoris и для Солнца.

Из этого рисунка видно, что максимум распределения энергии в спектре звезды β Pictoris расположен на длине волны $\lambda_m = 0.35$ мкм, что соответствует фиолетовой области спектра. Для Солнца максимум излучения расположен в желтой области спектра: $\lambda_m = 0.5$ мкм.

Расчеты теплового баланса и светового давления для пылевых частиц около звезды β Pictoris. Температура пылевой частицы T_g находится из условия (1): $E_{abs} = E_{rad}$, которое можно рассматривать как нелинейное уравнение относительно T_g .

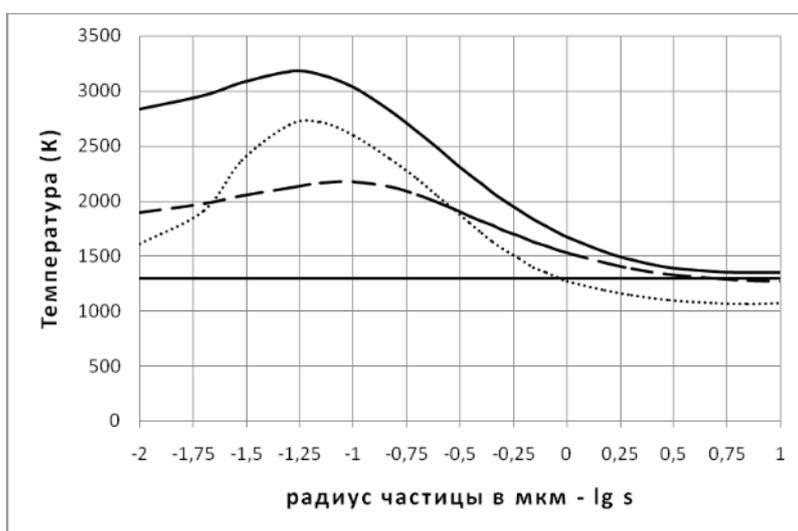


Рис. 2. Температура пыли на расстоянии $20r_s$ в зависимости от радиуса частиц s (мкм) в логарифмическом масштабе $-\lg s$. Сплошная линия – базальт, штриховая – астросиликат, точечная – р-обсидиан, горизонтальная линия - абсолютно черное тело с $T = 1300$ K

Из рис. 2 видно, что температуры частиц одного и того же сорта, но разных размеров, заметно отличаются, даже если они находятся на одинаковом расстоянии от звезды. Максимальную температуру имеют частицы с радиусами около 0.03-0.1 мкм. Это свойство практически совпадает для всех трех сортов силикатных частиц. Физическая природа этого явления заключается в общности свойств рассеяния, а именно, дифракцией света на малых частицах, которая сильно зависит от размера частиц.

На рис. 3 представлена зависимость температуры пыли от расстояния до центра звезды для различных размеров частиц из трех материалов: 3а) - астросиликат, 3б) - базальт и 3с) - р-обсидиан. Видно, что температура реальных частиц сильно отличается от температуры абсолютно черного тела и заметно зависит как от размера частиц, так и от типа материала. Кроме того, на расстояниях, меньших 15-20 радиусов звезды, температура нагрева частиц превышает температуру плавления силикатов, которая близка к 1300 K, поэтому на расстояниях < 20 радиусов звезды пыль в виде облака твердых частиц существовать не может.

Сила радиационного давления F_{pre} вычисляется, согласно [9], по формуле:

$$F_{pre} = \frac{\pi s^2}{c} \frac{r_s^2}{r^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_s) d\lambda, \quad (2)$$

где c – скорость света, $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ – фактор эффективности светового давления, рассчитанный по теории Ми, $B(\lambda, T_s)$ – функция Планка для звезды с эффективной температурой T_s .

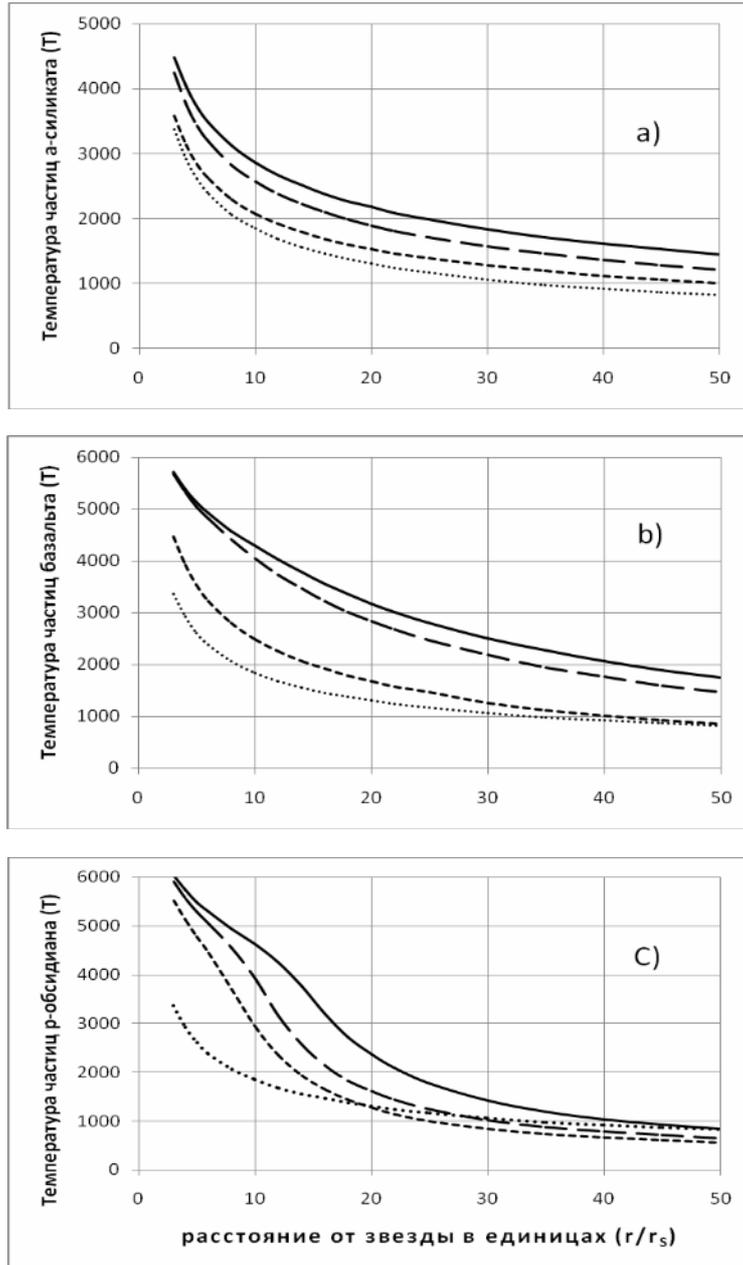


Рис. 3. Зависимость температуры от расстояния до центра звезды для частиц разных радиусов. Сплошная линия: $s = 0.09$ мкм - астросиликат, $s = 0.05$ мкм - базальт, $s = 0.03$ мкм - р-обсидиан. Для всех веществ длинный пунктир: $s = 0.01$ мкм, короткий пунктир: $s = 1.00$ мкм. Точечная линия – абсолютно черное тело.

Важными параметрами для оценки поведения пылевых частиц в окрестности звезды являются среднее значение эффективного фактора давления $Q_{pr}(s, m)$ и отношение силы радиационного давления к силе гравитационного притяжения $\beta(s, m)$.

В качестве спектральной плотности излучения звезды берется функция Планка при температуре $T_S = 8250$ К. Расчетные формулы имеют вид:

$$Q_{pr}(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) \cdot B(\lambda, T) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) \cdot d\lambda}, \quad \beta(s, m) = \frac{F_{pre}(s, m)}{F_{grav}} = \frac{3 \cdot Q_{pr}(s, m) \cdot L}{16\pi \cdot c \cdot \mu \cdot \delta \cdot s}, \quad (3)$$

где $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ - эффективный спектральный фактор давления, рассчитанный по теории Ми, L - полная светимость звезды β -Pictoris, $\mu = 2.322 \cdot 10^{20} \text{ м}^3/\text{с}^2$ - гравитационный параметр звезды (т.е. произведение гравитационной постоянной на массу), δ - плотность вещества пылевой частицы. В расчетах принято, что плотность р-обсидиана и базальта равна $2.5 \text{ г}/\text{см}^3$, а плотность астросиликата равна $3.2 \text{ г}/\text{см}^3$.

Результаты расчетов среднего фактора эффективности светового давления $Q_{pr}(s, m)$ и отношения силы давления к силе притяжения $\beta(s, m)$ для силикатных материалов (р-обсидиана, базальта и астросиликата) представлены на рис. 4, 5.

Максимальное значение Q_{pr} , согласно рис. 4, достигается для всех материалов вблизи радиусов частиц 0.3-0.4 мкм.

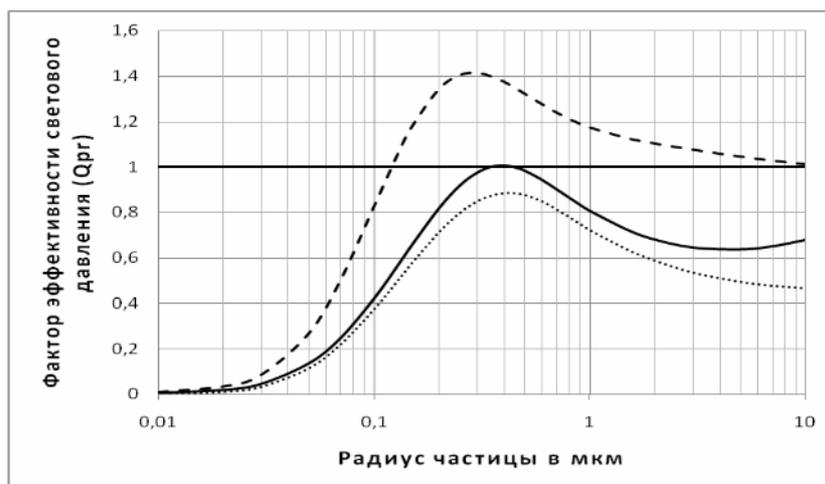


Рис. 4. Зависимость среднего фактора давления $Q_{pr}(s, m)$ от радиуса частицы для трех веществ: Сплошная линия – базальт, штриховая линия – астросиликат, точечная линия – р-обсидиан, горизонтальная линия - абсолютно черное тело

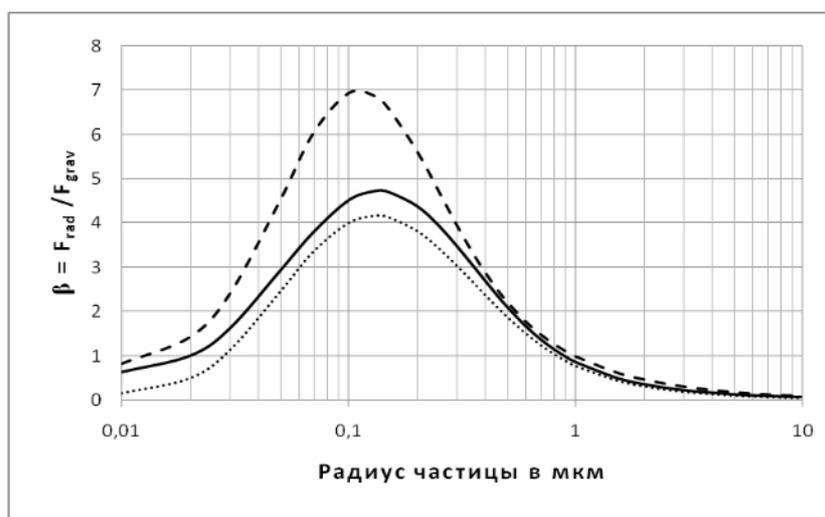


Рис. 5. Зависимость отношения силы светового давления к силе притяжения $\beta = F_{rad} / F_{grav}$ от радиуса частицы для трех веществ: сплошная линия – базальт, штриховая – астросиликат, точечная линия – р-обсидиан.

Из результатов вычислений отношения силы светового давления к силе тяжести для трех материалов, представленных на рис. 5, можно сделать вывод, что частицы с радиусами от 0.02 до 1 мкм покидают систему звезды β Pictoris. Действительно, чем больше значение β , тем меньше у частицы шансов остаться в околозвездном пространстве. Если $\beta > 1$, то такие частицы безусловно покидают пределы системы, так как на любых расстояниях сила радиационного отталкивания превышает силу гравитационного притяжения. Но и частицы со значениями β от 0.5 до 1.0 также с большой

вероятностью способны улететь в бесконечность, если скорости их движения достаточно велики. Как видно из рис. 5, наибольшие значения β приходится на частицы с радиусом около 0.1-0.2 мкм, а из материалов большие β характерны для астросиликата.

Таким образом, радиационное давление звезды приводит к сильному разделению пылевой составляющей в околозвездном пространстве на несколько фракций, как по размерам пылинок, так и по типу материалов.

Заключительные замечания. В результате решения уравнения теплового баланса выяснено, что на расстояниях до 15-20 радиусов звезды, космическая пыль в виде облака твердых частиц существовать не может, так как температура нагрева за счет излучения превышает температуру плавления силикатов всех типов.

Температурный режим пыли отличается от режима абсолютно черного тела и сильно зависит от размера частиц и материала, из которого состоят частицы. Максимальную температуру имеют частицы с радиусами около 0.03-0.1 мкм. Частицы этих размеров, кроме слабо поглощающих частиц р-обсидиана, испаряются внутри области до 50 радиусов звезды.

Из результатов вычислений силы светового давления можно сделать вывод, что силикатные частицы радиусами от 0.02 до 1 мкм покидают систему звезды β Pictoris из-за преобладания светового давления над силой тяжести. Частицы как больших, так и меньших размеров могут оставаться в околозвездном диске.

Установлено также, что радиационное давление оказывает сильное селективное воздействие на пылевую составляющую не только по размерам частиц, но и по типу материала. Наибольшему влиянию радиационного давления подвержены пылевые частицы из астросиликата.

Работа выполнена по бюджетной программе 055, подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith B.A., Terrile R.J. A circumstellar disk around Beta Pictoris // *Science*. – 1984. – V. 226. – P. 1421-1424.
2. Aumann H.H. et al. Discovery of a shell around Alpha Lyrae // *Astrophys. J. Letters*. – 1984. – V. 278. – P. L23-27.
3. Backman D.E., Paresce F. eds. Mainsequence stars with circumstellar solid material // *The Vega phenomenon*. – 1993. – P. 1253-1304.
4. Trilling et al. Debris Disks around Sun-like Stars // *Ap. J.* – 2008. – V. 674. – P. 1086.
5. Artymowicz P. BETA PICTORIS: An Early Solar System? // *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* – 1997. – V. 25. – P. 175-219.
6. Boren C.F., Hafmen D.R. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. – 1983. – John Wiley & Sons, Inc. – 664 p.
7. Matsumura M., Seki M. Polarization Efficiency and Phase Function Calculated on the Basis of the Mie Theory // *Faculty of Science*. – Tohoku University, SENDAL, JAPAN. – Eighth Series. – 1985. – V. 6, N 1. – P. 11-48.
8. Shestakova L.I., Tambovtseva L.V. Dynamics of dust grains near the Sun // *Astron. and Astrophys. – Transactions*. – 1995. – V. 8. – P. 59-81.
9. Lamy P.L. Optical properties of silicates in the far ultraviolet // *Icarus*. – 1978. – V. 34. – P. 68-75.

REFERENCES

1. Smith B.A., Terrile R.J. *Science*. **1984**. V.226. P.1421-1424.
2. Aumann H.H. et al. *Astrophys.J. Letters*. **1984**. V.278. P.L23-27.
3. Backman D.E., Paresce F. eds. *The Vega phenomenon*. **1993**. P.1253-1304.
4. Trilling et al. *Ap.J.* **2008**. V. 674. P.1086.
5. Artymowicz P. *Annu.Rev.Earth Planet Sci.* **1997**. V.25. P.175-219.
6. Boren C.F., Hafmen D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, **1983**, John Wiley & Sons, Inc., 664p.
7. Matsumura M., Seki M. *Polarization Efficiency and Phase Function Calculated on the Basis of the Mie Theory*. Faculty of Science, Tohoku University, SENDAL, JAPAN. Eighth Series. **1985**. V.6. No.1. P. 11-48.
8. Shestakova L.I., Tambovtseva L.V. *Astron. and Astrophys. Transactions*. **1995**. V.8. P.59-81.
9. Lamy P.L. *Icarus*. **1978**. V.34. P.68-75.

Л. И. Шестакова, Б. И. Демченко, Г. М. Байнақатова

β PICTORIS ТИПТІ ЖҰЛДЫЗ МАҢАЙЫНДАҒЫ ЖҰЛДЫЗАЙНАЛАЛЫҚ ТОЗАҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Жұмыс мақсаты. А класындағы жұлдыздардың жанындағы бөлшектердің сублимациялануы аумағының шекарасы мен жарық қысымының әртүрлі көлемдегі бөлшектер мен материалдарға әрекет етуін анықтау.

Зерттеу әдістері. Сандық модельдеу. Си++ тілінде жасалған авторлық бағдарлама бойынша жылулық балансының теңдеуін шешу негізінде материал, көлемі мен жұлдызға дейінгі қашықтыққа байланысты тозаңдық бөлшектердің температурасына есептеулер жасалды. Жұлдыздың сәуле шашуымен бөлшектердің өзара әрекет етуін есептеу үшін біртекті сфераларға арналған Ми теориясы қолданылды.

Жойылудың әртүрлі сипаты бар заттардың арасындағы айырмашылықты бағалауға мүмкіндік беретін, рефракциялары әртүрлі индекспен берілген силикаттың үш сорты таңдап алынды: р-обсидиан, базальт және астросиликат.

Құрамында аз мөлшерде темірі бар Р-обсидиан (poor-obsidian), жарықты аз тұтынатын, мөлдірлеу вулкандық әйнек болып табылады. Базальттың орташа абсорбциялық қасиеті бар және астросиликат – күшті абсорбциялық қасиеті бар синтетикалық зат.

Барлық аталған силикаттардың сорттары үшін, әртүрлі көлемдегі тозаңдық бөлшектердің жарықтық қысымына есептеулер жасалды.

Қолданылу ауданы. Газды-тозаң дисктері бар жұлдыздардың эволюциясын қарастырған кезде осы нәтижелердің пайдасы тиеді.

Жұмыстың нәтижелері мен қорытындылары. Жұлдыздан 15-20 радиуска дейінгі қашықтықта қатты бөлшектердің бұлты түріндегі ғарыштық тозаңның болмауы мүмкін деген қорытынды жасалды, өйткені оның жұлдыздың сәуле шашыратуынан алатын қызуы барлық түрдегі силикаттардың еру температурасынан жоғары. Тозаңның температуралық режімі, абсолютті қара дененің режімінен айырмашылығы бар және бөлшектердің көлемі мен құрамындағы материалдарға тәуелді болады. Қара дененің температурасынан асатын ең жоғарғы температура 0.03-0.1 мкм жуық радиуста аралық көлемдегі бөлшектерде бар.

Радиациялық қысым бөлшектердің көлеміне қарай да, сондай-ақ материалдың түріне қарай да тозаңшаларға күшті селективтік әсерін тигізеді. Гравитациялық тартылыстан радиациялық серпіннің күші артық болғандықтан, 0.02мкм-ден 1мкм-ға дейін радиусы бар силикаттық бөлшектер β Pictoris жұлдызының жүйесін тастап, жұлдызаралық ортамен араласып кетеді.

L. I. Shestakova, B. I. Demchenko, G.M. Bajnakatova

BEHAVIOR OF SIRCUMSTELLAR DUST NEAR β PICTORIS TIPE STAR

Aims. Defining the boundaries of dust sublimation around stars of class A and the effect of radiation pressure on particles of different sizes and materials.

Methods. Numerical simulation. Calculations of temperature of dust particles according to their material, size, and distance from the star are based on the solutions of the equation of thermal balance with help of our computer programs written in C++. The theory of Mie for homogeneous spherical particles was used for the calculation of particles interaction with stars radiation.

Three types of silicates with different refractiive indices are selected to evaluate differences between substances with different absorption properties: r-obsidian, basalt and astrosilikate. P-Obsidian (poor-obsidian) with low fraction of iron is translucent volcanic glass weakly absorbing light. Basalt has middle absorption properties and astrosilikate – a synthetic substance with strong absorption properties.

Calculations of radiation pressure on the dust particles of different sizes for all species of silicates were made.

Field of application. The results may be useful when considering the evolution of stars, gas and dust disks.

Results and conclusions. Found that up to distances of 15-20 star radii, interstellar dust in the form of a cloud of particles cannot exist, because its heat by star radiation is very strong and temperature of grains above melting point of all silicates.

The dust temperature is different from the black body regime and highly dependent on particle size and material of which they are composed. Maximum temperature more than black body temperature have particles of intermediate sizes with radii approximately 0.03-0.1 μm .

Radiation pressure exerts a strong selective effect on the dust particles, as particle size and the type of material. Due to the predominance of radiation pressure over gravitational attraction silicate particles with radii from 0.02 μm to 1 μm leave the system the star β Pictoris, and mixed with the interstellar medium.

В. Г. ТЕЙФЕЛЬ, Г. А. ХАРИТОНОВА

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ЮПИТЕРЕ

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

В процессе спектральных наблюдений Юпитера представилась уникальная возможность исследования поглощения метана и аммиака у некоторых особых и редких локальных образований в облачном покрове планеты – так называемых «барж» – конвективных деталей, выделяющихся темно-коричневой окраской. При получении зональных ПЗС-спектрограмм во время сканирования диска Юпитера в октябре 2011 г были записаны спектры зоны северного полушария, где находились два таких образования на широте +16.2 градуса с долготами во 2 системе 220 и 256 градусов. Найдено, что в этих образованиях поглощение метана усилено по сравнению с окружающим облачным покровом, а поглощение аммиака ослаблено. Однако отличия эти от окружающих участков облачного покрова весьма незначительны. Усиление поглощения метана может говорить о пониженном уровне верхней границы «барж» и о меньшей плотности облачного слоя, что согласуется с данными инфракрасных измерений.

Введение. Видимый облачный покров Юпитера весьма неоднороден по альбедо и окраске. Темные коричневатые полосы, параллельные экватору, перемежаются со светлыми зонами. Причины таких различий в отражательных свойствах юпитерианских облаков пока до конца не выяснены, хотя очевидно, что в этом, так же как и в зональной циркуляции атмосферы Юпитера, проявляются динамические процессы конвективного переноса массы и тепла как в глобальном масштабе, так и в отдельных локальных участках атмосферы. В большинстве случаев локальные образования, наблюдаемые в облачном покрове планеты, имеют вихревую (циклоническую или антициклоническую) природу. Наиболее впечатляющим примером может служить Большое Красное Пятно (БКП -Great Red Spot) в южном полушарии Юпитера на широте около 25 градусов. Его поперечник достигает 30-40 тысяч километров, а период антициклонического вращения этого гигантского вихря составляет около 6 земных суток. Согласно Г.С.Голицыну [1] БКП должно представлять собой устойчивый долгоживущий вихрь в свободной атмосфере. Действительно, БКП наблюдается уже по крайней мере около 200 лет, оставаясь на одной и той же широте, но обнаруживая значительный дрейф по долготе, причем с переменной скоростью, но в основном в сторону увеличения его долготы, т.е. в направлении против вращения.

Наряду с БКП на Юпитере наблюдаются многочисленные вихревые образования значительно меньших размеров, например, так называемые белые овалы, появляющиеся в основном тоже в южном полушарии. В северном полушарии чаще наблюдаются мелкие коричневатые вихри. Самое любопытное состоит в том, что как раз симметрично Большому Красному Пятну в северном полушарии присутствует мощное струйное течение с большой скоростью, соперничающей с характерным для Юпитера экваториальным потоком [2, 3]. Во всяком случае, распределение разного рода вихревых образований явно демонстрирует различие динамических процессов в северном и южном полушариях Юпитера.

«Баржи». Среди относительно редких образований в облаках Юпитера обращают на себя так называемые «баржи (barges)» – небольшие, слегка вытянутые по долготе темно-коричневые пятна, кажущиеся самыми темными деталями на диске Юпитера (рис. 1). Чаще всего одно или два таких пятна появляются вблизи северного края Северного Экваториального Пояса (NEB), хотя иногда они могут наблюдаться и в южном полушарии. Частота их появления крайне низка, продолжительность существования - несколько недель. По долготе их протяженность может достигать 10-15 градусов, что соответствует линейному размеру до 18 тысяч километров. Меридиональный поперечник их не превосходит 2 градусов по широте.

Насыщенный коричневый цвет «барж» пока не получил окончательного объяснения, как и вообще природа окраски облаков на Юпитере. Дело в том, что кристаллы аммиака, из которых состоит верхний облачный слой, сами по себе бесцветны. Окраска должна быть связана с присутствием каких-то хромофоров, например, соединений серы, в частности, в этом может играть роль

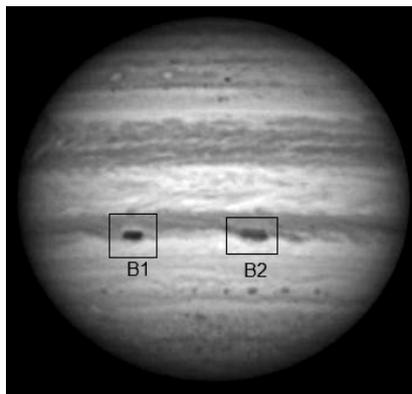


Рис. 1. Изображение Юпитера с двумя «баржами» B1 и B2 20 октября 2011 г. [4]. Долгота центрального меридиана CM L2 = 246 градусов. Спектральные наблюдения были выполнены именно при таком расположении «барж» относительно центрального меридиана в ночь с 21 на 22 октября 2011 г.

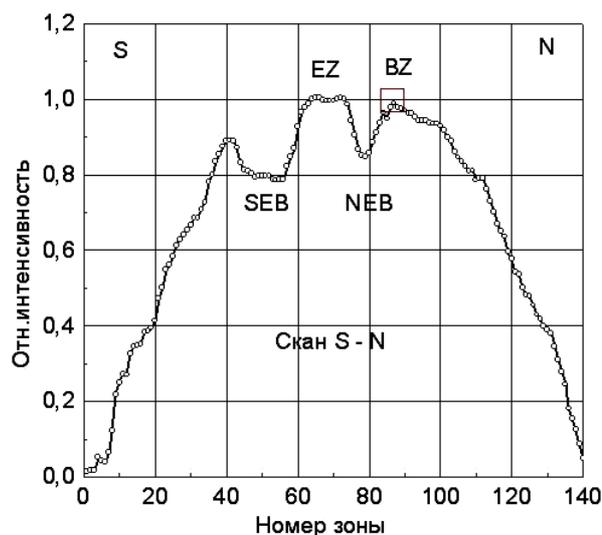
гидросульфид аммония NH_4SH . Он, как считается сейчас почти общепринятым, образует облачный слой на большей глубине. Это вещество, как раз, обладает коричневой окраской, так что при конвективных выносах его к поверхности облаков, состоящих из NH_3 , цвет облачных поясов или отдельных деталей может меняться. Другой, хотя и не альтернативный, механизм изменения окраски может быть обусловлен особой структурой ледяных частиц – окрашенное ядро с бесцветной ледяной оболочкой. В зависимости от температуры ее толщина может меняться, так что окрашенное ядро будет просвечивать сквозь оболочку в разной степени. С этой позиции темно-коричневые «баржи» должны состоять в наибольшей степени из NH_4SH или ядер иной природы, но без ледяной оболочки.

Методика наблюдений. В рамках программы спектральных наблюдений Юпитера регулярно применяются два способа получения цифровых ПЗС-спектрограмм планеты, а именно, съемка отдельных спектров при ориентации входной щели спектрографа вдоль центрального меридиана и съемка серии спектров при ориентации щели параллельно экватору. В последнем случае последовательные спектры обеспечивают полное сканирование диска Юпитера от южного полюса к северному за счет постепенного смещения изображения планеты на щели. Это дает возможность исследовать зональные спектры, характеризующие свойства отдельных широтных поясов Юпитера. Преимущество зональных спектрограмм состоит в том, что можно измерять и усреднять более широкую часть спектра в 20 и более пикселей благодаря тому, что вблизи центрального меридиана в долготном направлении поглощение практически не меняется, за исключением краевых областей. При измерениях же спектров центрального меридиана усреднение нельзя делать более чем по 10 пикселям без потери пространственного разрешения. Ширина спектрограммы центрального меридиана Юпитера при полярном угловом диаметре диска планеты около 45 сек дуги составляет около 180 пикселей. Значит, даже при усреднении по 5 пикселям можно измерить менее 40 зон. При сканировании с 20 секундными экспозициями получается до 120 и более зональных спектров. Теоретическое разрешение определяется шириной входной щели спектрографа 0.018 мм, чему в 7500 мм фокусе соответствует угловая ширина 0.5 сек дуги. Конечно, реальное разрешение может быть хуже из-за атмосферного дрожания, но все же зональная спектрофотометрия обеспечивает лучшее отношение сигнал/шум, что важно при измерениях полос поглощения в ближней инфракрасной области спектра, где чувствительность ПЗС-матрицы падает.

В ночь с 21 на 22 октября 2011 г. при зональном спектральном сканировании диска Юпитера представился уникальный случай – возможность получить спектрограммы для зоны, в которой находились две «баржи» с долготами во 2 системе вращения Юпитера 220 и 256 градусов.

Обе располагались на широте +16.2 градуса. Первая (B1) имела протяженность по долготе 7 градусов (8400 км), вторая (B2) 9 градусов (10 800 км). Ширина обеих по меридиану составляла около 2 градусов. Их изображения были видны на 5 последовательных зональных ПЗС-спектрограммах, так что измерения были выполнены как на спектрограмме зоны №87, так и по усреднению спектров зон №85-89 (рис. 2).

Рис. 2. Профиль относительной интенсивности на центральном меридиане Юпитера, построенный по всем зональным ПЗС-спектрограммам. BZ обозначает зоны, соответствующие широтному расположению наблюдавшихся «барж» в северном полушарии вблизи северного края пояса NEB



Представляло интерес выявить возможные различия в интенсивности молекулярных полос поглощения в «баржах» по сравнению с соседними участками этой же зоны.

Результаты измерений. Компьютерная фотометрическая обработка спектрограмм выполнялась тремя способами: определением эквивалентных ширин и глубин полос поглощения, сравнением отношений спектров «барж» и соседних областей к спектру зоны на центральном меридиане и путем вычисления поперечных профилей спектрограмм в полосах поглощения и в непрерывном спектре. Последний способ позволял сравнить поглощение метана в сильной полосе CH_4 890 нм по отношению интенсивности в непрерывном спектре (С835нм) к интенсивности в центре этой полосы (М880 нм). Она находится на длинноволновом конце спектра и поэтому измерить ее контур и вычислить эквивалентную ширину уже невозможно. Но отношение профилей все же обнаруживает незначительное, но заметное усиление поглощения CH_4 в баржах как по усредненному спектру, так и по измерениям индивидуальной спектрограммы №87 (рис. 3).

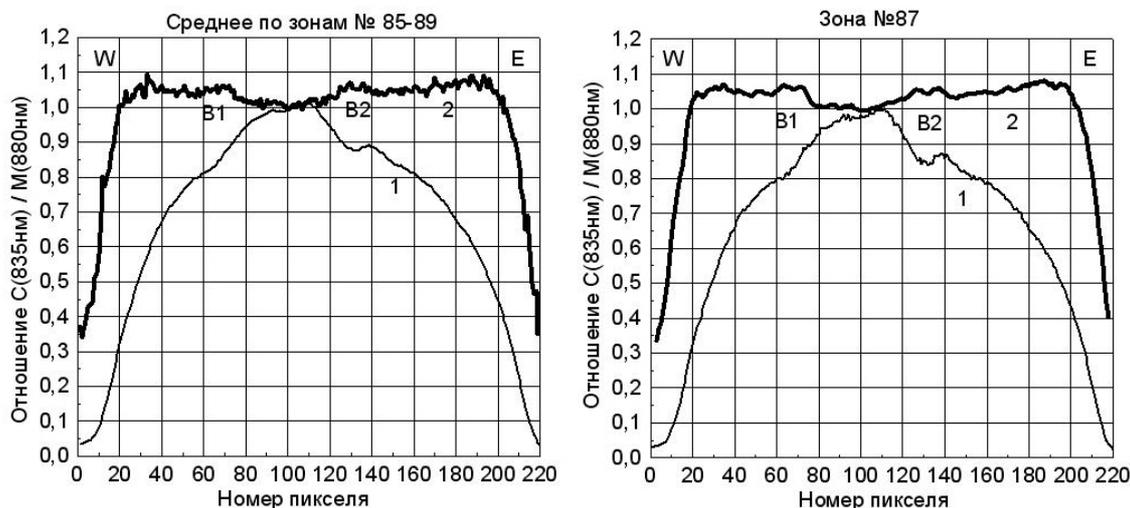


Рис. 3. 1 — ход яркости вдоль зоны с «баржами», 2 — ход величины отношения интенсивностей в непрерывном спектре (С835 нм) и в центре сильной полосы поглощения метана (М880 нм). Заметно увеличение поглощения в местах расположения «барж» B1 и B2

Для более коротковолновых и менее интенсивных полос поглощения измерялись эквивалентные ширины и их ход вдоль зоны с «баржами». Полоса CH_4 619 нм если и показывает усиление поглощения в «баржах», то оценить его трудно, так как оно теряется в «шумах» оценок для других участков зоны. Полоса средней интенсивности CH_4 725 нм (рис. 4, а) обнаруживает усиление в районах «барж», но более размытое по долготе по сравнению с полосой 890 нм.

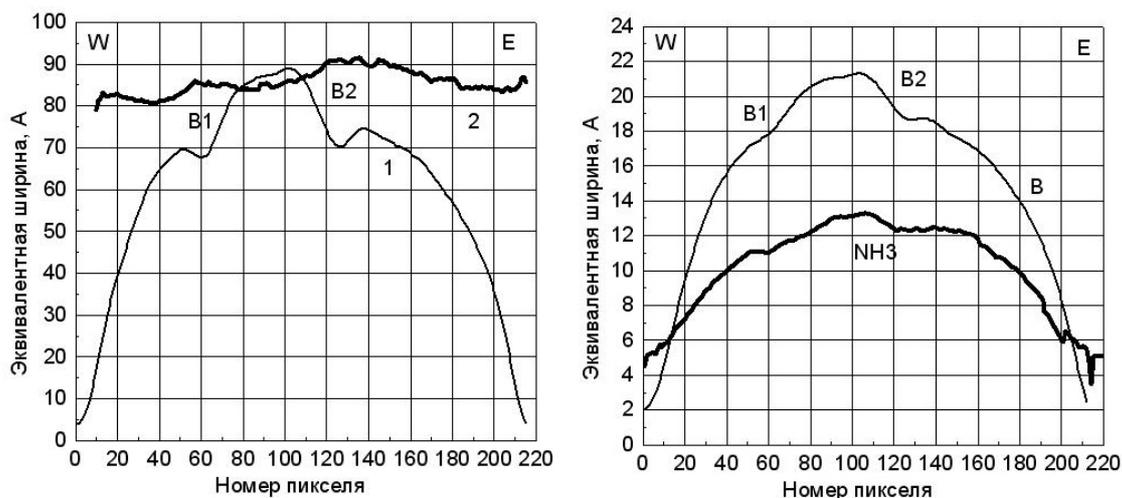


Рис. 4. Ход яркости и эквивалентных ширин полосы поглощения метана CH_4 725 нм (слева) и полосы поглощения аммиака NH_3 787 нм вдоль зоны с «баржами»

Поглощение аммиака в полосе NH_3 787 нм показывает некоторое ослабление в местах «барж», но крайне незначительное и также более размытое в долготном направлении. Оно почти не выходит за пределы возможных погрешностей измерений, в отличие от депрессии аммиачного поглощения, наблюдаемой в северном полушарии Юпитера [5].

В недавней публикации [6] были, по-видимому, впервые представлены измерения теплового инфракрасного излучения «барж» в южном полушарии Юпитера, что интересно, находящихся тоже на широте около 16 градусов. В длине волны 4.8 мкм яркость деталей на Юпитере определяется плотностью и прозрачностью облаков для инфракрасного теплового излучения, в отличие от других областей ИК-спектра, где основную роль в поглощении играет метан. Оказалось, что «баржи» имеют повышенную яркость в 4.8 мкм, что может указывать на меньшую оптическую толщину облака, связанную скорее всего с пониженной плотностью концентрации облачных частиц. Таким образом, и наши измерения полос поглощения метана и инфракрасные измерения приводят к одному заключению. Ввиду ограничения объема статьи более детальный анализ и обсуждение будут проведены в дальнейшем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 104 с.
2. Limaye S.S. Jupiter: short-term variations of the mean zonal flow at the cloud level // *Time-variable phenomena in the Jovian system.* – NASA, 1989. – P. 311-323.
3. Каримов А.М. Скорости и дисперсии скоростей зональных течений на Юпитере // *Изв. НАН РК. Серия физ.-мат.* – 2004. – № 4. – С. 120-123.
4. Poupeau J.-J. ALPO Japan, 20.10.2011- <http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/indexE.htm>
5. Теифель В.Г., Харитоновна Г.А., Каримов А.М. Особенности широтного хода аммиачного поглощения в полосе NH_3 7870 А на Юпитере // *Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат.* – 2006. – № 4. – С. 57-61.
6. Fletcher L. N., Orton G.S., et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt // *Icarus.* – 2011. – V. 213. – P. 564-580.

REFERENCES

1. Golitsyn G.S. Vvedenie v dinamiku planetnyh atmosfer. *Gidrometeoizdat, L., 1973, 104 S.*
2. Limaye S.S. Jupiter: short-term variations of the mean zonal flow at the cloud level.// *Time-variable phenomena in the Jovian system. NASA, 1989, P.311-323.*
3. Karimov A.M. Skorosti i dispersii skorostej zonal'nyh techenij na Jupitere. // *Izv.NAN RK, serija fiz.-math., N4, 2004, S.120-123*
4. Poupeau J.-J. *ALPO Japan, 20.10.2011*
5. Tejfel' V.G., Kharitonova G.A., Karimov A.M. Osobennosti shirotного hoda ammiachного pogloschenija v polose NH_3 7870 A na Jupitere. // *Izv. NAN RK ser. fiz.-mat. №4, 2006, S.57-61*
6. Fletcher L. N., Orton G.S., et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt // *Icarus, V. 213, 2011, P. 564-580*

В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова

ЮПИТЕРДЕГІ ЖЕРГІЛІКТІ
БҰЛТТЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯСЫ

Юпитерді спектралды бақылау үрдісінде зерттеудің сирек мүмкіндігі көрсетілді, метанмен аммиакты жұту бірқатар маңызды және сирек жергілікті құрылымдар планетаның бұлтты жамылғысында конвективті бөлшек «барж» қою қоңыр түспен айқындалған. Зоналді ПЗС-спектрограммасын алу кезінде 2011 ж. қазанда Юпитер дискісін сканерлеу уақытында солтүстік жарты шар спектр аймағы жазылды. Ол жерде екі осындай құрылым бар еді, кеңдікте +16.2 градуста 2жүйеде 220 және 256 градустық ұзақтықта.

Бұл құрылымдарда қоршаған бұлтты жамылғымен салыстырғанда, метанды жұту күштірек, ал аммиакты жұту бәсеңірек екендігі табылды. Алайда бұл айырмашылықтар бұлтты жамылғы қоршаған аумағынан аса көп емес. Метан жұтылуының күшеюі, «барждың» жоғарғы шегарасы төмендеген деңгейінде және инфрақызыл өлшемінің мәліметтерімен сәйкес келетін, бұлтты қабаттың тығыздығының аздығын білдіреді.

V. G. Tejfel, G. A. Kharitonova

THE SPECTROPHOTOMETRY
OF LOCAL FORMATIONS ON JUPITER

During the cycles of the spectral observations of Jupiter we had the unique opportunity to study the absorption of methane and ammonia in some special and rare local formations in the planet's cloud cover - so-called "barges" - dark-brown colored convective details. Upon receipt of zonal CCD-spectrograms while scanning the disk of Jupiter in October of 2011 there was recorded area of the northern hemisphere with two such details at latitude +16.2 degrees with longitudes in the system II 220 and 256 degrees. We found that these entities enhanced the absorption of methane in comparison with the surrounding cloud cover, and the absorption of ammonia slightly reduced. However, these differences from the surrounding areas of cloud cover are very low. Increased absorption of methane may indicate a reduced level of the upper boundaries of the "barge" and the lower density of the cloud layer, which is consistent with the data of infrared measurements.

В. Д. ВДОВИЧЕНКО, Г. А. КИРИЕНКО, В. Г. ТЕЙФЕЛЬ, Г. А. ХАРИТОНОВА

ДРАМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НА ЮПИТЕРЕ В 2009-2011 ГОДАХ

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

На основе многочисленных спектральных наблюдений Юпитера в 2009-2011 годах делается попытка объяснения процессов, происходящих в верхней атмосфере Юпитера в период осветления темной Южной Экваториальной Полосы (SEB). Приводится доказательство того, что это может быть связано с тем, что верхняя граница облачного покрова в районе SEB в 2010 году была заметно выше, чем в 2009 и 2011 годах. Подобный факт можно объяснить и более высокой плотностью рассеивающего аэрозоля, как результат дополнительной конденсации аммиака вследствие понижения температуры в районе SEB в 2010 г. Возможно, что оба эффекта действовали одновременно. В рамках простейших моделей атмосферы наблюдаемые вариации интенсивности полосы поглощения аммиака можно интерпретировать как вариации его содержания примерно на 35 %. Вариации эквивалентной ширины в полосе метана 725 нм также показывают уменьшение, примерно на 20 % содержания метана на луче зрения в этом облачном поясе в 2010 году по сравнению с 2009 и 2011 годами.

Одно из самых интересных и активных мест на Юпитере – это Южный Экваториальный Пояс (SEB). Он расположен на южных тропических широтах (7° - 17° S) и содержит на своей южной границе Большое Красное Пятно (GRS). Обычно - это темно-коричневая полоса, опоясывающая всю планету и находящаяся между двумя противоположными зональными потоками («джетами»): один (7° S) движется по отношению к экватору на восток, а другой (17° S), имеющий самую высокую скорость на планете, движется на запад. SEB является местом интенсивной конвективной активности и грозových штормов [1] и одним из немногих мест, где впервые наблюдались и были спектроскопически отождествлены аммиачные облака [2]. Однако в начале периода видимости в 2010 г. вид этой полосы был намного бледнее обычного. Это изменение наблюдали и профессионалы, и любители.

Такая «метаморфоза» происходила с SEB в пятый раз, считая с момента первой космической миссии к Юпитеру (Pioneer 10, 1973 г). Первые четыре – это 1972-1975 г., 1989-1990 г., 1992-1993 г., начало-конец 2007 г. Но подробнейшим образом, с привлечением современного оборудования, был исследован именно последний (2009-2011 г.) случай осветления SEB.

Суть происходящего события, основываясь на наблюдениях, можно коротко описать следующим образом. После прекращения турбулентной активности и конвективных движений в северо-западной области от GRS (7 - 17° S) в мае 2009 г, цвет SEB постепенно бледнел в течение месяцев. Этот процесс захватил южную компоненту SEB (SEBs, 15 - 17° S) к ноябрю 2009 г, оставляя пока его узкую северную часть (SEBn, 7 - 10° S), которая впоследствии также подвергалась осветлению в течение продолжительного времени. Максимальная стадия наступила в апреле 2010 г., когда альбедо всего пояса практически стало равным альбедо соседней экваториальной зоны. В продолжение этого необычного процесса GRS проявляло себя как находящийся в совершенно спокойном состоянии красный овал, окруженный белым аэрозодем.

Каждый из подобных циклов не повторяет другого. Они не происходят периодически, имеют разную длительность и отличаются своими особенностями. Например, цикл 2007 года закончился в конце 2007 г., образно говоря, не успев начаться. Однако в это время было явно зарегистрировано осветление участка SEB(образование «свежего» аммиачного облака), расположенного северо-западнее GRS [3]. Действительно, процесс осветления SEB начинается, как правило, с северо-запада от GRS, постепенно охватывая весь регион, а затем, через определенное время к SEB возвращается его прежний вид.

В общем случае подобный процесс может занимать 1-3 года, продолжаясь вплоть до периода возвращения SEB к прежнему виду, которое начинается с отдельных локальных возмущений (SEBD), имеющих вид раскрашенных в яркие и темные цвета пятен, возникающих по всему поясу. Эти пятна – места зарождающихся (или, в отдельных случаях, не прекращающих действовать)

конвективных потоков, идущих из глубинных слоев атмосферы. Число их со временем растет, они уплотняются и, в конечном счете, возвращают SEB его прежний коричневый цвет.

В связи с этим в лаборатории физики Луны и планет Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова была поставлена задача изучить особенности поведения полос поглощения метана и аммиака по диску Юпитера за периоды наблюдения 2009-2011 годы. Некоторые предварительные результаты были представлены в публикациях [4, 5], однако необычайность события требует их дальнейшего анализа.

Сложность данной задачи заключается в том, что в доступной нашим приборам ближней инфракрасной области спектра 0.6-1.1 мкм почти все полосы поглощения аммиака блендируются более сильными полосами поглощения метана. Относительно свободной остается полоса NH_3 в λ 645 нм, хотя она тоже попадает на коротковолновое крыло слабой полосы поглощения CH_4 .

На Сатурне, вследствие более низкой температуры, газообразный аммиак почти полностью вымерзает, и спектр центра диска Сатурна в этой области очень хорошо согласуется с лабораторным спектром метана. На Юпитере к спектру метана добавляется спектр газообразного аммиака, содержание которого варьируется по диску. Если взять отношение спектра центра диска Юпитера к лабораторному спектру метана или к спектру Сатурна, то мы можем выделить спектр аммиака в «чистом» виде.

На рис. 1 приведен профиль комбинированной полосы поглощения метана и аммиака в центре диска Сатурна и на Юпитере в области λ 770-815 нм. Центр полосы аммиака расположен на λ 790 нм. В полосе метана можно найти два участка, коэффициенты поглощения в которых совпадают с коэффициентом поглощения в λ 790 нм, и к тому же свободные от поглощения аммиаком. Это участки 780 и 803 нм. Если бы в спектре Юпитера отсутствовал аммиак, то все изменения интенсивности полосы поглощения по диску планеты в трех длинах волн (780, 790 и 803 нм) должны были бы вести себя совершенно синхронно.

Анализ нескольких сотен спектров центрального меридиана Юпитера показал, что, в отличие от участка в λ 790 нм, участки 780 и 803 нм действительно ведут себя совершенно синхронно. Следовательно, все различия в поведении интенсивности поглощения в λ 790 нм по диску Юпитера по отношению к участкам 780 и 803 нм можно отнести за счет вариаций относительного содержания аммиака по отношению к метану. В общей сложности было обработано около 500 спектров центрального меридиана Юпитера. Программа обработки написана на языке Delphi и позволяет в потоковом режиме обрабатывать большое число спектров за считанные минуты [6]. На рис. 2 приведен один из скриншотов программы.

В общей сложности исследовались вариации интенсивности полос поглощения метана в области спектра 619, 725, 790, 861 и 886 нм и двух полос аммиака в области 645 и 790 нм. Сразу следует отметить, что за период 2009-2011 г.г. наши спектральные измерения выявили сезонные вариации поглощения метана и аммиака не только в SEB, но и в других широтных облачных поясах и зонах, а также значительные их долготные вариации. Однако в данной статье мы приведем лишь наиболее характерные результаты, связанные именно с исчезновением SEB на Юпитере в период 2009-2011 гг.

На рис. 3, а представлены вариации эквивалентной ширины полосы поглощения аммиака в 645 нм вдоль центрального меридиана Юпитера для трех лет (2009-2011 г.). Хорошо видно, что в период исчезновения SEB содержание газообразного аммиака в этой области было меньше по сравнению с 2009 и 2011 годами. Аналогичным было и поведение эквивалентной ширины полосы поглощения метана в 725 нм (Рисунок 3б). Это можно рассматривать как свидетельство того, что верхняя граница облачного покрова в районе SEB в 2010 году была заметно выше, чем в 2009 и 2011 годах. Подобный факт можно объяснить и более высокой плотностью рассеивающего

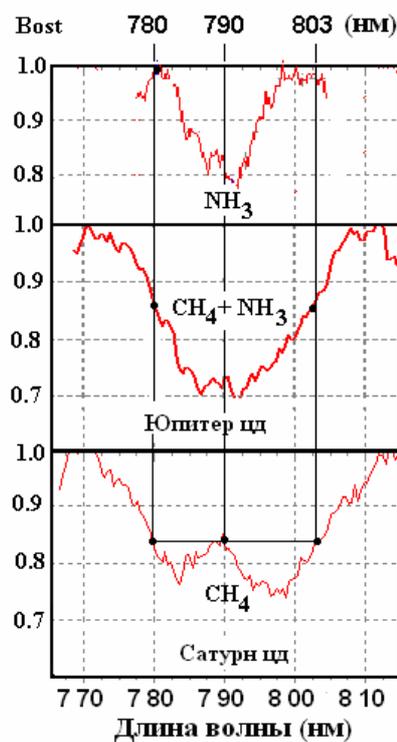


Рисунок 1. Пояснения в тексте

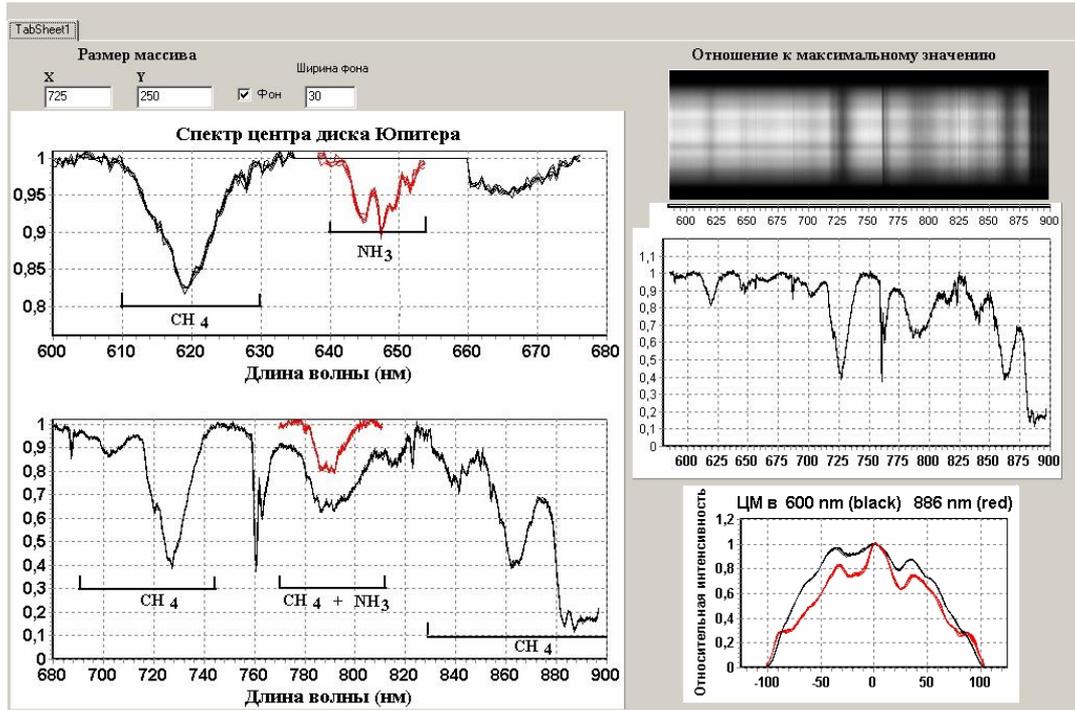


Рис. 2. Скриншот программы выявления вариаций аммиачного и метанового поглощения по диску Юпитера

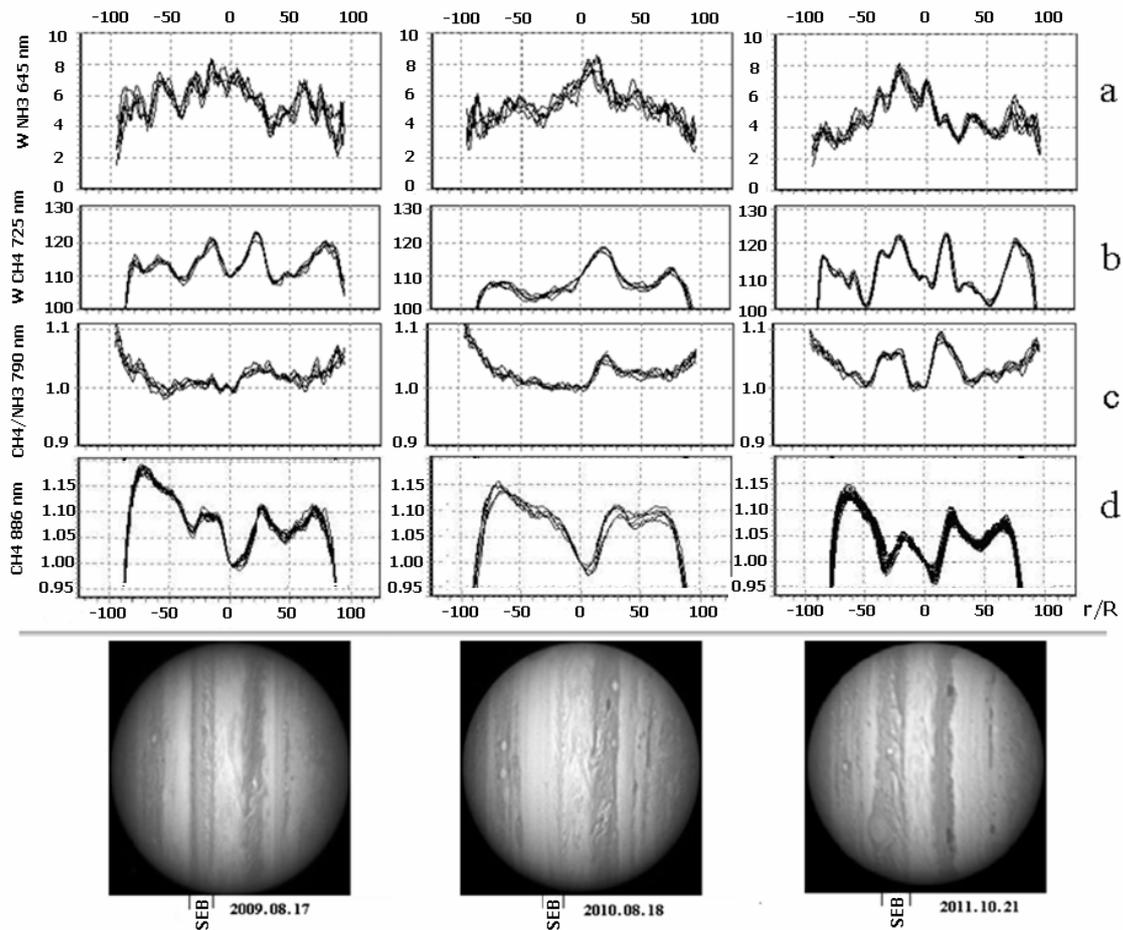


Рис. 3. Внешний вид Юпитера и широтные вариации аммиака и метана по диску планеты в периоды видимости 2009-2011 годы

аэрозоля в результате дополнительной конденсации аммиака вследствие понижения температуры в районе SEB в 2010 г. Возможно, что оба эффекта действовали одновременно. Однако широтный ход отношения содержаний метана и аммиака (CH_4/NH_3), полученный из наблюдений этих лет, свидетельствует о более интенсивном изменении содержания метана в рассматриваемый период по сравнению с таковым для аммиака. Следует подчеркнуть, что этот наблюдательный факт был характерен для всех поясов и зон Юпитера (рис. 3, с).

В рамках простейших моделей атмосферы полученные нами вариации интенсивности полосы поглощения аммиака можно интерпретировать как вариации его содержания в пределах $\sim 35\%$. Вариации эквивалентной ширины в полосе метана 725 нм также показывают уменьшение (на $\sim 20\%$) содержания метана на луче зрения в этом облачном поясе в 2010 году по сравнению с 2009 и 2011 годами.

Аналогичные выводы делаются и авторами работы [7]. Описанные ими ИК фотометрические наблюдения SEB в девяти длинах волн в интервале от 4.8 до 19.5 мкм, показали, что процесс осветления SEB в 2009-2010 годах происходил под влиянием падения температур в центре этого облачного образования и связанного с этим возникновением там конденсатного аммиачного облака. По мере падения температуры аэрозольная непрозрачность (оптическая толщина) облака росла вместе с его альбедо, достигнув, наконец, 80% от его первоначальной (в 2008 г.) величины. Зарегистрированное авторами [7] весьма ощутимое увеличение оптической толщи SEB в рассматриваемый период, обусловленное возникновением мощного аммиачного облака на высотах с давлением ~ 800 мб, могло повлечь за собой уменьшение концентрации газовой компоненты NH_3 в надоблачной атмосфере Юпитера. При этом авторы считают, что происходящие в тропосферных слоях процессы никак не сказались на характеристиках стратосферы. А именно - фотометрические измерения, например, в фильтрах с λ пропускания 7.9 и 12.27 мкм, зондирующих высокие слои атмосферы (при давлениях 5 и 6 мб, соответственно), не показали аномальных изменений температуры, состава атмосферы или оптической толщи на этих высотах.

Авторы делают вывод, что их фотометрических наблюдений для выявления тонких эффектов в поведении указанных малых примесей в атмосфере Юпитера было недостаточно, и полезны были бы спектроскопические измерения полос поглощения этих газов, в частности, аммиака - с целью обнаружения возможных изменений его концентрации.

Поэтому неудивительно, что их выводы находятся в некотором противоречии с результатами наших спектральных наблюдений в интенсивной полосе поглощения метана 886 нм, несущей информацию о самых верхних облачных слоях атмосферы Юпитера, включая и надоблачный слой (рис. 3, d). Эти результаты показывают, что основные, и довольно ощутимые, изменения интенсивности поглощения в самых верхних облачных слоях атмосферы Юпитера происходили на границах темных поясов и светлых зон облачного покрова планеты. Но обсуждение этого вопроса уже выходит за рамки объема данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baines K., Carlson R., Kamp L. Fresh ammonia ice clouds in Jupiter.1. Spectroscopic identification, spatial distribution, and dynamical implications // *Icarus*. – 2002. – V. 159, № 1. – P. 74-94.
2. Ingersoll A.P., Dowling T.E., Gierash P.J. et al. Dynamics of Jupiter's atmosphere. *Jupiter // Planet, Satellites Magnetosphere*. – 2004. – P. 105-128.
3. Baines K. H. et al. Polar lightning and decadal-scale cloud variability on Jupiter // *Science*. – 2007. – V. 318. – P. 226-228.
4. Тейфель В.Г., Бондаренко Н.Н., Каримов А.М., Харитонов Г.А., Кириенко Г.А., Синяева Н.В. Сравнение поведения молекулярных полос поглощения на Юпитере до и во время исчезновения южного экваториального пояса // *Известия НАН РК. Сер. физ.-мат.* – 2011. – № 4. С. 91-94.
5. Teifel V.G., Vdovichenko V.D., Bondarenko N.N., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Sinyaeva N.V. Comparative study of the molecular absorption bands behavior on Jupiter before and at the Southern Equatorial belt disappearance // 42-nd Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, TX. USA, 2011.
6. Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Синяева Н.В., Тейфель В.Г. Исследование вариаций молекулярного поглощения в атмосферах Юпитера и Сатурна. I. Методика экспресс-обработки и анализа зональных спектров // *Известия НАН РК. Серия физ.-мат.* – 2010. – № 4. – С. 92-96
7. Fletcher L.N., Orton G.S. et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt // *Icarus*. – 2011. – V. 213. – P. 564-580.

REFERENCES

1. Baines K., Carlson R., Kamp L. Fresh ammonia ice clouds in Jupiter. I. Spectroscopic identification, spatial distribution, and dynamical implications *Icarus* 2002. V.159, №1. P. 74-94.
2. Ingersoll A.P., Dowling T.E., Gierash P.J. et al. Dynamics of Jupiter's atmosphere. *Jupiter Planet, Satellites Magnetosphere* 2004. P. 105-128.
3. Baines K. H. et al. Polar lightning and decadal-scale cloud variability on Jupiter *Science* 2007. V. 318. P. 226-228.
4. Tejfel' V.G., Bondarenko N.N., Karimov A.M., Haritonova G.A., Kirienko G.A., Sinjaeva N.V. Sravnenie povedeniya molekulyarnykh polos pogloweniya na Jupiterе do i vo vremya ischeznoveniya juzhnogo jekvatorial'nogo pojasa *Izvestija NAN RK. Ser. fiz.-mat. №4*. 2011, S.91-94 (in Russ).
5. Tejfel' V.G., Vdovichenko V.D., Bondarenko N.N., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Sinyaeva N.V. Comparative study of the molecular absorption bands behavior on Jupiter before and at the Southern Equatorial belt disappearance 42-nd Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, TX. USA, 2011.
6. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Sinjaeva N.V., Tejfel' V.G. Issledovanie variacij mo-lekuljarnogo pogloweniya v atmosferah Jupitera i Saturna. I. Metodika jekspress-obrabotki i analiza zonal'nyh spektrov. *Izvestija NAN RK, serija fiz.-mat. №4*, 2010, S. 92-96 (in Russ).
7. Fletcher L.N., Orton G.S. et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt *Icarus* 2011, V. 213. P. 564-580.

В. Д. Вдовиченко, Г. А. Кириенко, В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова

2009–2011 ЖЫЛДАРДАҒЫ ЮПИТЕРДЕГІ ДРАМАЛЫҚ ОҚИҒАЛАР

2009–2011 жылдары Юпитер планетасына жүргізілген көп жылдық спектрлік бақылаулар негізінде қараңғы Оңтүстік Экваторлық Жолаққа (SEB) жарық түскен кезде, Юпитердің жоғарғы атмосферасында болатын үдерістерді түсіндіруге талпыныс жасалды. 2010 жылы SEB аумағындағы бұлтты жабылудың жоғарғы шегі, 2009–2011 жылдарға қарағанда біршама жоғары болған жағдайлармен байланысты дәлелдер келтірілген. Осы деректі температураның төмендеуі әсерінен аммиактың қосымша конденсациясы ретінде, бұдан жоғарғы тығыздықпен таралатын аэрозоль арқылы түсіндіруге болады. Екі жағдай да бір сәтте әрекет етуі мүмкін. Қарапайым атмосфера моделі аясында, аммиакты жұту қарқынды жолағының жиі бақыланып отыратын вариациясы, құрамында 35 % вариация бар деп түсіндіруге болады. Метан жолағында эквивалентті еттің вариациясы 725 нм болуы да, 2010 жылы осы бұлтты белдікте 2009–2011 жылдармен салыстырғанда көрінісін сәулелегі метанның құрамы шамамен 20 %-ға төмендегенін көрсетеді.

V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, V. G. Tejfel, G. A. Kharitonova

THE 2009-2011 DRAMATIC EVENTS ON JUPITER

An attempt of explanation the processes happening at the Jovian upper atmosphere during the 2009-2011 whitening of dark Jupiter's Equatorial Belt (SEB) is done from the spectral observations being carried out during this period. There are given the arguments for the fact that these processes might be caused by moving the cloud deck over SEB to the higher atmospheric levels in 2010 compared to the one in 2009 and 2011. They can be explained also a higher density of scattering aerosols in consequence of enhanced ammonia condensation while the cooling of the SEB in 2010. Perhaps, these effects influenced simultaneously. When proceeding from the simplest atmospheric models one can interpret observational variations of the ammonia absorption band intensity as change of gaseous ammonia abundance by ~ 35% (decreasing towards 2009). The variations of equalent widths of the 725 nm methane absorption band show the methane abundance (along a sight-line) increasing by ~ 20% in this cloud belt in 2010 compared to 2009 and 2011.

Т. Б. ОМАРОВ, В. А. ФИЛИППОВ, Н. Н. БОНДАРЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНЫХ СООТНОШЕНИЙ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ОБЛАЧНЫХ ЗОН И ПОЛОС В АТМОСФЕРЕ ЮПИТЕРА

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», НЦКИТ, г. Алматы

Представлено исследование общей циркуляции атмосферы Юпитера на основе изучения зон и полос его атмосферы. В качестве исходных данных были взяты цветные цифровые изображения Юпитера. Используемый метод отличался тем, что измерялись поперечные размеры не только полос, но и зон, и более широких объединений (несколько полос и зон вместе). Кроме того, измерялись их взаимные соотношения, и их изменения со временем. Эти измерения основаны на уникальных данных о Юпитере, поскольку они характеризуют эту планету, практически за каждые сутки. В частности получены данные о пульсирующем характере поступления энергии и масс газа в тропических полосах.

В настоящее время наиболее важным астрофизическим объектом является планета Юпитер. Это связано с тем, что химический состав и соотношение концентраций химических элементов между собой в атмосфере Юпитера такое же, как и в звёздных атмосферах [1, 2]. Есть и другие свойства и характеристики атмосферы Юпитера близкие к тем, что имеются в атмосферах звёзд. Поэтому, изучая атмосферу Юпитера, мы одновременно исследуем свойства и явления звёздных атмосфер и атмосфер планет, с учетом, конечно, принципиальных отличий.

Более того, как это ни парадоксально, часть важнейших исследований общей циркуляции атмосферы легче и проще провести в атмосфере Юпитера, чем в атмосфере Земли. На Земле используются геофизические ракеты для подкрашивания атмосферы. По этому подкрашенному облаку определяются динамические характеристики воздушных потоков в локальной области атмосферы Земли. На Юпитере же всегда четко выделяются красно-коричневые полосы и белые зоны.

Статья посвящена исследованию общей циркуляции атмосферы Юпитера. В частности, наиболее ярким и мощным ее проявлениям – зонам и полосам, особенно в экваториальных и тропических областях.

На видимой поверхности Юпитера всегда наблюдаются ряд тёмных полос и светлых зон, представляющих собой устойчивые облачные образования в атмосфере планеты. Положение, ширина, интенсивность и цвет этих полос и зон могут быть устойчивы на протяжении суток и недель, но не устойчивы в течение лет. Закономерности, а следовательно, и причины этих изменений ещё не установлены. Поэтому наблюдение полос и зон Юпитера и их анализ могут иметь большое значение, особенно если они проводятся систематически [1, 2].

Целью работы является выявление закономерности в соотношении поперечных размеров зон и полос между собой. Таким образом, первоначальной задачей являлось определение соотношений средних поперечных размеров зон и полос атмосферы Юпитера относительно друг друга, и их изменения со временем.

В качестве исходных данных были взяты цветные цифровые изображения Юпитера, полученные преимущественно на астрономических обсерваториях Южного полушария (Южная Африка, Австралия) и в тропической зоне (Филиппины) Северного полушария Земли.

Всего было использовано свыше 400 фотографий. Для построения графиков были отобраны самые четкие фотографии, на которых производились измерения поперечных размеров зон и полос атмосферы Юпитера. Изменялись как отдельные зоны и полосы, так и общее поперечное сечение некоторых зон и полос вместе. Для измерений использовалась специальная компьютерная программа для определения координат и расстояний (Win JUPOS). На графиках наносились данные, по возможности, через сутки за период с 16 марта по 1 августа 2009 года.

В это время самой широкой была экваториальная зона (EZ). Рядом, по обе стороны от нее, располагались южная тропическая полоса (SEB) и северная тропическая полоса (NEB). Эти полосы тоже отличались шириной и контрастностью, подчёркивая интенсивность происходящих процессов в этой части атмосферы Юпитера.

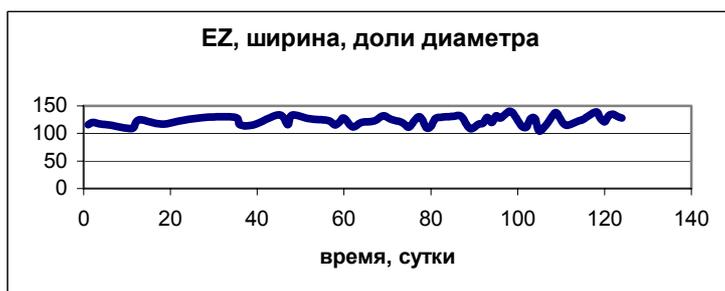


Рис. 1. Изменение со временем общих поперечных размеров зоны и полос

На рис. 1 представлена общая ширина этих полос и зоны EZ. Здесь по горизонтальной оси отложено время в сутках, а по вертикальной – значения общих поперечных размеров полос SEB и NEB, и зоны EZ в тысячных долях от диаметра, проходящего через полюса, Юпитера. Можно заметить, что эта общая полоса ($SEB+EZ+NEB = SEN$), которая является самой активной в атмосфере, составляет около 30% от диаметра Юпитера, и мало отклоняется от этой величины, имея небольшую тенденцию к ее уменьшению. На рис. 2 представлена экваториальная зона EZ, также выраженная в тысячных долях диаметра Юпитера. Можно заметить, что ее ширина колеблется между 10 и 15% от диаметра Юпитера, и имеет тенденцию к небольшому увеличению ее ширины за исследуемый период.

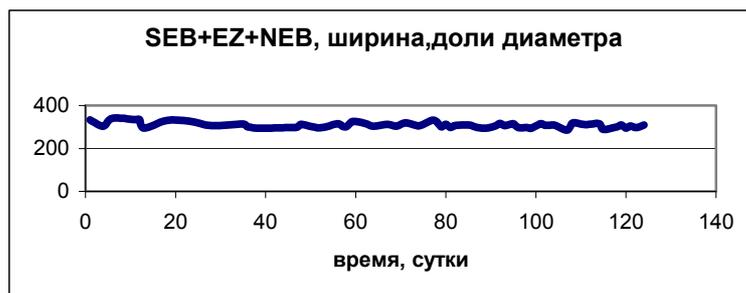


Рис. 2. Изменение со временем поперечных размеров экваториальной зоны (EZ)

На рис. 3 показаны более точные данные о соотношении ширины экваториальной зоны к общей ширине всей зоны SEN. Эти данные представленные на графике в несколько раз точнее предыдущих, поскольку измерение диаметра Юпитера имеет, существенно, большую ошибку, чем измерение ширины полос и экваториальной зоны.

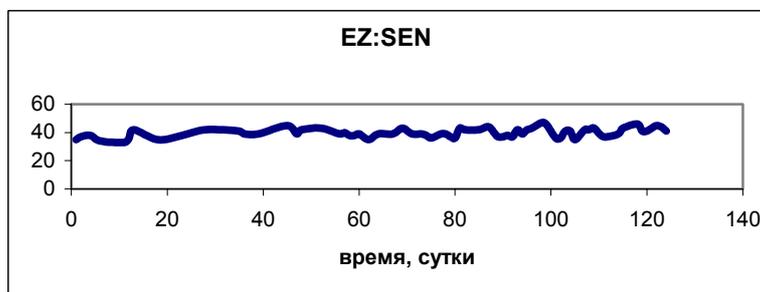


Рис. 3. Изменение со временем поперечных размеров зоны EZ относительно ($SEB+EZ+NEB=SEN$)

Сравнивая рис. 2 и 3, можно заметить, что они синхронны, несколько отличаются только амплитуды возмущений на них. Это говорит о том, что SEN, достаточно стационарное образование, сравнимое по своей стабильности с постоянством диаметра Юпитера. Синхронизация этих

графики подчёркивает высокую точность измерений, поскольку отдельные небольшие колебания измеряемого параметра не являются следствием ошибки.

На рис. 3 видно, что экваториальная зона превышает 30%, приближаясь со временем к 50% от общей зоны SEN. Здесь более заметен тренд по увеличению ширины EZ относительно ширины SEN со временем.

Можно заметить, что на фоне стационарных процессов, на рис. 4 заметны отдельные, сравнительно кратковременные, возмущения (1-10 суток). Это может говорить, о пульсирующем характере поступления энергии и масс газа в тропических полосах.

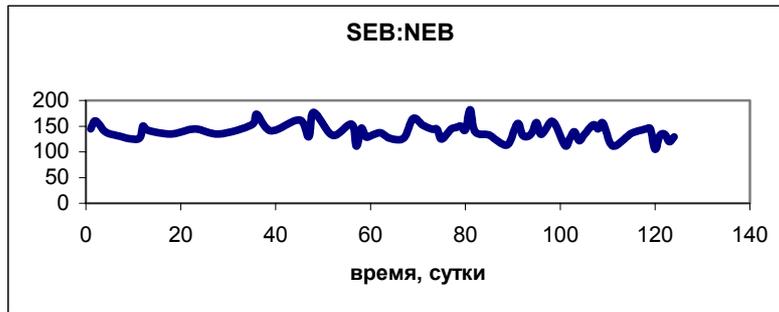


Рис. 4. Изменение со временем поперечных размеров SEB, выраженных через поперечные размеры NEB в процентах

В южной тропической полосе отчётливо заметны кратковременные возмущения пульсирующего характера, которые затем уменьшаются и обнаруживаются уже в северной тропической полосе. Возможно, под слоем облаков экваториальной зоны, южная и северная тропические полосы существуют как одно целое. Поэтому энергия легко передаётся с южной полосы в северную. Это подтверждается тем, что существуют периоды, когда отсутствует экваториальная зона, а на ее месте находятся, сливаясь, обе тропические полосы [2].

В последнее время все большей популярностью пользуются аналитические методы обработки информации, к которым можно отнести и информационно-энтропийный анализ временных рядов. В середине 50-х годов А. Н. Колмогоров ввел принципиально новый (неспектральный) инвариант – метрическую энтропию динамической системы, после этого в эргодической теории возникло новое направление – энтропийная теория динамических систем. Энтропия дает некоторую среднюю характеристику скорости перемешивания множества малой меры. Применим информационно-энтропийный анализ к изменению со временем общих поперечных размеров зоны и полос. Каждый график представим как временной ряд и найдем энтропию этого ряда. Для этого разобьем все пространство графика на ячейки размером $d \approx 1/N$, где N – количество точек графика = 65 (в наших расчетах величина $d = 0.02$, что близко к значению $1/65$) и будем подсчитывать вероятность p_i попадания точек графика для каждой ячейки.

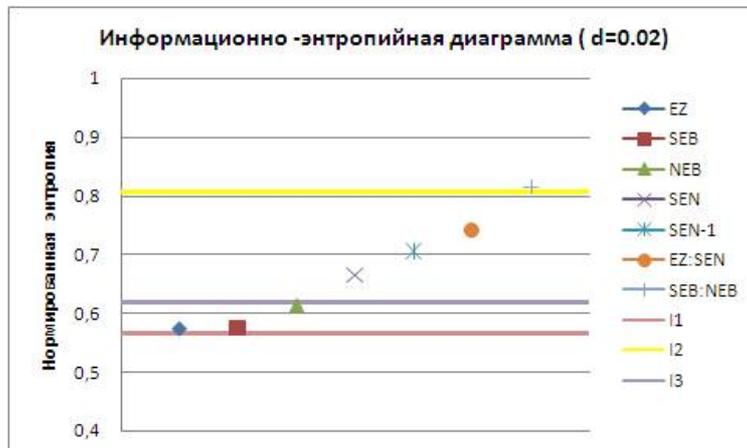


Рис. 5. Информационно-энтропийная диаграмма

Из рис. 5 видно, что все исследуемые временные ряды попадают в область самоорганизации. Это является подтверждением того, что изучаемые период относится к «стационарному» виду Юпитера (т.е. присутствию обоих темных поясов и светлой центральной зоны). Также интерес представляет тот факт, что отдельные измерения EZ, SEB, и NEB попадают в область самоаффинности, а все остальные – в область самоподобия, что выделяет именно эти измерения из всех.

Таким образом, представлен общий подход к исследованию зон и полос атмосферы Юпитера, который скорее иллюстрирует новые возможности, чем готовые результаты. Этот метод отличается тем, что измеряются поперечные размеры не только полос, но и зон, и более широких объединений (несколько полос и зон вместе). Кроме того, измеряются их взаимные соотношения, и их изменения со временем [2, 3]. Эти измерения основаны на уникальных данных о Юпитере, поскольку они характеризуют эту планету, практически за каждые сутки. В таком виде задача решается впервые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.
2. Тейфель В.Г. Атмосфера планеты Юпитер. – М.: Наука, 1969. – 184 с.
3. Смит Б., Хант Дж. Движение и морфология облаков в атмосфере Юпитера // Юпитер. Т. II. – М.: Мир, 1979. – С. 433-459.

REFERENCES

1. *Khononovich E.V., Moroz V.I.* Obshij kurs astronomii. M. **2004**. 544. (in Russ.).
2. *Teifel V.G.* Atmosfera planety Jupiter. M.: Nauka, **1969**. 184. (in Russ.).
3. *Smit B., Hant D.* Jupiter, T.2. M.: Mir. **1979**, 433-459 (in Russ.).

Т. Б. Омаров, В. А. Филиппов, Н. Н. Бондаренко

ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫНДАҒЫ КӨЛДЕНЕҢ КӨЛЕМДЕГІ ТОЛҚЫНДЫ АЙМАҚТАР МЕН ЖОЛАҚТАРДЫҢ АРАСЫНДАҒЫ ӨЗАРА ҚАТЫНАСТЫ ЗЕРТТЕУ

Юпитер атмосферасының жалпы айналып жүруін зерттеу, оның атмосферасындағы аймақтар мен жолақтарды зерттеу негізінде ұсынылып отыр. Бастапқы деректер ретінде, Юпитердің түрлі-түсті сандық суреттері алынды. Қолданылып отырған әдіс тек жолақтардың көлденең көлемі ғана өлшеніп қоймай, сондай-ақ біршама кең біріктірілген аймақтарына (бірнеше жолақ және аймақтарды біріктіріп) өлшеу жүргізілуімен ерекшеленеді. Сонымен қатар олардың өзара қатынасы мен уақыт аралығындағы өзгерістері бойынша да өлшеу жүргізілді. Аталған өлшеулер Юпитер туралы ерекше деректерге негізделген, өйткені олар әр тәулік бойы осы планетаны сипаттап көрсетіп отырады. Атап айтқанда, тропикалық жолақтарда газдың энергиясы мен массасы діріл қаққан сипатта түсетіні туралы деректер алынып отыр.

Т. Б. Omarov, V. A. Filippov, N. N. Bondarenko

INVESTIGATION OF TRANSVERSE SIZES RECIPROCAL RELATIONS OF CLOUD ZONES AND BELTS IN JOVIAN ATMOSPHERE

The study describes general circulation of Jupiter's atmosphere on the basis of analysis of its zones and belts. As initial data colored digital images of Jupiter were used. The used method is characterized by that not only crossing sizes of zones were measured but also of belts and of more wide range of unifications (several belts and zones together). Besides that their mutual correspondences were measured and their change in time. These measurements are based on unique data on Jupiter as they characterize the planet practically for every 24-hours time. In particular the study shows pulsating character of energy and mass inflow in tropical belts.

Н. Н. БОНДАРЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ
АММИАКА NH₃ 787 НМ В АТМОСФЕРЕ ЮПИТЕРА**

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

В последние годы программа спектрофотометрических исследований Юпитера включает в себя измерения аммиачного поглощения NH₃ в полосе 787 нм. Эта полоса блендируется более интенсивной полосой поглощения метана CH₄. Для выделения полосы аммиака NH₃ мы использовали отношение спектра Юпитера к спектру экваториального региона Сатурна. Было принято во внимание, что аммиачное поглощение на Сатурне значительно слабее, чем на Юпитере. Были проанализированы результаты обработки спектрограмм за период с 2007 по 2011 г. Широтные вариации аммиачной полосы NH₃ выявили депрессию поглощения в нижних и умеренных широтах северного полушария Юпитера. Эквивалентная ширина уменьшается примерно с 18-16 Å до 14-12 Å. Для экваториального пояса Юпитера был получен более или менее симметричный ход поглощения и резкое уменьшение поглощения при переходе от центра диска к краям. Это можно рассматривать как доказательство реальности существования широтной депрессии и отсутствия инструментальных ошибок. Следует отметить, что уменьшение количества аммиака в северном полушарии также было обнаружено по радионаблюдениям Юпитера.

Введение. Полосы поглощения аммиака в атмосфере Юпитера гораздо менее интенсивны, чем полосы метана, кроме того, большинство аммиачных полос перекрывается полосами поглощения метана, что усложняет исследование хода аммиачного поглощения по диску. Содержание газообразного аммиака в атмосфере должно испытывать пространственно-временные вариации, так как, в отличие от метана, который присутствует только в газообразной фазе, аммиак замерзает при температурах, характерных для видимого облачного покрова, в основном и состоящего из аммиачных кристаллов.

Ранее было выявлено различие в широтном ходе поглощения аммиака по диску Юпитера на основе: оптических наблюдений с КА Вояджер-1 [1] и космического телескопа Хаббл [2], а также по радиоастрономическим наблюдениям [3-5]. По этим данным концентрация аммиака в низких и умеренных широтах северного полушария Юпитера несколько понижена. Хотя существует большое количество публикаций, посвященных изучению аммиака в атмосфере Юпитера, пространственно-временные вариации остаются мало изученными. Полоса поглощения аммиака 787 нм в спектре Юпитера ранее почти не исследовалась, проводились только ее лабораторные измерения (Bowles N. [6]).

Настоящая работа является продолжением исследований хода поглощения аммиака в полосе 787 нм для выявления ее широтно-долготных вариаций.

Наблюдения. Наблюдения выполнялись сотрудниками лаборатории физики Луны и планет Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова на 0.6-м телескопе РЦ-600 с помощью дифракционного спектрографа SGS производства компании SBIG (США) с ПЗС-камерой ST-7XE.

Запись спектрограмм на компьютер осуществлялась сериями по 10-30 спектрограмм в автоматическом режиме. Кроме записи спектров при ориентации входной щели спектрографа вдоль центрального меридиана Юпитера получен ряд серий зональных спектров-сканов – при последовательном перемещении изображения диска Юпитера на щели, ориентированной параллельно экватору. Таким способом были записаны спектры всех зон диска от северной полярной области до южной. Для данного исследования это оказалось весьма полезным в качестве независимого контроля полученных результатов, относящихся к полосе NH₃ 787 нм.

Сезон наблюдений 2010 г. был примечателен тем, что стала практически невидимой в непрерывном спектре обычно темная и широкая южная экваториальная полоса облаков SEB, хотя в полосе поглощения метана 887 нм её видимость не изменилась. Похожая картина наблюдалась в 1989 г. и ранее, хотя такое «исчезновение» SEB все же довольно редкое событие.

Методика обработки спектрограмм. Полоса поглощения аммиака 787 нм находится внутри более интенсивной и широкой абсорбционной полосы метана, простирающейся от 765 до 825 нм. Как видно при сравнении спектров Юпитера и Сатурна (рис. 1), именно аммиачное поглощение создает различие в профиле полосы.

Алгоритм обработки состоял из двух частей: первоначальной обработке спектрограмм в программе CCDOPS и последующей их обработке по специально составленной программе в системе электронных таблиц EXCEL.

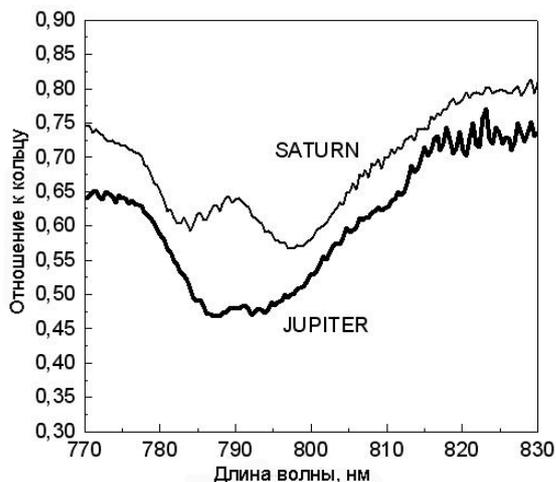


Рис. 1. Сравнение спектров Юпитера и Сатурна в области полосы $\text{CH}_4 + \text{NH}_3$ 787 нм

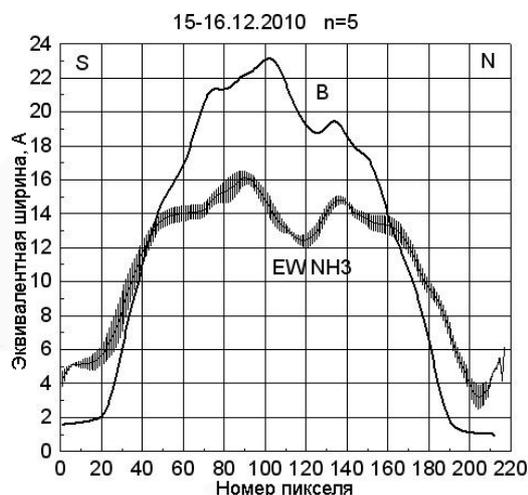


Рис. 2. Ход поглощения аммиака, усредненный по нескольким спектрам. Кривая В – ход яркости вдоль ЦМ Юпитера

На первоначальном этапе как меридиональные, так и зональные спектрограммы усреднялись по 5 и дальнейшая обработка производилась по усредненному спектру. Для проверки по обработке отдельных спектрограмм было найдено, что с погрешностью не более 14% усредненный спектр дает тоже, что и индивидуальный (рис. 2).

В качестве опорного спектра для выделения полосы аммиака 787 нм из блендирующей ее полосы метана использовался спектр центра диска Сатурна, в котором аммиачное поглощение в изучаемой области спектра практически отсутствует. Так как в данной работе исследуется поведение полосы поглощения аммиака в разных участках диска Юпитера, в качестве спектра сравнения использовался один и тот же спектр Сатурна для всех спектров Юпитера. Следующим шагом было определение для разных участков центрального меридиана или экватора планеты эквивалентной ширины полосы поглощения

$$EW = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (I - I_{\lambda} / I_c) * \Delta\lambda ,$$

где I_{λ} и I_c – интенсивности внутри полосы и в интерполированном на полосу непрерывном спектре, $\Delta\lambda$ – шаг интегрирования (один пиксель в ангстремах – 4.3 А). Пределы интегрирования λ_1 и λ_2 соответствуют краям полосы поглощения.

Как результат работы программы выводится график, на котором представлен профиль полосы поглощения аммиака 787 нм и профиль яркости в непрерывном спектре 680 нм.

Таким образом, были обработаны все спектрограммы за нынешний сезон наблюдений, получены графики, на основе которых сделаны некоторые выводы.

Результаты и выводы. Обработка многочисленных спектрограмм, полученных в этом сезоне наблюдений, дает практически один и тот же результат: наблюдается депрессия полосы поглощения аммиака NH_3 787 нм в северном полушарии Юпитера, причем в пределах одной серии спектров разброс оценок эквивалентных ширин очень мал (около 6%). От серии к серии получались некоторые вариации, которые частично обусловлены меняющимся из-за атмосферной Турбулентности качеством изображений, но в основном, скорее всего, долготными различиями, поскольку облачные пояса Юпитера обладают значительной неоднородностью в альbedo и структуре облачных деталей. За время съемки даже одной серии спектрограмм Юпитер успевает повернуться примерно на 2 градуса. Кроме того, в процессе съемки спектрограмм изображение из-за атмосферного дрожания щель немного «гуляет» на щели спектрографа по, что также сказывается на точности.

Как уже упоминалось выше, для дополнительной проверки, а также для подтверждения того, что выявленный эффект депрессии аммиачного поглощения не является инструментальной ошибкой, были выполнены дополнительные наблюдения, состоявшие в записи спектров отдельных зон Юпитера путем сканирования диска щелью, установленной параллельно экватору планеты. Как видно из рис. 3, данные последовательного сканирования приводят к тому же результату, что и спектрограммы центрального меридиана: депрессия полосы NH_3 787 нм проявляется в обоих случаях.

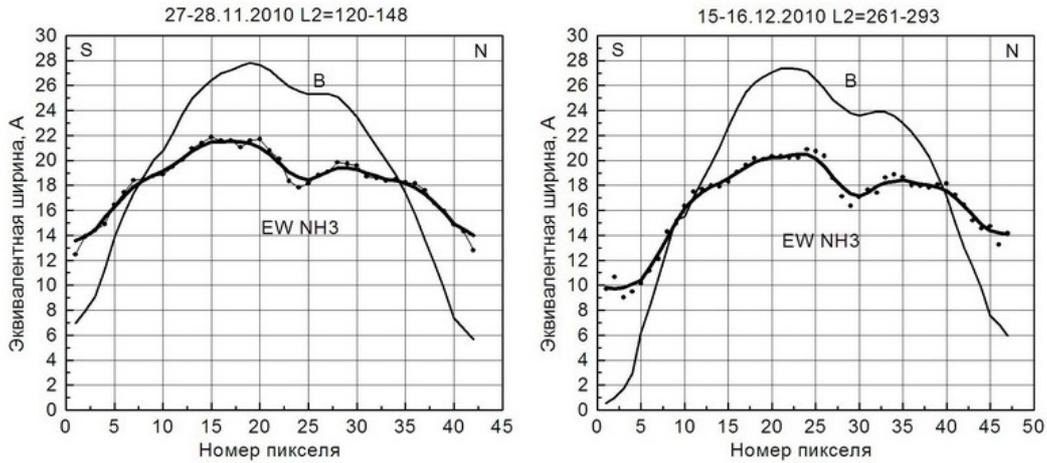


Рис. 3. Ход аммиачного поглощения в полосе 787 нм по сканирующим спектрам

На рис. 4 представлен ход поглощения аммиака по обработке нескольких спектров экваториального пояса Юпитера. Отсутствие здесь характерного для меридиональных спектров «провала» в ходе поглощения, показывает, что наблюдаемая депрессия поглощения NH_3 в северном полушарии Юпитера не является результатом каких-либо инструментальных ошибок.

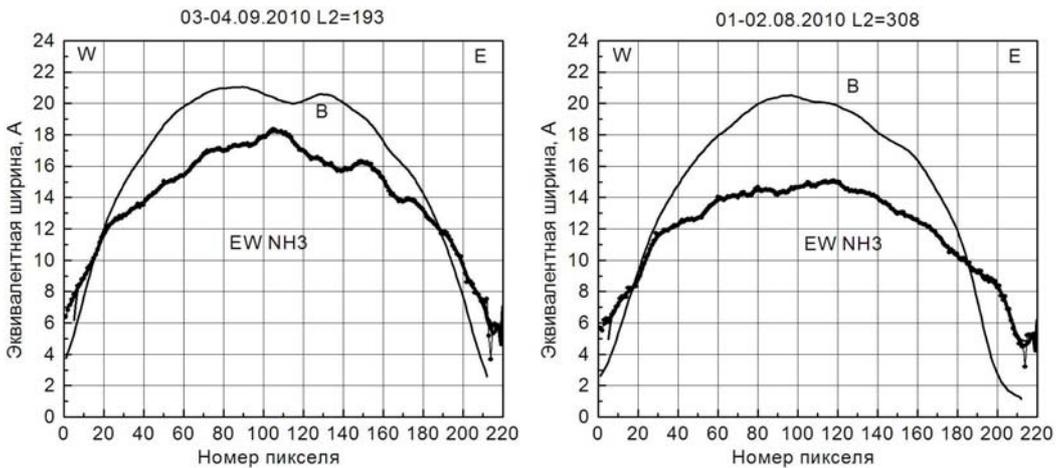


Рис. 4. Ход полосы поглощения аммиака 787 нм вдоль экватора Юпитера

На рис. 5 представлен ход поглощения аммиака в 2008 г. и в 2010 г. Хотя в 2010 г. произошли значительные изменения в зональной структуре облачных поясов Юпитера – исчезла темная облачная полоса SEB, однако на общем ходе аммиачного поглощения это принципиальным образом не отразилось – депрессия по-прежнему наблюдалась в северном полушарии Юпитера.

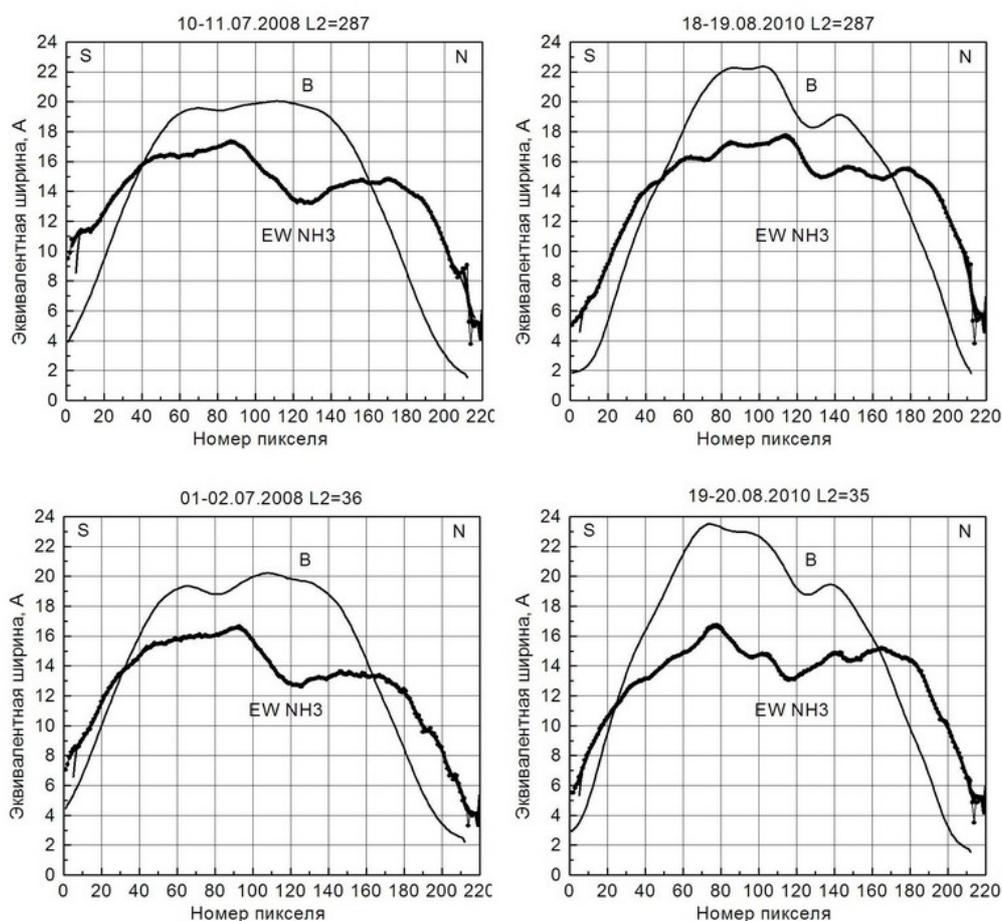


Рис. 5. Сравнение хода аммиачного поглощения в 2008 г (слева) и в 2010 г. (справа)

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что в атмосфере Юпитера существуют долго-широтные вариации поглощения аммиака. Этот результат находится в хорошем согласии с исследованиями предшествующих лет [7-9]. Работа в данном направлении продолжается. Необходимы дальнейшие исследования атмосферы Юпитера для получения временного хода аммиачного поглощения, а также для выяснения причин депрессии аммиачного поглощения в северном полушарии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gierasch P.J., Conrath B.J., Magalhaes J.A. Zonal mean properties of Jupiter's upper troposphere from voyager infrared observations // *Icarus*. – 1986. – V. 67. – P. 456-483.
2. Edgington S.G., Atreya S.K., Trafton L.M., Caldwell J.J., Beebe R.F., Simon A.A., West R.A., Barnet C. On the Latitude Variation of Ammonia, Acetylene, and Phosphine Altitude profiles on Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations // *Icarus*. – 1998. – V. 133. – P. 192-209.
3. Sault R.J., Chermelle E., de Pater I. Longitude-resolved imaging of Jupiter at $\lambda = 2$ cm // *Icarus*. – 2004. – V. 168. – P. 336-343.
4. Showman A.P., de Pater I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance // *Icarus*. – 2005. – V. 174. – P. 192-204.
5. de Pater I, Dunn D., Romani Paul, Zahnle K. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter // *Icarus*. – 2001. – V. 149. – P. 66-78.
6. Bowles N., Calcutta S., Irwina P., Templea J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μm to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter // *Icarus*. – 2008. – V. 196, I. 2. – P. 612-624. – *Mars Polar Science IV*.
7. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinyaeva N.V., Karimov A.M. Spatially resolved variations in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2005. – Vol. 24, N 4. – P. 359-367

8. Тейфель В.Г., Харитоновна Г.А., Каримов А.М. Особенности широтного хода аммиачного поглощения в полосе NH₃ 7870 А на Юпитере // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2006. – № 4. – С. 57-61.

9. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Comparative morphology of molecular absorption on the discs of Jupiter and Saturn // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2003. – Vol. 22(2). P. 135-144.

REFERENCES

1. P.J. Gierasch, B.J. Conrath and J.A. Magalhaes, Zonal mean properties of Jupiter's upper troposphere from voyager infrared observations, *Icarus*, **1986**, V. 67, P. 456-483.

2. S.G. Edgington, S.K. Atreya, L.M. Trafton, J.J. Caldwell, R.F. Beebe, A.A. Simon, R.A. West and C. Barnet, On the Latitude Variation of Ammonia, Acetylene, and Phosphine Altitude profiles on Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations, *Icarus*, **1998**, V. 133, P. 192-209.

3. R.J. Sault, E. Chermelle and I. de Pater, Longitude-resolved imaging of Jupiter at $\lambda=2$ cm, *Icarus*, **2004**, V. 168, P. 336-343.

4. A.P. Showman and I. de Pater, Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance, *Icarus*, **2005**, V. 174, P. 192-204.

5. de Pater I, D. Dunn, Paul Romani, K. Zahnle, Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter, *Icarus*, **2001**, V. 149, P. 66-78.

6. N. Bowles, S. Calcutta, P. Irwina, J. Templea, Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μm to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter, *Icarus* V.196, I. 2, **2008**, P. 612-624, Mars Polar Science IV

7. V. G. Tejfel, V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, G. A. Kharitonova, N. V. Sinyaeva and A. M. Karimov, Spatially resolved variations in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 24, No. 4, **2005**, 359–367

8. V.G Tejfel'. G.A. Kharitonova, A.M.Karimov. Osobennosti shirotnogo hoda ammiachnogo pogloscheniya v polose NH₃ 7870 A на Юпитере, *Izv. NAN RK ser. fiz.-mat.* №4, **2006**, S.57-61, (in Russ.).

9. V. G. Tejfel, V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, G. A. Kharitonova, Comparative morphology of molecular absorption on the discs of Jupiter and Saturn, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 22(2), **2003**, pp. 135–144.

H. H. Bondarenko

ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫНДА АММИАК NH₃ 787НМ ЖҰТУ ЖОЛАҚТАРЫ ТҮРЛЕНУІНІҢ ЗЕРТТЕУІ

Соңғы жылдары Юпитерді спекрофотометрлік зерттеу бағдарламасы 787нм жолағында NH₃ аммиакты жұту өлшеміне назар аударған. Бұл жолақ CH₄ метан жұту жолағымен аса қарқынды араласады. Аммиак NH₃ жолағын бөлу үшін біз Юпитер спектрінің Сатурн экваторлы аймағының спекторына арақатынасын пайдаландық. Сатурнда аммиакты жұту Юпитерге қарағанда анағұрлым әлсіз екендігі назарға алынды. 2007–2011 жылдар аралығындағы спектрограмманың қайта өңделу нәтижелері талқыланды. Аммиакты жолақ NH₃ кеңдік вариациясы Юпитердің солтүстік жартышарының төменгі және қалыпты кеңдігінде жұту күйзелісін анықтады. Эквиваленттік ұзындық шамамен 18-16 А-дан 14-12 А-ға кішірейеді. Юпитердің экваториалды белдігі үшін жұтудың симметриялық жолы, жұтудың дисктің ортасынан жиегіне өтуінен бірден төмендеуі алынды. Бұны кеңдік күйзелісінің нақты бар екендігін және инструменталды кателіктердің жоқ екендігіне дәлелдеме ретінде қарастыруға болады. Солтүстік жартышарда аммиак санының төмендегенін белгілеуге болады.

N. N. Bondarenko

THE STUDY OF THE AMMONIA NH₃ 787nm ABSORPTION BAND IN JUPITER'S ATMOSPHERE

During the last years the program of the spectrophotometric study of Jupiter included the measurements of the ammonia absorption band NH₃ 787 nm. This band is blended with more wide CH₄ absorption. To detect NH₃ band we have used the ratio of Jovian spectra to the spectrum of Saturn equatorial region. It was taken into account that the ammonia absorption on Saturn is significantly weaker than on Jupiter. The results of the spectrograms processing have been analyzed for years 2007-2011. The variations of the NH₃ band with latitude show regularly the depression of the absorption at low and temperate latitudes of Jovian northern hemisphere. The equivalent width decreases approximately from 18-16 A to 14-12 A More or less symmetric and more steep decrease of absorption from the disk center to limbs was obtained for the equatorial belt of Jupiter. It may be considered as an evidence for reality of that latitudinal depression but not the instrumental errors. It should be noted that the ammonia decrease in northern hemisphere was detected also from radioobservations of Jupiter.

А. М. КАРИМОВ

ПОВЕДЕНИЕ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНА НА САТУРНЕ ПОСЛЕ РАВНОДЕНСТВИЯ 2009 ГОДА

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Рассматриваются широтные вариации интенсивности полос поглощения метана на Сатурне после имевшего место в 2009 г. равноденствия, когда наклон экватора планеты к направлению на Солнце был близок к нулю и оба полушария находились в равных условиях инсоляции. На основе результатов обработки большого числа зональных ПЗС-спектрограмм Сатурна за 2010-2012 гг. прослеживаются основные глобальные изменения в меридиональном распределении поглощения в слабых и умеренных полосах CH_4 в диапазоне длин волн 580-800 нм. Основная характерная особенность Сатурна – пониженное поглощение метана в экваториальном поясе – сохраняется, хотя измерения при увеличивающемся наклоне экватора Сатурна в этой области затруднены из-за проектирующегося на южные умеренные широты и расширяющегося кольца. Однако в северном полушарии отчетливо выделяется депрессия метанового поглощения на широтах 40-60 градусов при усилении поглощения к полюсу. Ширина этой депрессии увеличилась в 2012 г. за счет смещения максимума поглощения на низких широтах к югу.

Введение. Продолжающиеся в лаборатории физики Луны и планет АФИФ многолетние спектральные наблюдения Сатурна дают возможность проследить те изменения в атмосфере и облачном покрове планеты, которые носят сезонный характер и связаны с происходящим по мере орбитального движения Сатурна изменением наклона его экватора к направлению на Солнце. Поскольку угол наклона (или планетоцентрическое склонение Солнца) меняется в пределах от +27 до -27 градусов, режим инсоляции северного и южного полушарий планеты меняется существенным образом. При этом также меняется и расстояние Сатурна от Солнца, что также сказывается на радиационном режиме. Немалое значение имеет и тот факт, что «зимнее» полушарие планеты получает еще более пониженное количество солнечной энергии за счет его экранирования кольцом.

Периоды равноденствий, когда наклон экватора Сатурна близок или равен нулю, повторяются лишь раз в 15 лет, но именно эти периоды оказываются наиболее интересными, поскольку здесь представляется возможность сравнить состояние атмосферы при одинаковых условиях освещения и видимости обоих полушарий. В это время приток солнечной радиации к ним практически одинаков. Однако наблюдения в равноденствие 1995 г обнаружили существенную асимметрию в величинах поглощения метана – в северном полушарии оно было гораздо выше, чем в южном [1, 2].

С переходом к максимальному наклонению южного полушария к Солнцу (около 2004 года) и вплоть до равноденствия 2009 г. наблюдался рост метанового поглощения в умеренных широтах южного полушария. Можно было ожидать, что в равноденствие 2009 г. картина асимметрии поглощения в северном и южном полушарии изменится на зеркальную, но этого не произошло: в обоих полушариях на умеренных широтах наблюдались почти одинаковые значения глубин и эквивалентных ширин полос поглощения метана [3-5]. Причина здесь видится именно в различиях расстояния Сатурна от Солнца в период до равноденствия 1995 г., когда он находился на максимальном удалении и приближался к Солнцу до 2003 г. и в период до равноденствия 2009 г., приходящегося на продолжающееся с 2004 г. удаление от Солнца. Это и создает неравенство ситуации с радиационным режимом для северного и южного полушарий в течение сатурнианского года.

Естественно, представляет интерес проследить следующие за равноденствием 2009 г. изменения в состоянии атмосферы Сатурна на основе однородных по методике спектрофотометрических наблюдений и измерений полос поглощения.

Методика наблюдений и обработки. Как и в предыдущие годы, спектральные наблюдения Сатурна выполнялись сотрудниками планетной лаборатории на 0.6-м телескопе РЦ-600 с дифракционным спектрографом SGS фирмы SBIG. Приемником изображения служила ПЗС-камера ST-7XE, измерения велись в диапазоне длин волн от 580 до 800 нм, в который попадает ряд полос поглощения метана 619, 687, 702, 725 и 794 нм. В данной работе обсуждаются пока только данные, полученные методом спектрального сканирования диска Сатурна целью, устанавливаемой парал-

лельно большой оси кольца. При экспозициях в 20 секунд на один скан диска приходится до 60 зональных спектрограмм, каждая из которых позволяет достаточно уверенно построить профили полос поглощения путем привязки к спектру кольца. Спектрограммы обрабатывались в программе CCDOPS для перевода изображений в числовые массивы, дальнейшая обработка этих массивов выполнялась с помощью электронных таблиц EXCEL. В конечном счете вычислялись эквивалентные ширины и центральные глубины полос поглощения. Для контроля возможных инструментальных ошибок измерялась также теллурическая полоса кислорода на 760 нм, величина которой не должна зависеть от позиции на спектральном скане.



Рис. 1. Вид Сатурна и изменение наклона кольца и экватора планеты в 2010-2012 гг. (Снимки Christopher Go [6])

В результате такой обработки составлялись компьютерные атласы профилей основных полос поглощения, более детальный анализ полного объема которых еще предстоит. Здесь же коротко описываются основные особенности в широтном ходе поглощения метана на Сатурне в 2010-2012 гг. В этот период сатурноцентрическое склонение Земли (почти такое же, как и у Солнца) менялось от +3 до +14 градусов, так что кольцо Сатурна проектировалось на южное полушарие (рис. 1).

Результаты спектральных измерений. Широтные вариации полос поглощения метана, характерные для каждого из трех сезонов наблюдений, показаны на рис. 2-4. На каждом из них представлены результаты измерений центральных глубин и эквивалентных ширин полос. В экваториальном поясе Сатурна поглощение значительно меньше, чем на умеренных и высоких широтах. Эта особенность, обусловленная, скорее всего, повышенным уровнем верхней границы экваториального облачного слоя или наличием более плотной надоблачной дымки, сохраняется в течение многих десятков лет. По крайней мере, об этом свидетельствуют и ранние спектральные наблюдения Сатурна [7-8].

К сожалению, как уже отмечалось выше, надежные измерения поглощения в экваториальном поясе возможны лишь в периоды равноденствий, когда отсутствуют помехи со стороны кольца, ориентированного ребром к земному наблюдателю. В другие периоды при неидеальном качестве изображения влияние кольца затрудняет такие измерения. Само же кольцо, естественно, создает дополнительную глубокую депрессию наблюдаемого поглощения.

Вполне возможно, что в экранируемой кольцом зоне, где инсоляция им достаточно сильно ослаблена, происходят свои изменения в структуре и плотности облаков, зарегистрировать которые невозможно.

В ходе метанового поглощения в поясах умеренных широт в рассматриваемый период обращает на себя внимание следующее. Глубина полосы CH_4 725 нм и в северных и южных умеренных широтах почти одинакова, тогда как эквивалентная ширина обнаруживает тенденцию к росту в северном полушарии, что еще более резко проявляется у полосы 794 нм. При этом наблюдается у обеих полос депрессия в поясе широт 30-60 градусов с ростом поглощения к северному полюсу. Депрессия эта присутствует и у слабых полос. В 2012 г. она расширяется к югу, сохраняя подъем поглощения к северному полюсу, который уже находится не на лимбе, а на видимой части диска Сатурна.

Необходимо отметить некоторую необычность ситуации с Сатурном в рассматриваемый период. В конце 2010 г. на Сатурне в северном полушарии на широте около 40 градусов возникло яркое пятно, названное Северным Тропическим Штормом. Это активное атмосферное возмущение дало начало постепенно растягивающейся по долготе двойной светлой полосе, которая в 2011 году охватила все долготы в виде голубоватого по сравнению с соседним облачным покровом пояса. Этот пояс наблюдается и в 2012 году.

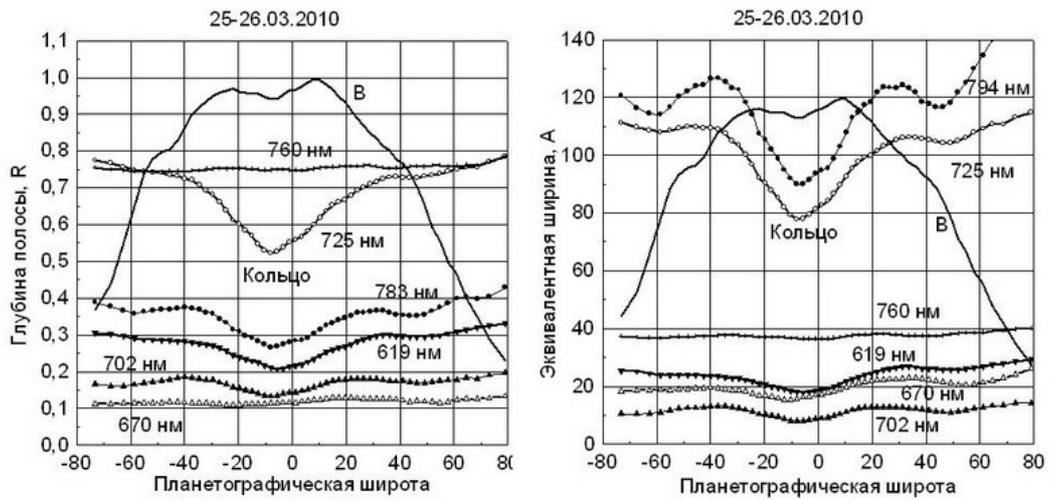


Рис. 2. Центральные глубины R (слева) и эквивалентные ширины W (справа) полос поглощения метана на центральном меридиане Сатурна в 2010 г.

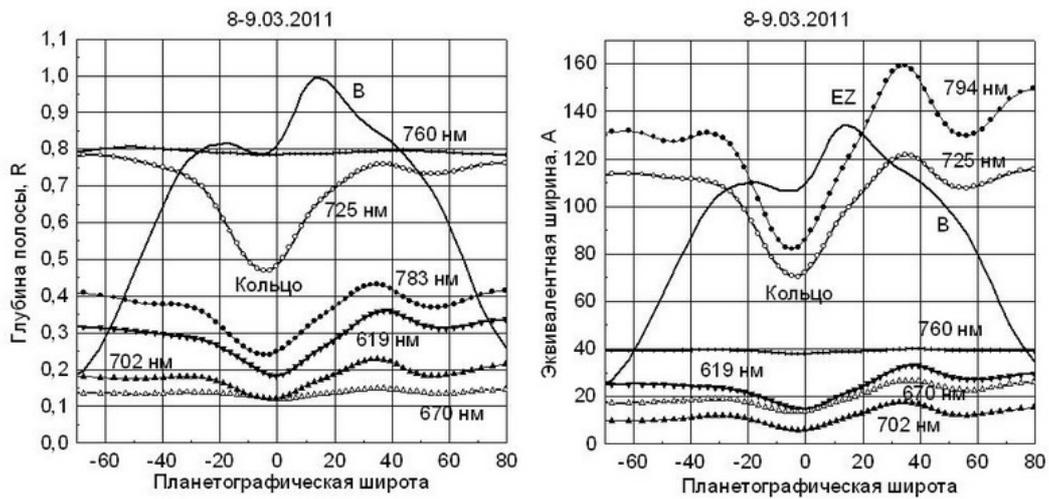


Рис. 3. Центральные глубины R (слева) и эквивалентные ширины W (справа) полос поглощения метана на центральном меридиане Сатурна в 2011 г.

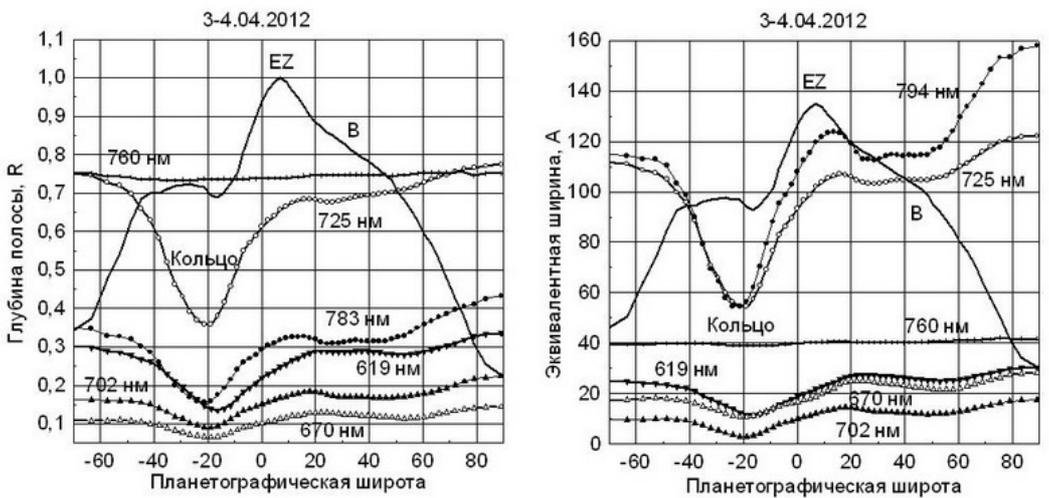


Рис. 4. Центральные глубины R (слева) и эквивалентные ширины W (справа) полос поглощения метана на центральном меридиане Сатурна в 2012 г.

Хотя было бы заманчиво связать депрессию метанового поглощения на упомянутых выше широтах северного полушария с этим возмущением, но, как видно из рис. 2, эта депрессия наблюдалась еще в марте 2010 г., когда никаких намеков на появление шторма не было. По нашим наблюдениям в начале формирования полосы за штормом [9] никаких существенных различий в поглощении метана в ней по сравнению с соседними широтами не обнаружено.

Из-за ограничения объема статьи здесь не обсуждаются другие особенности в ходе поглощения метана в слабых полосах, требующие дополнительного анализа и дальнейших наблюдений.

Автор благодарен В. Д. Вдовиченко и В. Г. Тейфелью за ценные замечания и советы, способствовавшие написанию этой статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тейфель В.Г. Распределение молекулярного поглощения по диску Сатурна по наблюдениям в 1995 г. на основе зональной спектрофотометрии с ПЗС-камерой. Результаты наблюдений. // *Астроном. вестник РАН*. – 1997. – Т. 31, № 3. – С. 222-231. – *Solar System Res.* – 1997. – V. 31, N 3. – P. 198-206.
2. Tejfel V.G. Latitudinal Variations of the Molecular Absorption Bands on Saturn and Seasonal Changes of the Atmospheric State at S- and N- Hemispheres // *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. – 2005. – Vol. 16, N 1. – P. 231-240.
3. Tejfel V., Karimov A., Kharitonova G. Preliminary comparison of the methane absorption latitudinal distribution on Saturn's disk near zero tilt of the rings in 1995 and 2009 // *Geophysical Research Abstracts*. – V. 11, EGU 2009-9735.
4. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Кириенко Г.А., Харитонов Г.А. Сезонные различия в северном и южном полушариях Сатурна по данным спектрофотометрии 1995 и 2009 гг. // *Известия НАН РК. Серия физ.-мат.* – 2009. – № 4. С. 105-109.
5. Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Vdovichenko V.D. The hemispheric differences in the methane and ammonia absorptions on Saturn near last equinox in 2008-2010 // 42-nd DPS Meeting – *Bulletin of the American Astronomical Society*. – 2010. – V. 42. – P. 1021.
6. Christopher Go .Saturn images // ALPO Japan 2010-2012 – <http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/indexE.htm>.
7. Тейфель В.Г., Харитонов Г.А. Высота облачного покрова и экваториальное ускорение в атмосфере Сатурна // *Астрон. Циркуляр АН СССР*. – 1972. – № 735. С. 4-6.
8. Apt J., Singer R.B. Cloud height differences on Saturn // *Icarus*. – 1982. – V. 52. – P. 503-508.
9. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Синяева Н.В. Спектрофотометрия Сатурна во время Большого северного возмущения (Северного тропического шторма) // *Известия НАН РК. Сер. физ.-мат.* – 2011. – № 4. – С. 86-90.

REFERENCES

1. Tejfel' V.G. Raspredelenie molekularnogo pogloschenija po disku Saturna po nabljudenijam v 1995g. na osnove zonal'noj spektrofotometrii s PZS-kameroy. Rezul'taty nabljudenij. // *Astronom. vestnik RAN, 1997, T.31, N3, c.222-231, Solar System Res., 1997, v.31, N3, p.198-206*
2. Tejfel V.G. Latitudinal Variations of the Molecular Absorption Bands on Saturn and Seasonal Changes of the Atmospheric State at S- and N- Hemispheres. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 2005, vol.16, No.1, p. 231-240.*
3. Tejfel V., Karimov A., Kharitonova G., .Preliminary comparison of the methane absorption latitudinal distribution on Saturn's disk near zero tilt of the rings in 1995 and 2009 . *Geophysical Research Abstracts, V 11, EGU2009-9735.*
4. Tejfel' V.G., Karimov A.M., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Sezonnnye razlichija v severnom i juzhnom polusharijah Saturna po dannym spektrofotometrii 1995 i 2009gg . *Izvestija NAN RK, serija fiziko-matematicheskaja, №4, 2009 S.105-109*
5. Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Vdovichenko V.D. The hemispheric differences in the methane and ammonia absorptions on Saturn near last equinox in 2008-2010. *42-nd DPS Meeting -Bulletin of the American Astronomical Society, 2010, V. 42, P.1021*
6. Cristopher Go .Saturn images.*ALPO Japan 2010-2012.*
7. Tejfel' V.G., Kharitonova G.A. Vysota oblachnogo pokrova i jekvatorial'noe uskorenie v atmosfere Saturna. *Astron.Cirkuljar AN SSSR №735, 1972, S. 4-6*
8. Apt J., Singer R.B Cloud height differences on Saturn.*Icarus, 1982, V.52, P.503-508*
9. Tejfel' V.G., Karimov A.M., Sinjaeva N.V. Spektrofotometrija Saturna vo vremja Bol'shogo severnogo vozmuschenija (Severnogo tropicheskogo shtorma) .*Izvestija NAN RK. Ser. fiz.-mat.№4. 2011, S.86-90*

А. М. Каримов

САТУРНДАҒЫ МЕТАН ЖҰТУ ЖОЛАҚТАРЫНЫҢ 2009 ЖЫЛҒЫ КҮН МЕН ТҮН ТЕНЕЛУІНЕН КЕЙІНГІ ҚАЛПЫ

Планетаның еңістік экваторы күнге қарай бағыты нөлге жақын болған кезде және екі жарты шарда инсоляцияның тең жағдайында тұрған кезеңіндегі 2009 ж. орын алған күн мен түн теңелуінен кейінгі Сатурндағы метан жұту жолақтарының қарқындылығының кендік вариациясы қарастырылады. 2010–2012 жж. Сатурнның үлкен санды зональды ПЗС спектрмасын өңдеу нәтижелерінің негізінде, жұтудың меридионалды таралуының толқын ұзын 580–800 нм диапозанда әлсіз және қалыпты жолақ CH₄ негізгі глобалды өзгерістері бақыланады. Сатурнға тән басты ерекшелігі – экватордың ұлғаюшы еңісінде Сатурн өлшемі бұл

аймақта оңтүстік шамалы кеңдік жобаланған кенейген сақинаға бола болса да, экваторлы сызықта метан жұтылуының төмендеуі сақталады. Алайда, солтүстік жартышарда 40–60 градус кеңдікте полюске жұту күшеюінде, метан жұтылуының күйзелісі айрықша ерекшеленеді. Бұл күйзелістің ұзындығы 2012 жылы оңтүстіктің төмен ендіктерінде максималды жұту араласуымен көбейді.

A. M. Karimov

THE BEHAVIOR OF THE METHANE ABSORPTION BANDS ON SATURN
AFTER ITS EQUINOX 2009

There are considered here the latitudinal variation of the intensity of the absorption bands of methane on Saturn after 2009 equinox, when the inclination of the planet's equator to the direction of the Sun was close to zero, and both hemispheres were equally insolated. Based on the results of processing a large number of zonal CCD-spectrograms of Saturn in 2010-2012 there may be traces the major global changes in the latitudinal distribution of absorption in the weak and moderate bands of CH₄ at the wavelength range 580-800 nm. The main characteristic feature of Saturn - a reduced absorption of methane in the equatorial belt - is preserved, although the measurements at Saturn's equator are difficult with the increasing of the slope in this area because of the projection on the southern temperate latitudes and the expanding ring. However, in the northern hemisphere is clearly visible depression of methane absorption at latitudes of 30-60 degrees with increasing absorption toward the pole. The width of this depression increased in 2012 due to the shift of the absorption maximum at low latitudes to the south.

СОДЕРЖАНИЕ

Проблемы небесной механики и динамики звездных систем

Гайсина В.Н., Денисюк Э.К., Валиуллин Р.Р. Спектральная переменность АЯГ NGC 3516..... 3

Исследование звезд и туманностей

| | |
|---|----|
| <i>Курчаков А.В., Князева Л.Н.</i> Количественные критерии спектральной классификации В звезд по УФ спектрам. | |
| I. Предварительные результаты..... | 7 |
| <i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К.</i> Уникальный симбиотический объект СН Суг. Новые результаты..... | 11 |
| <i>Тереценко В.М.</i> Подтверждение существования «межзвездного пузыря» в окрестностях Солнца..... | 16 |
| <i>Павлова Л.А.</i> Исследования поляризации и магнитных полей в Орионе..... | 21 |
| <i>Хруслов А.В., Самусь Н.Н., Кокумбаева Р.И., Кусакин А.В.</i> Фотометрическое исследование пульсирующей переменной звезды TYC 0075 01143 1..... | 25 |

Физика Солнца и тел солнечной системы

| | |
|--|----|
| <i>Диденко А.В.</i> Оптические и динамические характеристики космических аппаратов (КА) Canyon, Chalet (Vortex) и Меркурия..... | 28 |
| <i>Диденко А.В.</i> Некоторые статистические характеристики опасных сближений в геостационарной зоне..... | 32 |
| <i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М.</i> Структура магнитных облаков и их связь с развитием геомагнитных бурь..... | 37 |
| <i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М.</i> Влияние активных областей на изменения солнечной постоянной..... | 41 |
| <i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И., Байнакатова Г.М.</i> Поведение околозвездной пыли вблизи звезды типа β Pictoris..... | 46 |
| <i>Тейфель В.Г., Харитонова Г.А.</i> Спектрофотометрия локальных облачных образований на Юпитере..... | 53 |
| <i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Тейфель В.Г., Харитонова Г.А.</i> Драматические события на Юпитере в 2009–2011 годах..... | 58 |
| <i>Омаров Т.Б., Филиппов В.А., Бондаренко Н.Н.</i> Исследование взаимных соотношений поперечных размеров облачных зон и полос в атмосфере Юпитера..... | 63 |
| <i>Бондаренко Н.Н.</i> Исследование вариаций полосы поглощения аммиака NH 3 787НМ в атмосфере Юпитера..... | 67 |
| <i>Каримов А.М.</i> Поведение полос поглощения метана на Сатурне после равноденствия 2009 года..... | 72 |

Редактор *М. С. Ахметова, Ж. М. Нургожина*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 10.07.2012.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4,9 п.л. Тираж 300. Заказ 3.