TABLE OF CONTENTS

Workshop A3: Solar System Bodies

Workshop A4: The Sun

Workshop A5: Stars. Stellar Variability

SCIENTIFIC ORGANIZING COMMITTEE

ASTRONOMY:

A. Boyarchuk (Russia), Ya. Yatskiv (Ukraine), A. Shpak (Ukraine), Yu. Balega (Russia), B. Zhilyaev (Ukraine), K. Jockers (Germany), R. Kostik (Ukraine), D. Lupishko (Ukraine), L. Rykhlova (Russia), N. Steshenko (Ukraine), V. Tarady (Ukraine), A. Cherepaschuk (Russia), A. Sudarikov (Russia).

ECOLOGY & PHYSIOLOGY:

O. Gazenko (Russia), P. Kostyuk (Ukraine), Yu. Natochin (Russia), P. Beloshitsky (Ukraine), N. Agadjanyan (Russia), A. Kostyukov (Ukraine), A. Grigoriev (Russia), E. Zhilyaev (Russia), A. Moibenko (Ukraine), H. Kurdanov (Russia), V. Kubatiev (Russia), V. Sagach (Ukraine), L. Lukjanova (Russia), I. Maksimova (Russia), T. Serebrovskaya (Ukraine), S. Soroko (Russia), M. Seredenko (Ukraine), I. Ushakov (Russia), O. Krishtal (Ukraine).

LOCAL ORGANIZING COMMITTEE

V. Tarady (Chairman), Kh. Kurdanov (Co-Chairman), P. Beloshitsky (Vice-Chairman), A. Sergeev (Vice-Chairman), V. Godunova (Organizing Secretary), G. Butenko, S. Bichekueva, A. Evtushenko, V. Ilyin, N. Karpov, Yu. Kravchenko, R. Kondratyuk, V. Kuznetsov, Yu. Onopchuk, V. Portnichenko, N. Taradiy, O. Turischev, M. Kurdanova, S. Bekuzarova, E. Chudopal, I. Beslaneev, V. Shtaida.

П Р Е Д И С Л О В И Е

Международная конференция “Состояние и перспективы международных исследований по наблюдательной астрономии, экологии и экстремальной физиологии в Приэльбрусье (АСТРОЭКО–2002)” состоялась 12–16 августа 2002 г. в поселке Терскол (Приэльбрусье, Кабардино-Балкария) и была приурочена к проведению года Украины в России и всемирного года гор, объявленного ООН, а также к 10-летию создания Международного центра астрономических и медико-экологических исследований (МЦ АМЭИ).

Конференция была организована Международным центром астрономических и медико-экологических исследований при поддержке Национальной академии наук Украины, Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований.

В конференции приняли участие более 150 ученых из России, Украины, Польши, Германии, Словакии и Югославии.

В выступлениях и дискуссиях участники конференции обсудили результаты и наметили новые направления фундаментальных и прикладных исследований по астрономии, экологии и экстремальной физиологии в рамках международного сотрудничества ученых разных стран на высокогорных научных базах МЦ АМЭИ в Приэльбрусье.

Во время конференции состоялась также объединенная дискуссия представителей различных отраслей науки (астрономии, биологии, медицины) по проблеме взаимосвязи “Человек–Среда–Космос”. Тем самым ученым была предоставлена возможность ознакомиться с исследованиями коллег, обсудить проблемы, стоящие на стыке наук. Дискуссия отразила новый уровень междисциплинарных отношений и способствовала установлению более тесного сотрудничества специалистов из разных научных институтов.

Конференция приняла следующие решения:

1. Отметить создание и успешное функционирование уникального, расположенного на высоте 3100 метров астрономического комплекса мирового класса точности в составе 2-метрового зеркального телескопа Zeiss-2000 и горизонтального солнечного телескопа АЦУ-26.

   Вместе с тем обратить внимание Президиума РАН и Президиума НАН Украины на необходимость переоснащения приборной базы и оборудования медико-физиологического направления исследований МЦ АМЭИ.

2. Отметить успешное выполнение исследований по программе “Фундаментальные и прикладные исследования проблем астрономии, медицины и экологии в высокогорных районах Приэльбрусья”, инициированной НАН Украины, РАН и одобренной Международной ассоциацией академий наук (МААН).

3. Считать необходимым приступить к разработке и формированию направлений новой научной программы на период 2003–2007 гг. для уникальных астрономических и медицинских научных комплексов в Приэльбрусье.

   В частности, считать актуальным включение в экологический раздел Программы разработку и организацию в рамках общеевропейских проектов мониторинга мезоконтинентального переноса загрязнений воздуха и стратосферно-тропосферного обмена озона.

4. Поддержать работу по созданию уникального астрономического комплекса на пике Терскол, включенную в цикл работ, выдвинутых на соискание Государственной премии Украины в области науки и техники 2002 года.

5. Считать целесообразным проводить конференцию АСТРОЭКО на регулярной основе не реже одного раза в три года, а также организовать дискуссионную страницу в интернет "Человек–Среда–Космос" для размещения материалов по актуальным вопросам астрономии, экологии и биологии под рубриками: а) Человек и космос; б) Происхождение Вселенной; в) Жизнь во Вселенной...[1]

6. Издать доклады участников конференции в приложениях к журналам "Кинематика и физика небесных тел" и "Фізіологічний журнал". Установить срок представления рукописей в организационный комитет до 30 октября 2002 г.

7. Отметить большой вклад коллектива МЦ АМЭИ в организацию и проведение международной конференции АСТРОЭКО–2002.

8. Направить резолюцию конференции в представительства ЮНЕСКО в Украине и России, Президиумы НАНУ, РАН и РАМН, в Совет МААН, в Правительство КБР, а также в Комитет по Государственным премиям Украины в области науки и техники.

В этом издании мы публикуем доклады, представленные на заседаниях секции "Астрономия", а также избранные материалы объединенной дискуссии "Человек–Среда–Космос".

В. К. Тарадий
ответственный редактор

[1] см. http://www.mao.kiev.ua/icamer/forum/

SCIENTIFIC PROGRAMME

August 12, 2002. Monday

Opening Session:
Advances in Astronomical and Physiological Research in the Elbrus Region

14:00 – 15:30

14:00 Words of Welcome

14:20 *V. Tarady, P. Beloshitsky, H. Kurdanov* (*ICAMER*) On the International Cooperation at the High-Altitude Scientific Bases of ICAMER in the Elbrus Region

15:00 *K. Jockers* (*MPAe, Katlenburg-Lindau, Germany*) Six Years of Observing with the Two-Channel Focal Reducer of MPAe at Pik Terskol, Aims and Their Realization

Plenary Session PS-AB

16:00 – 18:00

16:00 *Н. А. Агаджанян* (*Moscow, Russia*)
Н. Н. Сиротинин – основатель отечественной горной физиологии

16:30 *V. N. Ishkov* (*IZMIRAN, Troitsk, Russia*) The Current 23rd Solar Cycle Evolution and Consequences of the Possible Solar Activity Decrease for Environmental Ecology

17:00 *S. Soroko*[1], *M. Lushnov*[1], *E. Golovina*[2] ([1] *I. M. Sechenov Inst. of Evolutionary Physiology and Biochemistry of RAS,* [2] *Russian State Hydrometeorological Univ., St.-Petersburg, Russia*)
Organization of Medical Data Collection and Processing Depending on Long-Term Dynamics of Cosmoheliogeophysical Parameters

Public lecture **18:00**

L. Mueller (*Jena, Germany*) Understanding the Universe

August 13, 2002. Tuesday

Plenary Session PS-1A

14:00 – 15:30

14:00 *J. Krełowski* (*Center for Astronomy, N. Copernicus Univ., Toruń, Poland*)
High Resolution Spectra of Dark Interstellar Clouds: Spectra from Terskol *vs* those from Other Major Observatories

14:25 *М. Аль-Вардат, Ю. Ю. Балега, В. В. Леушин, Ф. А. Мусаев* (*SAO RAS, Russia*)
Синхронные спектральные и спекл-интерферометрические наблюдения кратной системы ADS 11061

14:45 *I. I. Zinchenko* (*IAP, Nizhny Novgorod, Russia*)
Scientific Goals and Prospects of the Ground-Based Submillimeter Astronomy

15:05 *B. Zhilyaev*[1], *Ya. Romanyuk*[1], *O. Svyatogorov*[1], *I. Verlyuk*[1], *V. Tarady*[2], *A. Sergeev*[2], *N. Karpov*[2], *M. Lovkaya*[3] ([1] *MAO NASU,* [2] *ICAMER,* [3] *CrAO*)
Observations of Stellar Image Motions with the Synchronous Network of Telescopes

Workshop A1
Optical Telescopes and Facilities

Convener: V. Leushin

August 13, 2002. Tuesday

Session 1 **9:30 – 11:00**

9:30 *V. Tarady, A. Sergeev, N. Karpov, K. Bogatyrgov* (*ICAMER*)
Optical Monitoring of Nearby Space at the ICAMER Observatory on Terskol Peak

9:50 *A. P. Hatzes*[1], *D. E. Mkrtichian*[2] ([1] *Thüringer Landessternwarte Tautenburg, Germany,* [2] *AO ONU)* Big Science with the 2m-class Telescopes in a Global Network

10:10 *O. Andriyenko* (*ICAMER*) Investigation of Seeing Conditions at Terskol Peak

10:25 *V. Konichek, V. Dudinov, A. Zheleznyak, V. Vakulik, I. Sinelnikov* (*IA KhNU*) Adjustment of the AZT-22 Telescope (Maidanak Mountain). Theoretical and Technical Aspects

10:45 *V. Rumyantsev, N. Chernykh* (*CrAO*)
Automatic Telescope for Observation of Near-Earth Asteroids

Session 2 **11:30 – 13:00**

11:30 *B. Zhilyaev* (*MAO NASU*)
Intensity Interferometer Experiment with the Synchronous Network of Telescopes

11:50 *В. Н. Андрук*[1], *Г. З. Бутенко*[2], *Ю. Н. Иващенко*[3] ([1] *MAO NASU,* [2] *ICAMER,* [3] *Андрушевская астрономическая обсерватория Украинской астрономической ассоциации*)
Обработка ПЗС-изображений звездных полей в пакете MIDAS/ROMAFOT

12:05 *Г. З. Бутенко*[1], *В. Н. Андрук*[2], *В. И. Кузнецов*[1], *Л. И. Снежко*[3], *С. Ф. Носов*[2], *В. Г. Парусимов*[2], *Н. Н. Перетятко*[2], *А. В. Сергеев*[1] ([1] *ICAMER,* [2] *MAO NASU,* [3] *SAO RAS*)
Исследование астроклимата 2-м телескопа на пике Терскол

12:20 *О. П. Быков* (*MAO RAS*) Астрометрия с большими телескопами

12:40 *N. Bakhtigaraev*[1], *V. Chazov*[2] ([1] *IA RAS,* [2] *SAI MGU*)
Simulation and Visualization of the Celestial Bodies's Observations by Computer

Poster Session A1: Optical Telescopes and Facilities

A1_P1 *N. Karpov* (*ICAMER*) The Real-Time System for Astronomical Observations on the Telescopes of the Virtual Observatory from ICAMER, SAO, and BNO

A1_P2 *V. Maslov*[1], *V. Godunova*[2], *Ye. Bilevych*[1] ([1] *ISP NASU,* [2] *ICAMER*) New Approaches and Materials for Improving the Technology of Telescope Mirror Manufacturing

A1_P3 *Ya. O. Romanyuk*[1], *O. A. Svyatogorov*[1], *B. E. Zhilyaev*[1], *V. R. Khalack*[1], *A. V. Sergeev*[2] ([1] *MAO NASU,* [2] *ICAMER*) Development and Installation of the System for the Precise Timing and Synchronization of the Synchronous Network of Telescopes

Workshop A2
High-Resolution Spectroscopy

Convener: J. Krełowski

August 14, 2002. Wednesday

9:30 – 11:00

9:30 *N. G. Bochkarev* (*SAI MGU*) Astrophysical Tomography

9:50 *G. A. Galazutdinov*[1], *F. A. Musaev*[1,2], *J. Krełowski*[3], *G. A. H. Walker*[4] ([1] *SAO RAS*, [2] *ICAMER*, [3] *Center for Astronomy, N. Copernicus Univ., Toruń, Poland*, [4] *Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada*) Diffuse Interstellar Bands – a Survey with Precise Wavelengths

10:10 *A. Galeev*[1], *I. Bikmaev*[1], *F. Musaev*[2], *G. Galazutdinov*[2] ([1] *DA KSU*, [2] *SAO RAS*) Study of Photometric Solar-Analog Stars from the Spectra Obtained with the 2-m Telescope at the Terskol Observatory

10:30 *J. Kuznetzova*[1,2], *A. Bondar*[2], *A. Vid'machenko*[1], *A. Sergeev*[2] ([1] *MAO NASU*, [2] *ICAMER*) The Spectroscopic Observation Results of Stars with Extrasolar Planets and Extended Objects

Poster Session A2: High-Resolution Spectroscopy

A2_P1 *J. Kuznetzova*[1,2], *A. Bondar*[2] ([1] *MAO NASU*, [2] *ICAMER*) About Possible Emission in the Spectrum of Titan's Atmosphere

Workshop A3
Solar System Bodies

Convener: D. Lupishko

August 15, 2002. Thursday

Session 1 **9:30 – 11:00**

9:30 *L. E. Bykova* (*TSU*) Study of the Orbital Motion of Resonance Near-Earth Asteroids

9:45 *L. E. Bykova*, *V. P. Titarenko* (*TSU*) Some Stabilizing Algorithms of Orbital Parameter Estimation for Solving the Problems of Ephemeris Improvement and Asteroid Identification

10:00 *N. Emel'yanenko* (*SUU*) Models for Low-Velocity Encounters of Comets with Jupiter

10:20 *V. Emel'yanenko* (*SUU*) Dynamics of Trans-Neptunian Objects in High-Eccentricity Orbits

10:40 *S. N. Karpov*, *V. N. Zakidyshev* (*BNO, INR RAS*) Underground Observations of the Moon Shadow

Session 2 **14:00 – 15:30**

14:00 *I. Kulyk*[1], *K. Jockers*[2] ([1] *MAO NASU*, [2] *MPAe, Germany*) Astrometric Observation of the Natural Satellites with the Two-Channel Focal Reducer at Pik Terskol Observatory

14:20 *D. Lupishko*, *A. Ovcharenko* (*IA KhNU*) On the Inversion Effect of Spectral Dependence of Asteroid Polarization

14:45 *V. G. Shevchenko* (*IA KhNU*) Phase Dependences of Asteroid Brightness: Observations and Results

15:05 *A. Vid'machenko*[1], *J. Kuznetzova*[1,2] ([1] *MAO NASU*, [2] *ICAMER*) Nonlinear Optical Effects in Planetary Atmospheres

Poster Session A3: Solar System Bodies

A3_P1 *S. I. Ipatov* (*IAM RAS*) Orbital Evolution of Jupiter-Crossers and Asteroids

A3_P2 *G. T. Kaiser*, *G. S. Romashin*, *E. D. Kuznetsov*, *D. V. Glamazda*, *J. Z. Wiebe*, *V. E. Berland*, *G. P. Khremli* (*AO USU*) Results of the Observations of Geosynchronous Satellites with the SBG Telescope of the Astronomical Observatory of the Ural State University

A3_P3 *E. Kuznetsov*, *D. Glamazda* (*AO USU*) Modelling the Effects of Object Explosion on a Geostationary Orbit

A3_P4 *E. Kuznetsov*, *G. Kaiser* (*AO USU*) Determination of the Second Sectorial Harmonic Parameters of the Geopotential Using Positional Observations of Geosynchronous Satellites

Workshop A4
The Sun

Convener: T. Pinter

August 15, 2002. Thursday

16:00 – 18:00

16:00 *К. А. Бурлов-Васильев, И. Э. Васильева* (*MAO NASU*)
Исследование Солнца на пике Терскол

16:20 *O. Andriyenko* (*ICAMER*)
Current State and Prospects of the Horizontal Solar Telescope ATsU-26 at Terskol Peak

16:40 *S. N. Karpov, V. V. Alekseenko, Z. M. Karpova, N. S. Khaerdinov, V. B. Petkov, V. Ya. Poddubny* (*BNO, INR RAS*) Investigation of the Solar Cosmic High-Energy Rays

17:00 *N. Kondrashova* (*AO KNU*)
Motions of Chromospheric and Photospheric Material in a Solar Flare

17:20 *A. N. Shakhovskaya, V. A. Abramenko, V. I. Abramenko, V. I. Lopukhin* (*CrAO*)
The Use of a Digital Camera Sony DSC-75 for the Observations of Solar Chromosphere in H-alpha Line at the CrAO Coronograph KG-1

17:40 *А. П. Сарычев, Е. М. Рощина* (*SAI MGU*)
Болометрический контраст факелов и вариации солнечной постоянной

Poster Session A4: The Sun

A4_P1 *T. Pinter*[1], *M. Rybansky*[2] ([1] *SCO*, [2] *IA AS, Tatranska Lomnica, Slovak Republic*)
The 530.3 nm Coronal Line Polarization

A4_P2 *I. Vince*[1], *O. Andriyenko*[2], *O. Vince*[1] ([1] *AO, Belgrade, Yugoslavia*, [2] *ICAMER*)
Center to Limb Variation of the MnI 539.5 nm and the MnI 543.2 nm Line Profiles

A4_P3 *N. Vitas*[1], *O. Vince*[1,2], *I. Vince*[2] ([1] *DA*, [2] *AO, Belgrade, Yugoslavia*)
The Influence of Hyperfine Structure on the MnI 543.25 nm Line Profile in Solar Spectrum

Workshop A5
Stars. Stellar Variability

Conveners: A. Cherepaschuk, B. Zhilyaev

August 14, 2002. Wednesday

14:00 – 15:30

14:00 *V. Gopka*[1], *A. Yushchenko*[1,2], *C. Kim*[2], *F. Musaev*[3,4], *G. Galazutdinov*[3,4] ([1] *AO ONU*, [2] *CNU, (South) Korea*, [3] *ICAMER*, [4] *SAO RAS*) A Step to the Solar-Like Stellar Abundance Samples. The Chemical Composition of ζ Cygni

14:20 *B. Zhilyaev*[1], *I. Verlyuk*[1], *Ya. Romanyuk*[1], *O. Svyatogorov*[1], *R. Gershberg*[2], *I. Alekseev*[2], *M. Contadakis*[3], *S. Avgoloupis*[3], *A. Antov*[4], *R. Konstantinova-Antova*[4] ([1] *MAO NASU*, [2] *CrAO*, [3] *Univ. of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*, [4] *IA of Bulgarian AS, Sofia, Bulgaria*)
Fast UBVRI Colorimetry of Stellar Flares on EV Lacertae with the Synchronous Network of Distant Telescopes

14:45 *В. И. Кузнецов*[1], *W. Buscombe*[2], *Г. З. Бутенко*[1], *П. Ф. Лазоренко*[3], *Г. А. Лазоренко*[3] ([1] *ICAMER*, [2] *Northwestern University, Evanston, USA*, [3] *MAO NASU*)
Спектральная классификация слабейших звезд и ее применение для изучения РЗС, ОЗ и Галактики. I. Спектральные классы и светимости звезд РЗС NGC 2244, NGC 2264 и NGC 6913 до 22^m (V)

15:10 *В. В. Леушин* (*SAO RAS*)
Программный комплекс для анализа атмосфер и эволюции двойных звезд

Poster Session A5: Stars. Stellar Variability

A5_P1 *G. Kovalchuk* (*MAO NASU*)
Some Features in the Chemical Composition of the Variable Star V 346 Orionis

A5_P2 *I. Verlyuk, B. Zhilyaev* (*MAO NASU*)
The Cataclysmic Binary KR Auriga in February 2002: Flickering and Oscillations

Workshop A6
New Perspectives for Ground-Based Astronomy

Convener: Ya. Yatskiv

August 13, 2002. Tuesday

16:00 – 18:00

16:00 *A. Galeev, I. Bikmaev* (*DA KSU*) Atmospheric Parameters and Chemical Composition of 50 Stars with Planets Discovered in 1995–2000

16:20 *E. A. Karitskaya* (*IA RAS*) The Optical Doppler Tomography as a Method for the Investigation of the X-Ray Binary Cygni X-1

16:40 *I. Vavilova* (*AO KNU*)
Prospective Tematics of the Future Observational Programs at the Terskol Observatory Proposed by the Astronomical Observatory of the Taras Shevchenko Kyiv National University

17:00 *A. Vid'machenko, V. Krushevskaya* (*MAO NASU*)
Reflectivity Variation of an Extrasolar Giant Planet Orbiting Its Central Star

17:20 *A. Yushchenko*[1,3]*, A. Sergeev*[2]*, C. Kim*[1] ([1] *CNU, (South) Korea,* [2] *ICAMER,* [3] *AO ONU*)
Gravitational Lensing by Globular Clusters. Search for Gravitational Lens Candidates and the Properties of Globular Cluster Systems at the Redshifts $0.03 < Z < 3$

August 14, 2002. Wednesday

11:30 – 13:00

11:30 *V. V. Alekseenko, A. B. Chernyaev, V. B. Petkov, V. Ya. Poddubny, A. V. Radchenkov, A. N. Zaichenko* (*BNO, INR RAS*) A Search for High-Energy Gamma-Ray Bursts

11:45 *Yu. S. Grishkan, V. B. Petkov, E. G. Vertogradova* (*INR RAS*) Time Delay of Gamma-Ray Burst Radiation and the Possibility of Determining the Fate of Cosmological Expansion

12:00 *N. V. Karpov*[1]*, A. V. Sergeev*[1]*, V. K. Tarady*[1]*, S. N. Karpov*[2]*, V. B. Petkov*[2]*, V. Ya. Poddubny*[2]*, I. V. Kulyk*[3]*, K. Jockers*[4] ([1] *ICAMER,* [2] *BNO, INR RAS,* [3] *MAO NASU,* [4] *MPAe, Germany*)
Search for Optical Afterglows of Gamma-Ray Bursts with the 2-m Telescope at the Terskol Peak Observatory

12:15 *O. D. Lalakulich, V. B. Petkov, V. Ya. Poddubny, G. M. Vereshkov* (*BNO, INR RAS*)
Very Short High-Energy Gamma-Ray Bursts and Relativistic Phase Transitions in the Flux of Primordial Black Hole Radiation

12:30 *A. Sergeev*[1]*, T. Sergeeva*[2] ([1] *ICAMER,* [2] *MAO NASU*) The System for Quick Monitoring of Astronomical Plate Archives. Steps toward Cooperation with Modern Astronomical Research

Poster Session A6: New Perspectives for Ground-Based Astronomy

A6_P1 *D. Kirilova* (*IA of Bulgarian AS, Sofia, Bulgaria*)
Baryon Density in the Universe and Alternative Cosmological Nucleosynthesis

A6_P2 *B. Zhilyaev* (*MAO NASU*) Singular Sources of Energy in Stars and Planets

Workshop E1

The Atmosphere: Monitoring and Quantifying. Implications for the Environment and Human Health

Convener: V. Ilyin

August 13, 2002. Tuesday

17:00 – 18:30

17:00 *M. G. Sosonkin*[1], *A. V. Shavrina*[1], *V. A. Dyachuk*[2], *A. A. Veles*[1]
([1] *MAO NASU*, [2] *Inst. for Hydrometeorology, Kiev, Ukraine*)
The Importance of Ozone Concentration Monitoring at High-Altitude Site

17:20 *A. A. Veles, A. V. Shavrina, M. G. Sosonkin* (*MAO NASU*)
Measurement of Ozone and Greenhouse Gases and Modeling

17:40 *I. Vince, A. Kubičela, O. Vince* (*AO, Belgrade, Yugoslavia*)
A Method for Measuring the Relative Turbidity of the Earth's Atmosphere

18:00 *I. Terenetskaya* (*IP NASU*) "D-dosimeter": New Multifunctional UVB Sensor of the Vitamin D Synthetic Capacity of Sunlight

18:20 *В. Н. Ващенко*[1], *А. І. Лоза*[2], *Ж. І. Патлашенко*[1], *О. Є. Черниш*[3] ([1] *KNU*, [2] *Український Антарктичний центр*, [3] *Центр аерокосмічних досліджень НАНУ, Київ, Україна*)
Метрологічний комплекс для градуювання бортових ультрафіолетових спектрометрів-озонометрів

Poster Session E1: The Atmosphere: Monitoring and Quantifying. Implications for the Environment and Human Health

E1_P1 *M. Lorenc* (*SCO, Slovak Republic*) Stratwarm and Solar Activity

E1_P2 *І. О. Дичко*[1], *В. Б. Бакушевич*[2] ([1] *Полтавський військовий інститут зв'язку*, [2] *Полтавська гравіметрична обсерваторія НАНУ, Україна*)
Про можливий вплив комет на погодні і кліматичні умови на Землі

Workshop E2

Space Debris

Convener: L. Rykhlova

August 15, 2002. Thursday

11:30 – 13:00

11:30 *A. Bagrov, G. Bolgova* (*IA RAS*)
A Program of the Near-Earth Natural Debris Reproduction Process Investigations

12:00 *A. V. Bagrov*[1], *E. S. Bakanas*[1], *S. I. Barabanov*[1], *G. T. Bolgova*[1], *A. M. Mikisha*[1], *L. V. Rykhlova*[1], *V. K. Tarady*[2], *A. V. Sergeev*[2] ([1] *IA RAS*, [2] *ICAMER*) Investigation of the Migration of Small Solar System Bodies and Development of the Technique for the Detection of Potentially Hazardous Objects and Space Debris Fragments

12:30 *В. Ф. Герастовский, М. И. Макаров, Ю. Ю. Махненко* (*НИИ Космических систем, г. Юбилейный Моск. обл., Россия*) Основные результаты привлечения обсерватории МЦ АМЭИ в интересах контроля выведения РБ и полета КА в период 1998–2001 гг.

Poster Session E2: Space Debris

E2_P1 *P. Zakharova, E. Kuznetsov* (*AO USU*) Preliminary Catalogue of Space Debris on Geostationary Orbit from TV-Observations Made at the Kourovka Astronomical Observatory in 1999–2002

E2_P2 *О. П. Быков* (*MAO RAS*) Проблемы оперативного контроля космического пространства оптическими средствами наблюдений

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

академика НАН Украины Я. С. Яцкива
на открытии международной конференции АСТРОЭКО–2002
12 августа 2002 г.

Уважаемые коллеги!

Сегодня у нас со многих точек зрения замечательное событие.

Прежде всего символично то, что здесь, в красивейшем уголке Приэльбрусья, собрались представители двух направлений фундаментальной науки – астрономии и физиологии. Человека всегда волновали вопросы, как возник тот мир, в котором он живет и который его окружает, как возникла жизнь на Земле и что ее ожидает в будущем. Более того, новейшая эпоха принесла еще один актуальный вопрос – вопрос о том, как сохранить среду обитания человека. Внести свою лепту в получение ответов на эти вопросы призваны астрономы, биологи, медики и представители других смежных наук.

Наша международная конференция – это первое большое собрание ученых со времени создания астрономического комплекса на Терсколе. Истоки этого начинания восходят к концу 1960-х годов и стали уже достоянием истории.

Более тридцати лет тому назад группа энтузиастов ГАО НАН Украины (в то время ГАО АН УССР) прибыла в этот район Северного Кавказа с целью выбора места для астрофизического филиала обсерватории, получившего позже название Высокогорная наблюдательная база “Терскол”. В сложных условиях высокогорья, преодолевая свойственные тому периоду времени трудности, ученым ГАО НАН Украины, проектантам “Армгоспроекта” и строителям треста “Каббалкпромстрой” удалось создать первоклассную самую высокую в Европе астрономическую обсерваторию, ведущую сейчас исследования околоземного космического пространства, Солнца и тел Солнечной системы, звезд и межзвездной среды.

Сегодня в этой торжественной обстановке я хочу вспомнить тех, кто стоял у истоков создания этой обсерватории на Терсколе и прежде всего тех, кого уже нет с нами:

– строителей и техников:

Леонида Лысака (ГАО НАН Украины),
Владимира Безпалого (ГАО НАН Украины),
Виктора Сокового (СУ-9, “Каббалкпромстрой”),
Рашида Байдаева (ГАО НАН Украины);

– астрономов и инженеров:

Эрнеста Гуртовенко (ГАО НАН Украины),
Никиту Мысика (ГАО НАН Украины),
Валентина Трояна (ГАО НАН Украины),
Василия Мизюка (ГАО НАН Украины),
Евгения Депенчука (Одесский отдел ГАО НАН Украины).

Мне очень приятно вспомнить ныне здравствующих моих коллег, которые заложили основы научных исследований на Терсколе – Михаила Орлова, Игоря Колесника, Александра Пугача, Бориса Жиляева, Константина Бурлова-Васильева, и тех, без самоотверженного труда которых, мы сегодня не имели бы этого уникального астрономического комплекса на Терсколе:

Виктора Поповича (трест "Каббалкпромстрой"),
Ростислава Кондратюка (ГАО НАН Украины),
Хаджимурата Бичекуева (МЦ АМЭИ),
Александра Андреева (трест "Каббалпромстрой"),
Виктора Аврамчука (ГАО НАН Украины),
Владимира Кузнецова (ГАО НАН Украины),
Валентина Кругова (ГАО НАН Украины),
Петра Одинца (МОН Украины).

Новейшая история создания астрономического комплекса на Терсколе связана с именами Владимира Тарадия (заместителя директора ГАО НАН Украины и директора МЦ АМЭИ с 1992 г.), Александра Сергеева (главного инженера ГАО НАН Украины в 1991–1993 гг. и заместителя директора МЦ АМЭИ с 1993 г.), Николая Карпова (сотрудника ГАО НАН Украины с 1965 г. и заведующего лабораторией автоматизации МЦ АМЭИ с 1994 г.).

Астрономы не были первопроходцами в научном освоении Терскольских вершин. Группа физиологов во главе с академиком Н. Н. Сиротининым уже давно вела здесь интереснейшие исследования гипоксии и других факторов высокогорья.

Судьбе было угодно, чтобы с начала 1990-х годов физиологи и астрономы объединились в единое учреждение – Международный центр астрономических и медико-экологических исследований, который уже положительно зарекомендовал себя и в Украине, и в России и который служит своего рода моделью плодотворного научно-технического сотрудничества наших стран.

И наконец, я хочу сказать несколько благодарственных слов в адрес руководства и сотрудников Высокогорного геофизического института, возглавляемого сейчас присутствующим здесь академиком М. Залихановым, в адрес коренных жителей Приэльбрусья – семей Залихановых, Бичекуевых, Атакуевых, Байдаевых, Будаевых и многих других, которые на протяжении многих лет оказывали и продолжают оказывать нам дружественную бескорыстную помощь.

Желаю вам, участникам конференции, плодотворной работы и приятного времяпрепровождения в Приэльбрусье.

Я. С. Яцкив

О МЕЖДУНАРОДНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ НА ВЫСОКОГОРНЫХ НАУЧНЫХ БАЗАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ЦЕНТРА АСТРОНОМИЧЕСКИХ И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН УКРАИНЫ, РАН И ПРАВИТЕЛЬСТВА КБР В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ

Выступление директора МЦ АМЭИ В. К. Тарадия
на открытии международной конференции АСТРОЭКО–2002
12 августа 2002 г.

Международный центр астрономических и медико-экологических исследований (МЦ АМЭИ) Национальной академии наук Украины, Российской академии наук и Правительства Кабардино-Балкарской Республики был образован в 1992 г. для сохранения и дальнейшего развития накопленного НАН Украины и РАН в течение нескольких десятилетий потенциала фундаментальных исследований в Приэльбрусье.

После распада СССР благодаря созданию Международного центра на всем пространстве СНГ только в Приэльбрусье удалось сохранить научные базы и продолжить эффективные фундаментальные исследования проблем физиологии и медицины, а позже и проблем астрономии в условиях высокогорья.

Научные базы, созданные в 1970–1990 гг. усилиями НАН Украины, а именно Эльбрусская медико-биологическая станция в поселке Терскол (высота 2100 м) и высокогорная обсерватория на пике Терскол (высота 3100 м) (рис. 1) с лабораторным корпусом в поселке Эльбрус, оснащены уникальными научными комплексами. Базовыми элементами этих комплексов являются:

- крупнейшая на Северном Кавказе термобарокамера, обеспечивающая возможность воссоздания атмосферных условий, соответствующих высотам вплоть до 9000 м (рис. 2);
- второй по величине на территории России телескоп с диаметром зеркала 2 метра производства фирмы “Карл Цейс” (Германия) (рис. 3);
- единственный из ныне действующих на пространстве СНГ солнечный телескоп АЦУ-26 производства Санкт-Петербургского ОМО (рис. 4).

При образовании МЦ АМЭИ научные базы НАН Украины в Приэльбрусье были переданы Центру.

В структуре МЦ АМЭИ имеются три отделения:
– Северокавказское в г. Нальчик (медико-биологические проблемы, экология);
– Терскольское в пос. Терскол (уникальные научные комплексы);
– Киевское (научно-техническое обеспечение научных комплексов, фундаментальные исследования).

НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время МЦ АМЭИ обеспечивает проведение научных исследований учеными Российской Федерации, Украины, а также стран ближнего и дальнего зарубежья по следующим направлениям:
– исследование проблемы взаимосвязи “Человек–Среда–Космос”;
– астрономические исследования кинематических и физических характеристик небесных тел;

– геодинамический и экологический мониторинг Северокавказского региона (тектонические движения, прогнозы катастрофических землетрясений и др.);

– изучение проблем экологической и экстремальной физиологии, климатотерапии, горной и спортивной медицины;

– разработка и внедрение методов реабилитации людей, пострадавших от техногенных катастроф;

– научно-техническое обеспечение разработок, включая создание и оснащение научных комплексов и объектов.

Основным документом, регламентирующим международное сотрудничество по указанным направлениям, является программа "Фундаментальные и прикладные исследования проблем астрономии, экологии и медицины в высокогорных районах Приэльбрусья", утвержденная в 1998 г. президентами НАНУ и РАН и одобренная Советом Международной ассоциации академий наук.

Выполнение заданий программы осуществляется на основе соглашений о научно-техническом сотрудничестве между МЦ АМЭИ и многими украинскими, российскими и зарубежными научными организациями, в том числе:

– Специальной астрофизической обсерваторией РАН (САО РАН);

– Главной астрономической обсерваторией НАН Украины;

– Институтом астрономии РАН;

– Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга;

– Институтом ядерных исследований РАН (ИЯИ РАН);

– Астрономической обсерваторией Одесского национального университета им. И. И. Мечникова;

– Астрономической обсерваторией Киевского национального университета им. Тараса Шевченко;

– Кабардино–Балкарским госуниверситетом;

– Институтом физиологии НАН Украины им. А. А. Богомольца;

– Украинским антарктическим центром;

– Институтом аэрономии общества Макса Планка (Германия);

– Институтом астрономии Болгарской академии наук;

– Институтом астрономии Словацкой академии наук;

– Центром астрономии Университета имени Н. Коперника (Польша);

– Университетом Аристотеля в г. Салоники (Греция);

– Университетом Чонбук (Южная Корея).

Стратегическими партнерами МЦ АМЭИ в области наблюдательной астрономии являются Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Главная астрономическая обсерватория НАН Украины и Институт астрономии РАН, а в области экстремальной физиологии – Институт физиологии НАН Украины им. А. А. Богомольца и Институт медико-биологических проблем РАН.

По ряду направлений МЦ АМЭИ и его партнеры создали совместные проблемные лаборатории с целью повышения эффективности работ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении заданий программы "Фундаментальные и прикладные исследования проблем астрономии, экологии и медицины в высокогорных районах Приэльбрусья" на основе международного сотрудничества были получены весомые научные результаты. Здесь мы остановимся лишь на астрономических исследованиях, поскольку о результатах работ в области физиологии и медицины расскажут в своих выступлениях проф. Х. А. Курданов и д.м.н. П. В. Белошицкий.

1. Совместно со Специальной астрофизической обсерваторией РАН и Центром астрономии Университета им. Н. Коперника (Польша) разработан, построен и внедрен в практику астрономических работ мозаичный эшеле-спектрометр сверхвысокого разрешения в фокусе кудэ 2-м телескопа на пике Терскол. Достигнутые при этом высокое спектральное разрешение и большое значение отношения сигнал/шум позволяет, по мнению специалистов, отнести новый спектрометр к лучшим в мире образцам этого прибора. Создание такого спектрометра позволило приступить к решению принципиально нового класса задач, а именно к спектральным исследованиям звезд-аналогов Солнца, а также диффузных межзвездных полос для поиска углеродных цепочек в межзвездных облаках.

2. Совместно с Главной астрономической обсерваторией НАНУ, Институтом астрономии Болгарской АН, Крымской астрофизической обсерваторией Министерства образования и науки Украины, Университетом Аристотеля в г. Салоники (Греция) организована сеть оптических телескопов для синхронных исследований быстрой переменности звезд. Проведено несколько международных наблюдательных кампаний по синхронному обнаружению вспышек звезд с высоким временным разрешением в $UBVRI$ полосах спектра. Зарегистрированы короткопериодические изменения блеска звезды EV Lacertae. Механизмы этих изменений пока не выяснены.

3. Совместно с Институтом астрономии РАН осуществляется мониторинг областей космического пространства, лежащих за пределами орбиты Юпитера, с целью выявления мигрирующих малых тел Солнечной системы (астероидов), которые потенциально опасны для Земли. Наблюдались зоны двух либрационных точек Сатурна. При этом из обнаруженных более 40 движущихся среди звезд объектов ($21 \div 22$ звездной величины) два были заподозрены как либрационные, требующие дополнительного изучения.

4. Совместно с Институтом ядерных исследований РАН проводится изучение оптического послесвечения областей гамма-вспышек. С помощью 2-м телескопа на пике Терскол осуществлен оптический мониторинг зон трех гамма-вспышек. Полученные результаты переданы в GSN – всемирную сеть мониторинга гамма-вспышек.

   Работы были поддержаны грантом в рамках целевой программы РФ “Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки”.

5. Совместно со Специальной астрофизической обсерваторией и Институтом ядерных исследований РАН создана система реального времени для накопления и архивации наблюдательных данных при проведении космических и астрономических наблюдений на телескопах виртуальной обсерватории в составе МЦ АМЭИ, САО РАН и Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Обеспечен удаленный доступ к информационным (наблюдательным) ресурсам обсерватории на пике Терскол.

   Работы были поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований.

6. Совместно с Институтом аэрономии общества Макса Планка (Германия) и Институтом астрономии Болгарской АН выполнены программы наблюдений объектов Солнечной системы (Юпитер, Сатурн, Меркурий; спутники больших планет, кометы, астероиды) на 2-м телескопе на пике Терскол. Выдающимися результатами этих программ, исходя из заявлений специалистов, высказанных на международных симпозиумах, следует считать наблюдения процесса дезинтеграции (распада) кометы C/1999 S4 (LINEAR) в июле 2000 г., а также наблюдения кометы Борелли во время пролета мимо нее космического аппарата “Deep Space One” (сентябрь 2001 г.). Результаты анализа наземных наблюдений, по которым у кометы Борелли была обнаружена пылевая кома, практически совпали с результатами, полученными с помощью космического аппарата.

Кроме того, была произведена поверхностная фотометрия плазменного тора спутника Юпитера Ио, фотометрия и астрометрия внутренних спутников Юпитера (Метис, Амальтея, Адрастея и Теба), поверхностная фотометрия Меркурия. Полученные результаты использовались при планировании полетов к объектам Солнечной системы (эксперименты "Rosetta" и "Cassini").

7. Совместно с РКК "Энергия", НПО им. С. А. Лавочкина и НПО им. Хруничева решались практические задачи космической навигации в геостационарной зоне, включая оптическое сопровождение запусков космических аппаратов, режимы разделения спутника с разгонным блоком и другие.

В заключение хочу поблагодарить Президиум НАН Украины, Президиум Российской академии наук, а также Правительство Кабардино–Балкарской Республики за внимание, поддержку и помощь.

В. К. Тарадий

Plenary Sessions

Editors: B. Zhilyaev, Yu. Balega

НАЗЕМНАЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВАЯ АСТРОНОМИЯ: НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И. И. Зинченко

Институт прикладной физики РАН
Ульянова, 46, 603950 Нижний Новгород, Россия
e-mail: zin@appl.sci-nnov.ru

Обсуждается научная значимость миллиметровой и субмиллиметровой астрономии, в частности для космологии и исследований звездообразования. Описываются атмосферные ограничения и недавние достижения в приемной технике. Дается краткий обзор наземных субмиллиметровых обсерваторий и их сравнение с космическими проектами.

GROUND–BASED SUBMILLIMETER ASTRONOMY: SCIENTIFIC GOALS AND PROSPECTS, by Zinchenko I. I. – The scientific importance of millimeter and submillimeter astronomy is discussed, in particular for cosmology and star formation studies. The atmospheric limitations and the recent achievements in the receiver technology are described. The ground-based submillimeter facilities are briefly reviewed and compared with space projects.

ВВЕДЕНИЕ

Диапазон миллиметровых и субмиллиметровых волн остается последним относительно неизученным участком электромагнитного спектра в астрономии, что создает потенциал для новых открытий. Бóльшая часть миллиметровых и субмиллиметровых фотонов рождается в “холодной” Вселенной: плотных межзвездных газопылевых облаках, околозвездных оболочках и т. п. Это следует из закона Планка. Действительно, пик излучения межзвездной пыли с характерной температурой 20–30 K лежит в субмиллиметровом диапазоне. Этот диапазон также чрезвычайно насыщен спектральными линиями, отвечающими в основном переходам между вращательными уровнями молекул с относительно низкой энергией возбуждения. Важно то, что межзвездные облака практически прозрачны на миллиметровых и субмиллиметровых волнах, в отличие от оптического диапазона, где поглощение может достигать 100^m и более. Таким образом, они представляют собой уникальный инструмент исследования внутренних областей плотных межзвездных облаков, которые являются “колыбелями” новых звезд и недоступны для других методов астрономических исследований. Это и есть основной движущий фактор для миллиметровой и субмиллиметровой астрономии: исследования образования звезд и галактик. В то же время наблюдения в этом диапазоне дают бесценную информацию и для многих других областей астрофизики. Достаточно упомянуть исследования микроволнового фона в космологии.

НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ МИЛЛИМЕТРОВОЙ И СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ АСТРОНОМИИ

Космология. Пик 2.7 K микроволнового фона лежит на волнах $\lambda \approx 2$ мм. В последние годы достигнут огромный прогресс в исследованиях этого излучения, которое представляет собой остаток Большого Взрыва. В частности, надежно установлен чернотельный характер спектра фона, обнаружена мелкомасштабная анизотропия и, более того, изучается пространственный спектр этой анизотропии.

Интересной и важной областью использования субмиллиметровых волн в космологии является эффект Сюняева–Зельдовича (ЭСЗ). Это слабое искажение спектра фона за счет рассеяния фоновых фотонов на высокоэнергетичных электронах в скоплениях галактик. ЭСЗ проявляется как уменьшение интенсивности фона на частотах ниже 218 ГГц и возрастание на более высоких частотах [1]. Если температура электронов определяется независимо, например из рентгеновских измерений, то знание всего спектра ЭСЗ позволяет оценить массу газа в скоплении (тепловой эффект) и пекулярную скорость скопления (кинетический эффект). Недавний анализ с полным учетом релятивистских эффектов показал, что для наиболее горячих скоплений

($T_e > 8$ кэВ) спектр ЭСЗ существенно отклоняется от предсказанного Сюняевым и Зельдовичем (например [2]). Это особенно существенно в субмиллиметровой области. Было показано, что отсюда можно определить электронную температуру по миллиметровым и субмиллиметровым измерениям без привлечения рентгеновских данных [3].

К настоящему времени предсказанный декремент микроволнового фона был зарегистрирован в направлении примерно 50 скоплений галактик на сантиметровых и миллиметровых волнах [1]. Начаты также поиски субмиллиметрового избытка [4]. Но пока они не захватывают частоты ожидаемого пика. Другие важные приложения субмиллиметровых волн в космологии включают в себя глубокие обзоры неба, поиск поляризации фона и пр.

Межзвездная среда и звездообразование. Как указано выше, основной движущий фактор для субмиллиметровой астрономии – это исследования звездообразования. В коротком обзоре невозможно затронуть все аспекты этих исследований. Мы сосредоточимся в основном на наших собственных результатах.

Миллиметровые и субмиллиметровые наблюдения дают возможность детально исследовать структуру и кинематику звездообразующих сгустков. В качестве примера можно упомянуть наши обзоры плотных массивных ядер в различных молекулярных линиях: HCN, CS, NH_3, HNCO, $C^{18}O$, SO, N_2H^+ [5–12]. Эти наблюдения покрывают диапазон частот от 22 ГГц до 460 ГГц с помощью ряда инструментов (РТ-22 КрАО, SEST-15m, OSO-20m, Effelsberg-100m, HHT-10m). Во-первых, они дали статистические результаты об основных параметрах ядер: массе, размере, плотности, температуре, дисперсии скоростей и пр. (рис. 1).

Кроме того, получена информация о профилях плотности в ядрах, их вращении и др. Особый интерес представляет обнаружение большого числа предположительно сжимающихся ядер, как следует из особенностей формы линий. Для дальнейших исследований таких объектов весьма важны субмиллиметровые наблюдения, которые позволяют изучать более плотные и горячие области.

Важно, что в субмиллиметровый диапазон попадает пик излучения пыли в областях звездообразования. Наиболее плотные и холодные сгустки можно изучать только по их пылевому излучению, поскольку молекулы вымерзают на пылинках. Измерения поляризации этого излучения дают информацию о магнитных полях в этих сгустках.

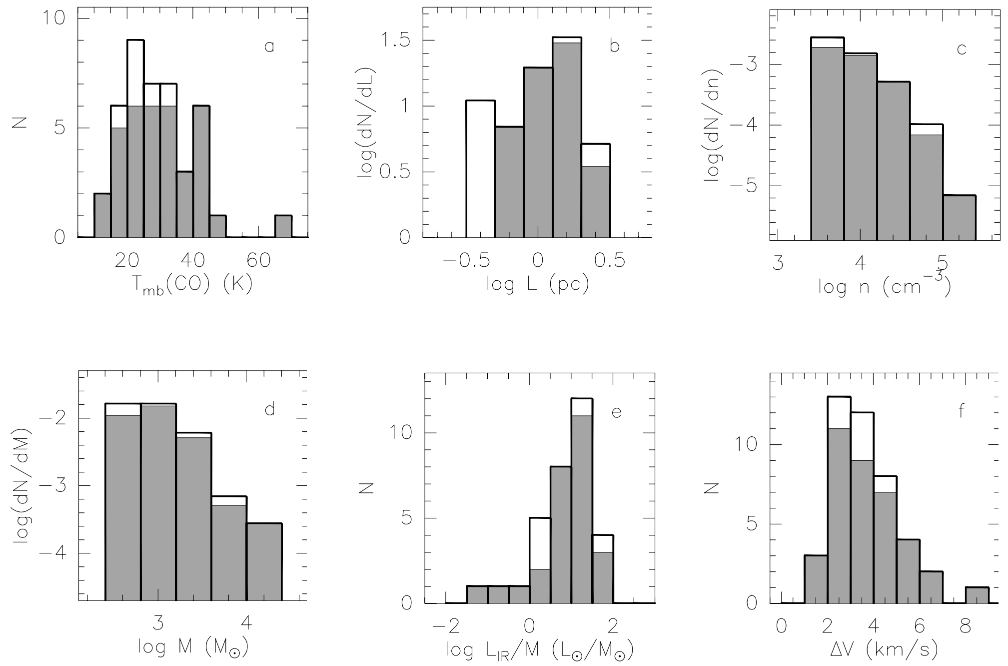


Рис. 1. Гистограммы яркостной температуры CO (a), размера (b), средней плотности (c), массы (d), отношения ИК светимости к массе (e) и ширины линий CS (f) для массивных ядер в направлении мазеров H_2O [8]

Субмиллиметровый диапазон очень важен для астрохимии. Он чрезвычайно богат спектральными деталями, как можно видеть, например, на рис. 2, где показан спектр Ориона KL вблизи 215 ГГц, измеренный при помощи радиотелескопа SEST. Даже довольно слабые детали в этом спектре представляют собой реальные линии. Многие из них пока не отождествлены.

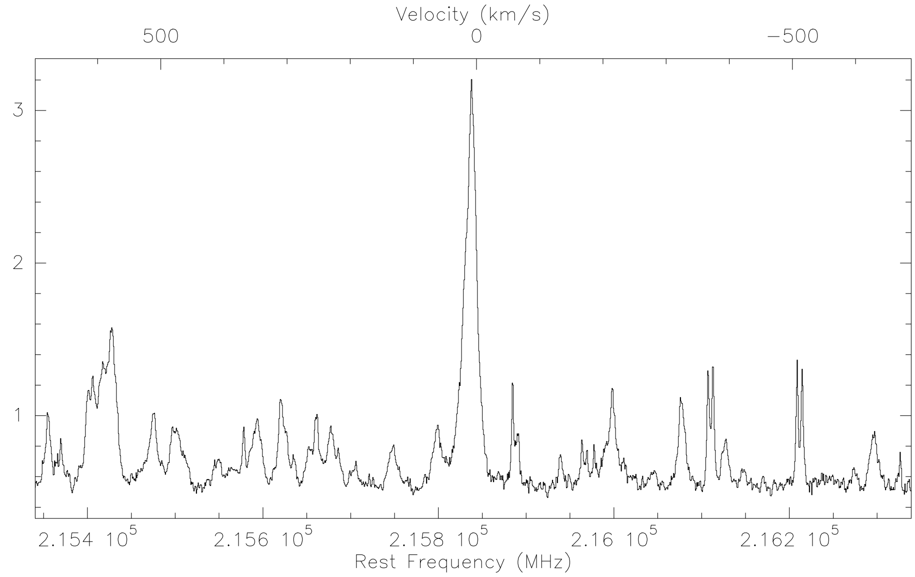


Рис. 2. Спектр Ориона KL в окрестностях линии ^{34}SO вблизи 215 ГГц, измеренный при помощи радиотелескопа SEST в Чили

Различия химического состава сгустков могут быть связаны, в частности, с их эволюцией, так как содержание различных молекул по разному изменяется со временем. Некоторые молекулы (SiO, SO и др.) являются эффективными индикаторами ударных волн.

В субмиллиметровом диапазоне можно наблюдать атомы и молекулы, трудно доступные на других частотах. Важными примерами являются нейтральный углерод с переходами между уровнями тонкой структуры на частотах 492 и 810 ГГц, HDO (465 и 894 ГГц) и др. Здесь перечислены только переходы, наблюдаемые с поверхности Земли.

АТМОСФЕРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Вследствие сильного поглощения в атмосферных газах (в основном в кислороде и парах воды) миллиметровые и субмиллиметровые наблюдения с поверхности Земли возможны только в ограниченных частотных интервалах, так называемых окнах прозрачности атмосферы. Зависимость прозрачности от частоты для очень низкого содержания водяного пара представлена на рис. 3. Все показанные окна прозрачности уже используются для наземных наблюдений (например [13]). Имеются дополнительные "окна" на частотах до 1500 ГГц, но там поглощение гораздо выше, так что наблюдения возможны только с Южного полюса и некоторых других очень сухих и высоких мест.

СУБМИЛЛИМЕТРОВЫЕ ПРИЕМНИКИ И ОБСЕРВАТОРИИ

В последние годы достигнут огромный прогресс в развитии приемной техники миллиметрового и субмиллиметрового диапазона. На частотах до 700 ГГц шумовая температура приемников вплотную приблизилась к фундаментальному квантовому пределу $h\nu/k$ (рис. 4). Это достигнуто при помощи супергетеродинных приемников со смесителями на переходах сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС) на основе ниобия (Nb), работающих при температуре 4.5 K. На более высоких частотах энергия фотонов превышает ширину энергетической щели в Nb и характеристики смесителей быстро ухудшаются.

На этих более высоких частотах лучшие параметры достигнуты со смесителями, представляющими собой болометры на горячих электронах. Принцип их действия основан на разогреве электронов излучением в тонких пленках сверхпроводника и быстрой их релаксации за счет либо

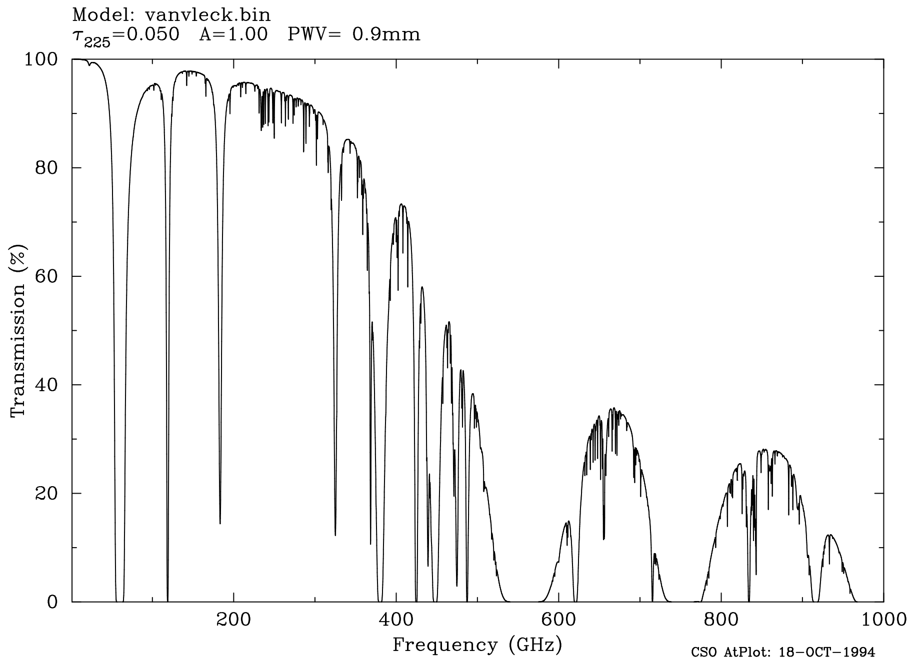


Рис. 3. Прозрачность атмосферы над Мауна Кеа при 0.9 мм осажденной воды в атмосфере

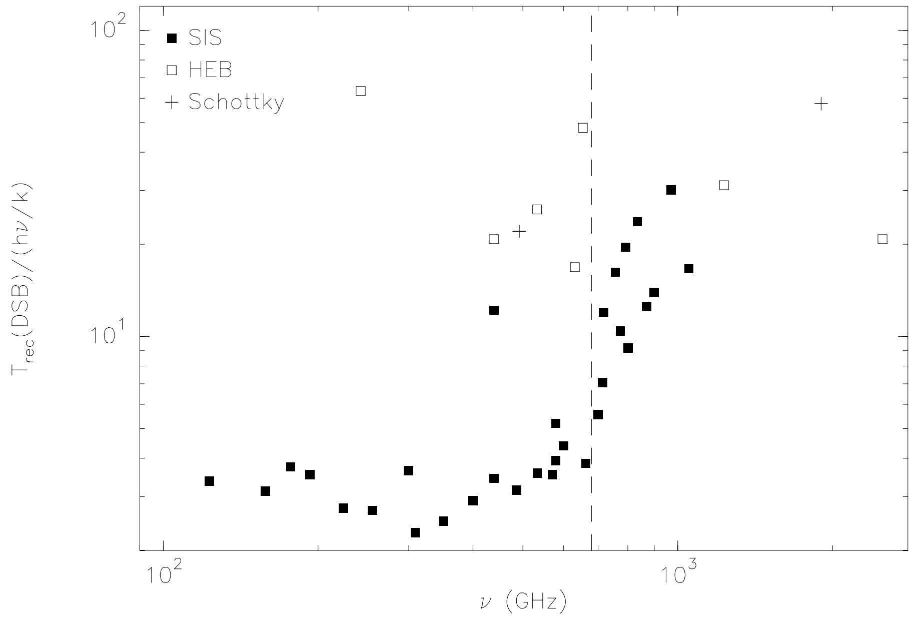


Рис. 4. Шумовая температура миллиметровых и субмиллиметровых приемников разного типа в зависимости от частоты в единицах “квантового предела”, $h\nu/k$

фононного, либо диффузионного охлаждения. Изменения электронной температуры ведут к изменению сопротивления. Короткое время релаксации позволяет использовать их как смесители. Такие приемники уже успешно использовались на частотах порядка 1 ТГц [14].

В настоящее время в мире успешно функционируют несколько субмиллиметровых обсерваторий (KOSMA, CSO, JCMT, HHT, SEST). Они расположены на высотах от 2300 м до 4100 м над уровнем моря. Диаметр зеркал от 3 до 15 м. Точность поверхности от 15 до 70 мкм, что обеспечивает рабочий диапазон до 1 ТГц. Почти закончена субмиллиметровая решетка (SMA). Она расположена на Мауна Кеа на высоте 4080 м и состоит из восьми 6-м антенн с точностью поверхности 12 мкм. Длина базы изменяется от 8 до 508 м, что дает угловое разрешение $0.1''$.

ПРОЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Наиболее амбициозный проект в данной области – это Большая антенная решетка в Атакаме. Она строится на высокогорном плато (высота 5000 м) в пустыне Атакама (Чили). Решетка состоит из 64 12-м антенн с точностью поверхности 20 мкм. Наибольшая база 12 км и разрешение около 6 миллисекунд дуги. Полная площадь 7238 м^2. Чувствительность и угловое разрешение будут равняться или превосходить достигнутые в оптике и ИК-диапазонах. Научные цели включают в себя исследования мельчайших структур и наиболее далеких объектов.

В то же время имеется несколько космических проектов на разных стадиях реализации (ODIN, “Hershel”, SOFIA, “Субмиллиметрон” и др.). Их большим преимуществом является отсутствие атмосферных ограничений, что обеспечивает непрерывное покрытие всего диапазона частот. Однако размеры этих инструментов значительно скромнее, чем у наземных телескопов, так что они не могут достичь такой же чувствительности (по точечным источникам) и углового разрешения. Таким образом, космические и наземные инструменты дополняют друг друга. Первые больше подходят для обзоров (как по пространству, так и по частоте) и исследований протяженного излучения, а вторые – для детального исследования компактных объектов. А наилучшее угловое разрешение может быть достигнуто объединением тех и других в наземно-космический интерферометр.

[1] *Carlstrom J. E., Holder G. P., Reese E. D.* Cosmology with the Sunyaev–Zel’dovich effect // Annu. Rev. Astron. and Astrophys.–2002.–**40**.–P. 643–680.

[2] *Rephaeli Y.* Cosmic microwave background comptonization by hot intracluster gas // Astrophys. J.–1995.–**445**.–P. 33–36.

[3] *Pointecouteau E., Giard M., Barret D.* Determination of the hot intracluster gas temperature from submillimeter measurements // Astron. and Astrophys.–1998.–**336**.– P. 44–48.

[4] *Lamarre J.M. et al.* First Measurement of the Submillimeter Sunyaev-Zeldovich Effect // Astrophys. J.–1998.–**507**.–P. L5–L8.

[5] *Зинченко И. И., Лапинов А. В., Пирогов Л. Е.* Обзор молекулярных облаков, связанных с областями H II из каталога Шарплеса, в линии J=1–0 HCN. Анализ спектральных данных // Астрон. журн.–1989.–**66**.–P. 1142–1153.

[6] *Pirogov L.* J=1–0 HCN toward bright far-infrared sources in the outer Galaxy // Astron. and Astrophys.–1999.–**348**.–P. 600–613.

[7] *Zinchenko I., Mattila K., Toriseva M.* Studies of dense molecular cores in regions of massive star formation. II. CS $J=2$–1 survey of southern H_2O masers in the longitude range $l = 260° - 310°$ // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1995.–**111**.–P. 95.

[8] *Zinchenko I., Pirogov L., Toriseva M.* Studies of dense molecular cores in regions of massive star formation. VII. Core properties on the galactic scale // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1998.–**133**.–P. 337.

[9] *Zinchenko I., Henning Th., Schreyer K.* Studies of dense molecular cores in regions of massive star formation. V. Structure and kinematics of dense cores from ammonia observations // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1997.–**124**.–P. 385.

[10] *Zinchenko I., Henkel C., Mao R.Q.* HNCO in massive galactic dense cores // Astron. and Astrophys.–2000.–**361**.–P. 1079.

[11] *Pirogov L., Zinchenko I., Caselli P., et al.* N_2H^+(1–0) survey of massive molecular cloud cores // Astron. and Astrophys.–submitted.

[12] *Зинченко И. И.* Статистика высокоскоростных потоков в областях образования массивных звезд // Письма в Астрон. журн.–2002.–**28**.–P. 362–369.

[13] *Schilke P., Benford D. J., Hunter T. R., et al.* A Line Survey of Orion-KL from 607 to 725 GHZ // Astrophys. J. Suppl. Ser.–2001.–**132**.–P. 281–364.

[14] *Kawamura J., et al.* Ground-based Terahertz CO Spectroscopy Towards Orion // Amer. Astron. Soc. Meeting.–2001.–**198**, N 59.–P. 18.

FAST *UBVRI* COLORIMETRY OF STELLAR FLARES ON EV LACERTAE

B. Zhilyaev[1,2], Ya. Romanyuk[1], O. Svyatogorov[1], I. Verlyuk[1], I. Alekseev[3], M. Lovkaya[3], S. Avgoloupis[5], M. Contadakis[4], J. Seiradakis[5], A. Antov[6], and R. Konstantinova-Antova[6]

[1] *Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: zhilyaev@mao.kiev.ua

[2] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine

[3] *Crimean Astrophysical Observatory*
Nauchny, 98409 Crimea, Ukraine

[4] *Department of Geodesy and Surveying, University of Thessaloniki*
54006, Thessaloniki, Greece

[5] *Department of Physics Section of Astrophysics Astronomy and Mechanics*
University of Thessaloniki, 54006, Thessaloniki, Greece

[6] *Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Astronomy*
72 Tsarigradsko shose, 1784 Sofia, Bulgaria

БЫСТРАЯ *UBVRI*-КОЛОРИМЕТРИЯ ЗВЕЗДНЫХ ВСПЫШЕК EV LACERTAE, Жиляев Б., Романюк Я., Святогоров О., Верлюк И., Алексеев И., Ловкая М., Авголоупис С., Контадакис М., Сейрадакис Дж., Антов А., Константинова-Антова Р. – Мы сообщаем о первых результатах колориметрического анализа вспышек EV Lac, основанного на *UBVRI*-данных, полученных в течение кампании синхронных наблюдений нескольких обсерваторий в сентябре 1998 г. Цветные характеристики вспышек и недавно обнаруженных высокочастотных колебаний блеска (HFO) находятся в центре внимания этой работы. Колориметрический анализ был выполнен с помощью временных цветовых треков, начиная с самой ранней стадии развития вспышки. Эта методика иллюстрируется на примере относительно сильной вспышки EV Lac 11 сентября 1998 г. Использовалась техника цифровой фильтрации, чтобы оценить: 1) колор-индексы как главной кривой блеска вспышки, так и HFO, 2) их поведение во времени в течение всей продолжительности вспышки. Было найдено, что колор-индексы главной кривой блеска вспышки значительно отличаются от таковых для быстрых колебаний. Первые демонстрируют сглаженные формы. В отличие от этого колор-индексы HFO сильно переменны, в особенности на стадии возрастания блеска. Благодаря HFO цвет вспышки колеблется от глубоко красного до экстремально синего в течение нескольких секунд. Когда вспышка достигла $U \approx -0.8$ зв. вел., цветные треки переместились в область цветных диаграмм, занятых водородной плазмой, оптически толстой в бальмеровском континууме.

Here we report first results of colorimetric analysis of the flare star EV Lac based on the $UBVRI$ data obtained during the course of many-site synchronous monitoring in 1998 September. The color characteristics of flares and small-scale high-frequency oscillations (HFO) recently discovered are in the focus of this work. Colorimetric analysis had been performed with the help of color time tracks, as from the earliest phase of the flare development. This technique is illustrated by the example of a relatively strong flare event of EV Lac on September 11, 1998. The digital filtering technique was used to evaluate: 1) the color indices of both the main flare light curves and HFO, 2) their time behavior during the flare lifetime. It is found that the color indices of the main outburst light curves differ significantly from those of rapid oscillations. The first shows smooth forms. In contrast to this, the corresponding HFO indices are greatly variable, in particular for the ascending part of a burst. On account of HFO the flare color oscillates from deep red to extremely blue on a time scale of seconds. When the flare grew to $\Delta U \simeq -0.8$ mag, color tracks were evolved into the region of color-color diagrams occupied by hydrogen plasma which is optically thick at the Balmer continuum.

INTRODUCTION

The many-site multi-channel simultaneous monitoring of the red dwarf flare star EV Lac was carried out from four separate sites in September – October 1998 [1]. These observations have confirmed the reality of rapid optical brightness oscillations during a significant part of the flare lifetime [6], as was discovered, for the first time, by Rodonó [4] in the Hyades flare star HII 2411. So far it was possible to estimate the color indices of pure flare radiation for strong enough flares nearly their brightness maximum. Infancy of flare development lives in the shadow. Our synchronous observations provide information of high quality on the pure flare radiation as well as on color dynamics and associated rapid optical oscillations practically throughout the flare lifetime. Our approaches and the digital filtering technique allow us to look in the earliest phase of the flare development. An estimation of the color characteristics of the main outburst light curve as well as of rapid oscillations are the primary goals of this paper.

METHODS

The Synchronous Network of distant Telescopes (SNT) project supplies the capabilities to study small amplitude phenomena on the shortest time scales. Fig. 1 shows portions of the high-pass filtered U and R data and of the low-pass filtered U light curve from the sets of EV Lac measurements obtained with the 1.25-m telescope in Crimea. This flare event has been observed synchronously with the 30-inch telescope at the Stephanion Observatory in Greece too. Time variations in HFO were found coincided within experimental errors [6]. Now we have a good chance of following its characteristics, including color variations, during the whole flare light curve. A quantitative colorimetric analysis of this flare event is presented below.

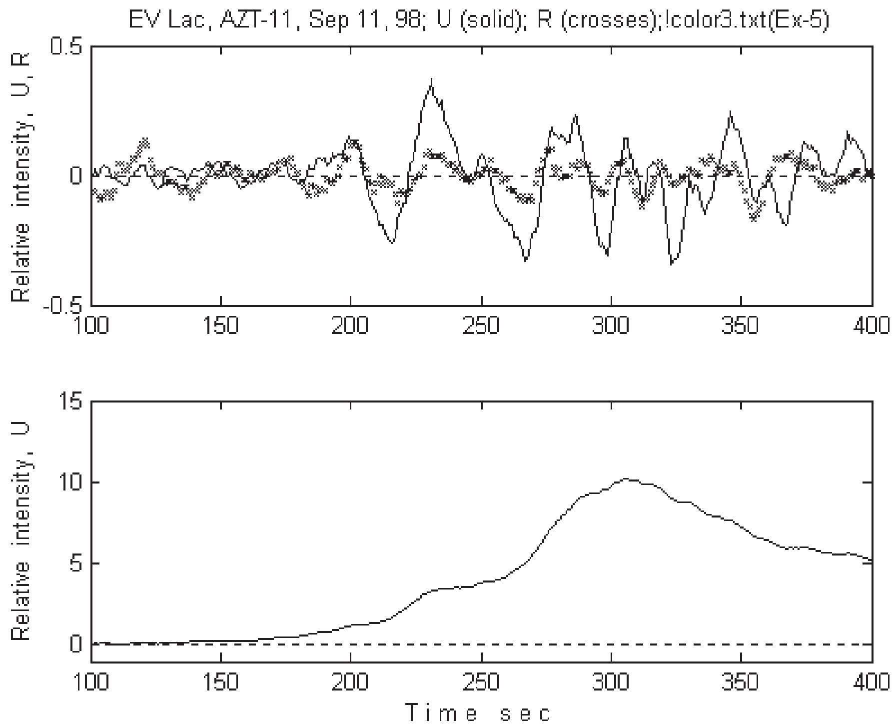


Figure 1. The EV Lac flare light curve in U (lower panel) and superimposed high-frequency oscillations in U (the solid lines) and in R (crosses) bands shown in the upper panel, from the set of data obtained with the 1.25-m Crimean telescope on Sept. 11, 1998, 21:55:02 UT (max). The curve in R is magnified by a factor of 10

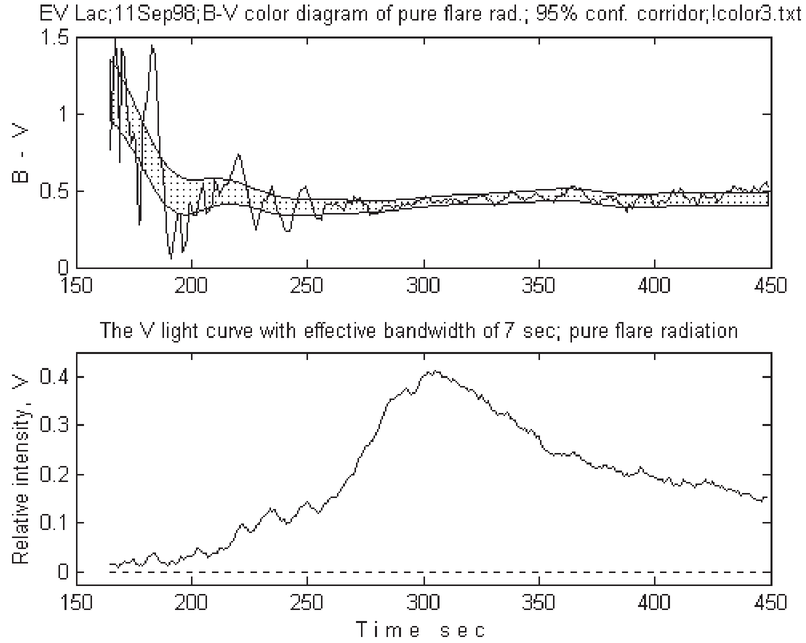


Figure 2. Time variations in the $B-V$ color and the V light curve smoothed by a low-pass filter with an effective bandwidth of 7 s. The error corridor shown presents the 95 % confidence interval for the filtered $B-V$ data from quantum statistics consideration

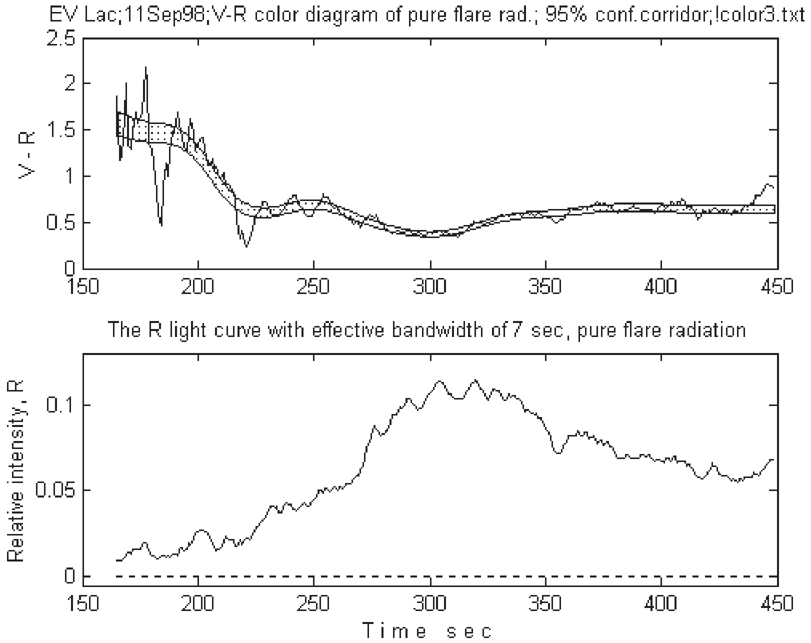


Figure 3. Time variations in the $V-R$ color and the R light curve smoothed by a low-pass filter with an effective bandwidth of 7 s. The error corridor shown presents the 95 % confidence interval

We have used the Kaiser convolution to eliminate the main outburst light curve from the sets of EV Lac data and the moving-average to suppress high-frequency noises. Details of the filtering technique used are described by Zhilyaev *et al.* [6]. The Kaiser filter parameter choices are the cutoff frequency 0.02 Hz, and the width of transition band 0.02 Hz, and the stop band loss 60 decibels. Time variations in the color indices of the $UBVR$ system are shown in Figures 2–3. The error corridor shown presents the 95 % confidence interval for the filtered data. The errors of individual measurements may be estimated from quantum statistics consideration. The filtering procedure decreases the covariance of noises in proportion to the filter pass-band. Rapid variations in colors in the flare rise, many of which vary by a magnitude beyond the error ranges give evidence for their reality.

The analysis in terms of color characteristics may be the basic approach for a full and just evaluation of radiation mechanisms reproducing the flare radiation. Foremost the colors observed have to be good in precision to come to success. We have to note, however, that so far adequate accuracy was achieved only for the most powerful flares near their brightness maximum. Many authors have touched on problems of color-color diagrams to explain where and how optical continuum arises [3, 5]. Theoretical diagnostic diagrams have been calculated for different sources of radiation: for the black bodies of various temperatures, for hydrogen plasma of different optical thickness at the Balmer continuum, for radiation caused by a rapid flow of electrons and protons at an energy of hundreds keV and a few MeV, respectively [2]. Such an approach allowed to conclude that none of mechanism mentioned seems to favor separately in order to account for the observed colors during a stellar flare [3].

We may mention, however, that the color-color diagrams have a diagnostic value with the full awareness of one of mechanism has become predominant in its power. There have not been made successive revisions towards a possible mixture of several mechanisms reproducing the flare radiation simultaneously. What is pertinent in this connection is that the color-color diagrams exclude linear superposition of fluxes because they are logarithmic by nature.

Next we may note that flare events with $\Delta U \leq 0.8$ mag go out of all classification in the framework of the color-color diagrams because their R, I and partially V fluxes decrease down to undetectable level. We have to note also that some important transient features slip our attention being registered with low time resolution (say, 10 s).

An alternative scheme of color diagnostics that can deepen and widen our understanding of the flare process suggests turning to analysis of the HFO phenomenon. On first sight it culminates near the brightness maximum and dampens at the tile-end of a flare. Using the technique of the 95 % confidence corridor computed by quantum statistics, the color characteristics could be traced with confidence throughout a flare lifetime, including the earliest phase of its development. We shall not here enter into a consideration of the HFO nature because the origin of this phenomenon remains unclear. It is necessary for us to consider what is the role, which HFO play in color dynamics of a flare during its lifetime?

How far limited in its working is the filtering technique in the colorimetric analysis? The limit lies in the fact that noises had assumed quantum nature. At the situation when the 95 % confidence corridor is accepted the technique is working with certainty to the moments when the pure flare radiation measure up levels higher than 0.31, 0.02, 0.013, 0.011 and 0.007 in the $UBVRI$ bands, respectively, with respect to the mean values of quiescent fluxes. We may stress that these levels refer to our particular case of EV Lac as well as the numerical values for the filter used.

RESULTS

Figure 4 shows color-color diagrams with the locations of the theoretical regions computed for various sources of radiation, in particular of hydrogen plasma of different optical thickness at the Balmer continuum [2]. Also shown are color time tracks for the rather smoothed color data and a few widely scattered raw data points falling principally in the earliest phase of a flare lifetime. Typical error ellipses are shown too.

These tracks offer a clear view of which radiation mechanisms can reproduce the flare radiation observed as well as allow an understanding of the role of high-frequency components in the flare process. Time tracks shown in Figure 4 demonstrate that none of the above mentioned mechanism is available on the early stage of the flare. As clearly seen at that interval color indices indicate striking pulsations beyond the error ranges with amplitudes amounting to 0.5 mag and higher. Satisfying agreement between the $B - V$, $U - B$ and $V - R$, $U - B$ data is achieved within about one minute after the flare onset when relative intensities amount to values of about 2.5, 0.24, 0.08, 0.03 and 0.01 in the $UBVRI$ bands, respectively. These values come to only 25 % of the total at the flare maximum. The observed location of all subsequent track points could be reproduced by the mechanism of radiation of hydrogen plasma optically thick at the Balmer continuum with $T_e \simeq 10\,000$ K. It can be seen also that time tracks show subtle systematic runs. This gives confidence that some flare characteristics (temperature, density, optical thickness) tend to evolve slowly through time.

The color-color diagrams in Figure 4 show clearly that HFO lead up to oscillation of the color points. This leads up to grandiose variations in a flare color, from deep red to extremely blue on a time scale of seconds on the ascending phase of the flare. In this context we may deduce that the HFO phenomenon seen in flares plays an important role in theoretical understanding of the flare process. The study of this phenomenon seems to be one of the most powerful tools for physics of stellar flares. What is particularly relevant for us is the ignoring of the HFO phenomenon can lead to the great defect of the modern account of the flare process. There is a good probability that colorimetric analysis in a manner presented here may provide us with a clearer picture of the structure and evolution of stellar flares.

APPENDIX

Both observers and theorists are in the dark about how could appear a stellar flare to the human eye at close range? Figure 5 gives a restored view of flare color behavior as if it would be visible to the naked eye. During this flare on EV Lac on September 11, 1998 stellar light was enhanced by factor of 10 in ultraviolet. To restore the optic characteristics of the flare the $UBVRI$ photometric data were modified according to the spectral sensitivity of the human eye. It is wonder that its primary color exhibits all shades of green. That is because our eye is most sensitive at green wavelengths. It does not perceive ultraviolet all over as well as infrared, and perceives the blue and red lights partially only. On account of high-frequency oscillations the flare shows all the colors of the rainbow, in particular in the flare rise.

[1] *Alekseev I., Antov A., Avgoloupis S., et al.* Coordinated Observations of the Red Dwarf Flare Star EV Lac in 1998 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.–2001.–**17**, N 2.–P. 147–156.

[2] *Chalenko N.* Applications of Theoretical UBVRI Color-Color Diagrams to Colorimetric Analysis of Various Astrophysical Objects // Astron. Rep.–1999.–**43**, N 7.–P. 459–461.

[3] *Gershberg R. E., Shakhovskaya N. I.* Some Results of International Campaigns Initiated by the Crimean Astrophysical Observatory for Invistigation of Flare Stars // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl. Ser.–2000.–N 3.–P. 309–321.

[4] *Rodonó M.* Short-lived Flare Activity of the Hyades Flare Star H II 2411 // Astron. and Astrophys.–1974.–**32**.–P. 337–341.

[5] *Straizys V.* Multicolor Stellar Photometry.–Vilnius: Mokslas Publishers, 1977.

[6] *Zhilyaev B., Romanyuk Ya., Verlyuk I., et al.* Detection of High-frequency Optical Oscillations on the Flare Star EV Lacertae // Astron. and Astrophys.–2000.–**364**.–P. 641–645.

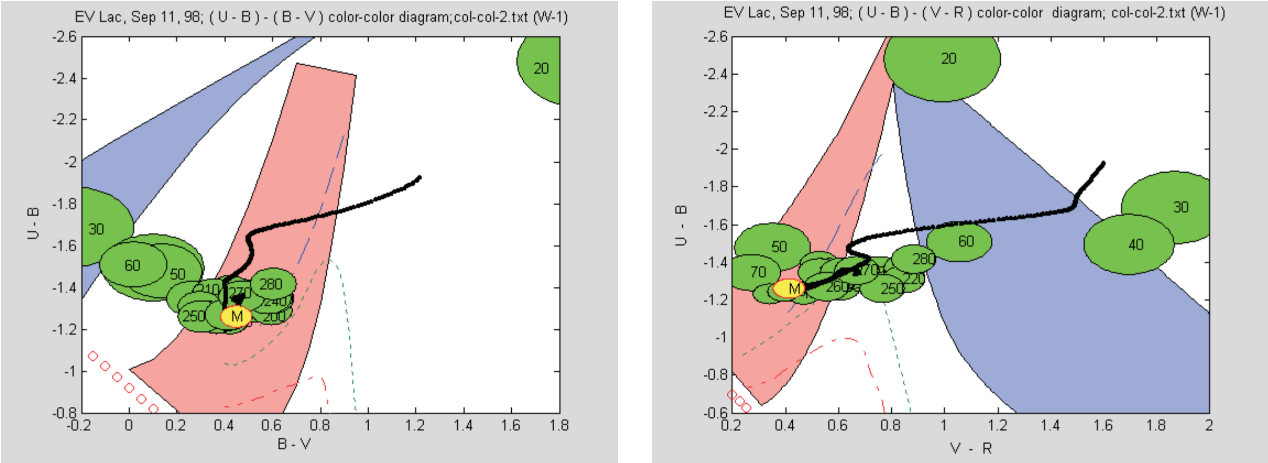


Figure 4. The color-color diagrams of pure flare radiation for the main (the thick line) and raw light curves (the ellipses) smoothed by a low-pass filter with an effective bandwidth of 50 and 3 s, respectively. Theoretical regions for various sources of radiation are shown, namely: radiation of plasma optically thin at the Balmer continuum, with $T_e = 10,000$ K and N_e from 10^{14} to 10^{10} cm^{-3}, the blue area, the same of thick at the Balmer continuum, with T_e from 15 000 to 8 000 K, the pink area. Also shown are the expected radiation of red dwarf upper photosphere heated by a rapid flow of electrons with energies 50, 100, 200 keV (the dashed, dotted, dash-dot lines, respectively) and of blackbody shown as circles [2]. The error ellipses of the respective color indices are marked by run time in seconds from the flare onset. The location of the flare maximum is marked with an M

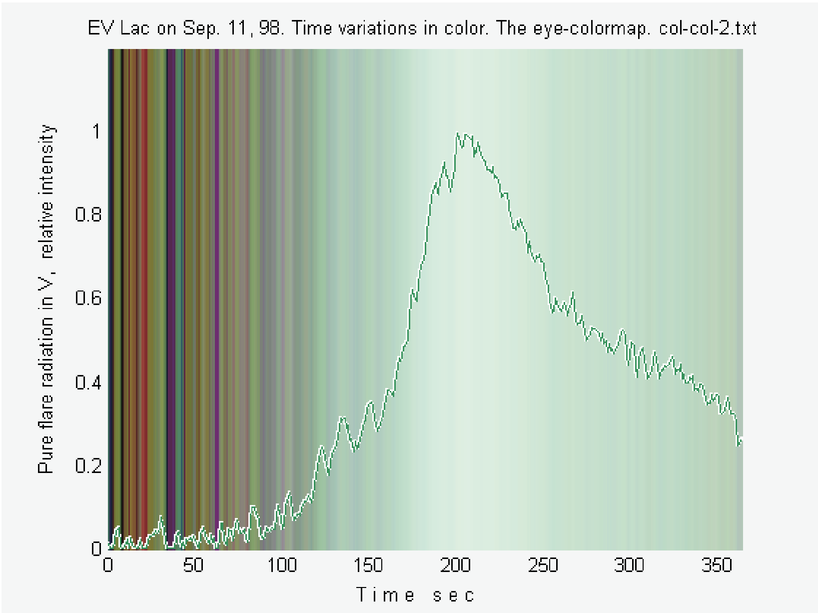


Figure 5. A flare of EV Lac on September 11, 1998. Time variations in color. The eye-colormap

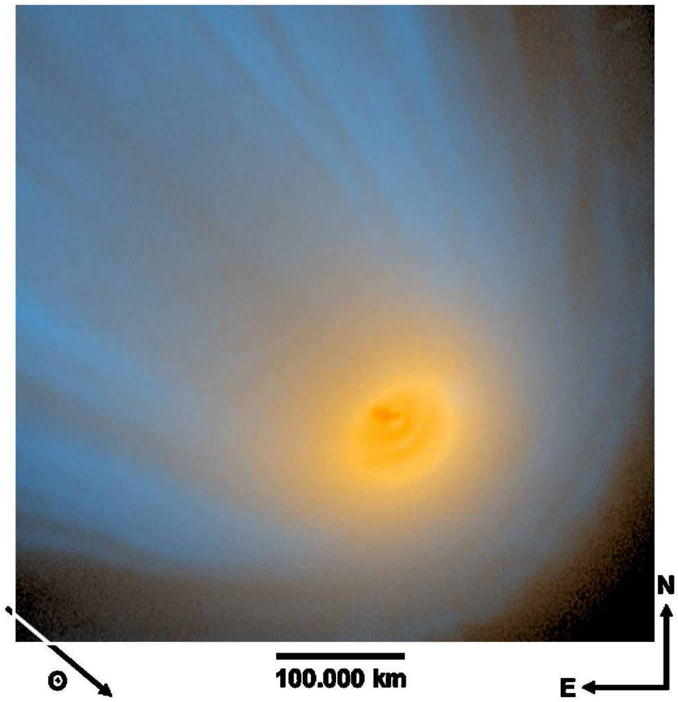


Figure 1. Two-color image of comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) obtained with the Two-Channel Focal Reducer on April 13, 1997. The orange color represents the dust grains of the cometary atmosphere. Note the dust spirals observed in this huge comet. The blue color represents the distribution of cometary ions (here the ion OH^+) [1]

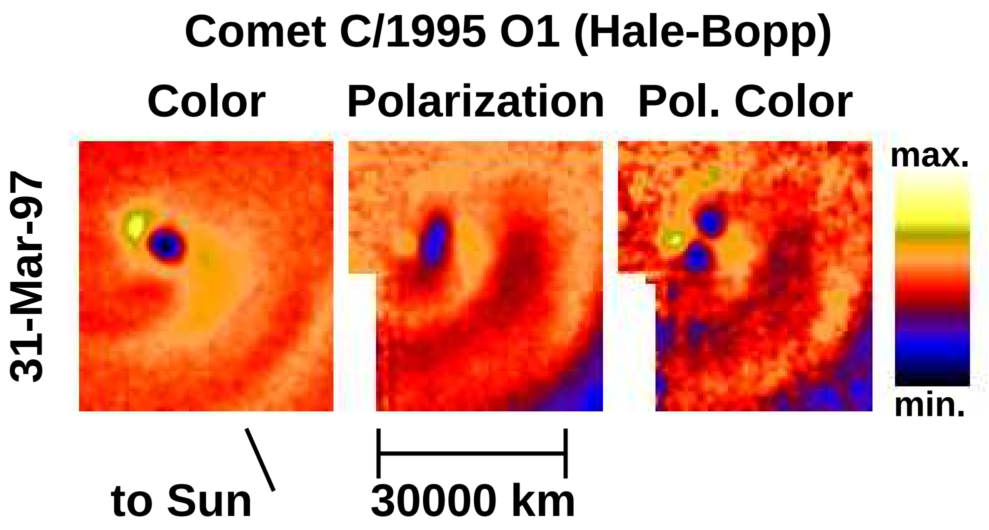


Figure 2. Images of color, polarization, and polarimetric color as observed in comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) on March 31, 1997. The displayed range of dust color extends from 0% to 30% reddening per 1000 Å. The polarization range is from 12% to 20%. The polarimetric color $P_{red} - P_{blue}$, measured at 642 and 443 nm, ranges from 1% to 5%

SIX YEARS OF OBSERVING WITH THE TWO-CHANNEL FOCAL REDUCER OF MPAE AT THE TERSKOL OBSERVATORY

K. Jockers

Max-Planck-Institut für Aeronomie
D-37191 Katlenburg-Lindau, Germany
e-mail: jockers@linmpi.mpg.de

ШЕСТЬ ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ С ДВУХКАНАЛЬНЫМ ФОКАЛЬНЫМ РЕДУКТОРОМ ИНСТИТУТА АЭРОНОМИИ М. ПЛАНКА НА ОБСЕРВАТОРИИ ТЕРСКОЛ, Йоккерс К. – В 1996 г. на пик Терскол был доставлен двухканальный фокальный редуктор Института аэрономии М. Планка для использования на 2-м телескопе системы Ричи–Кретьена–Кудэ. Этот прибор является единственным на этом телескопе устройством получения электронного изображения. Используя комплекс "2-м телескоп–2-канальный фокальный редуктор", ученые Германии в сотрудничестве с русскими, украинскими и болгарскими астрономами занимались изучением газа и пыли в кометах, проводили поляриметрию астероидов и кометного газа, а также выполняли работы по астрометрии и фотометрии внутренних спутников Юпитера. Кроме того, исследовались морфология и светимость плазменного тора спутника Юпитера Ио с целью определения его физических характеристик. В докладе дается краткое описание фокального редуктора, возможности комплекса "2-м телескоп–2-канальный фокальный редуктор" демонстрируются на результатах 6-летнего периода наблюдений.

In 1996 the Two-Channel Focal Reducer of the Max-Planck-Institut für Aeronomie was brought to Terskol Peak for the use at the 2-m Zeiss Ritchey-Chrétien-Coudé telescope. Since then it has been the only electronic imaging device available at this telescope. Using the 2-m telescope, the German side, in collaboration with Russian, Ukrainian and Bulgarian astronomers, has studied gas and dust in comets, conducted polarimetry of cometary dust and asteroids, and astrometry and photometry of the inner Jovian satellites. The morphology and brightness of the plasma torus of the Jovian satellite Io has been investigated in order to derive its physical properties. The focal reducer is briefly described, and the capabilities of the telescope–focal reducer combination are demonstrated with results obtained during the six years of observing.

INTRODUCTION

In 1996 the Max-Planck-Institut fur Aeronomie (MPAe) and the International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research (ICAMER) have agreed on the joint use of the Two-Channel Focal Reducer of MPAe at the 2-m RCC Zeiss telescope of ICAMER. Since then six years have passed by. On occasion of the 10th anniversary of the foundation of ICAMER a brief overview of the results achieved by the German side within the framework of the above agreement is presented below.

THE TWO-CHANNEL FOCAL REDUCER AT THE 2-m RCC ZEISS TELESCOPE OF THE TERSKOL OBSERVATORY

The primary aim of telescopic astronomical observations is to get a close-up view on a celestial object. One, therefore, might think that magnifying power, or, if we speak in terms of photography, focal length is the primary figure of merit for an astronomical telescope or, more accurately, for the combination of a telescope with a modern solid state camera employing CCD detectors. There are two main reasons why this is not the case. First, a telescope represents a "light bucket", *i.e.*, must collect as many photons as possible. The larger the diameter of its primary mirror the more light of a feeble astronomical object is collected and, for a given magnification, the less time it will take to obtain a decent image of the object. On the other hand, the more light enters the telescope, if the exposure time is fixed, the larger can be the magnification of the image we want to get. The second factor limiting the magnification of a large optical ground-based telescope is atmospheric turbulence. Even with the sometimes excellent atmospheric conditions at the Terskol Observatory atmospheric turbulence does not allow to get a resolution much better than 1/20000 of a degree, *i.e.*, 0.18 arcsec. To optimize the scarce and expensive observing time available at large telescopes it is, therefore, important to adjust the focal length of a given telescope to the task of the observations. In its Cassegrain focus the 2-m RCC telescope of the Terskol Observatory has a focal length optimized to the best conditions of atmospheric turbulence. The Two-Channel Focal Reducer of MPAe [2] reduces this focal length by a factor of 2.86 to a resolution of about 1 arcsec. This allows to obtain sharp images even under non-optimum conditions of atmospheric turbulence. At the same time the light gathering power increases by the square of the same factor ($2.86^2 = 8.2$), *i.e.*, less time is needed to get a well-exposed image. As an additional feature the focal reducer has two channels to allow simultaneous images in two colors. In this respect the instrument falls short of an ordinary television camera which has three color channels. But in comparison with a television camera, which is restricted to the natural colors of the human eye, the focal reducer allows filters of wide or narrow bandwidth to be used. In this way the astronomical objects can be observed in the light of important atoms, molecules or ions, or in windows free from such lines (continuum windows), as necessary for the investigated object.

GAS AND DUST IN COMETS

A comet is a "dirty snowball" of a size of about one kilometer. According to present understanding comets were formed from the protoplanetary dust cloud about 4.6 billion years ago at about the distance of present-day planet Neptun. During this long time almost all comets remained at large distances from the Sun and have always been very cold. Therefore, in contrast to the inner, earthlike planets, comets preserved the volatile materials of the early solar system which were lost or modified in the inner solar system where the earthlike planets formed. Despite of most comets being unobservable in the deep voids of the solar system, some are scattered by disturbances of planets or stars into the inner solar system. When they approach the Sun their surface temperature increases and they sublimate their volatile materials (ices). The dust grains (the "dirt" of the dirty snowball) are dragged along with the gases and form the so-called dust coma and dust tail of a comet. The gas molecules of the sublimated ices form the gas coma. They are later ionized, interact with the solar wind and form the cometary ion tail. Despite of the small cometary nucleus, which cannot be resolved with ground-based telescopes, the coma and in particular the dust and ion tails can have a size of many million km and be observed not only in telescopes but also with naked eye. Comet Hale-Bopp was one of these naked-eye objects in spring 1997. In Figure 1 (see page 36) two simultaneous images of this comet, taken with the Two-Channel Focal Reducer, have been combined into a single two-color image. The blue, structured envelopes in the image are representing the cometary ion tail. The arcs form through interaction with the solar wind. The yellow oval in the image is cometary dust. A dust spiral is visible. Dust grains with special properties leave active areas of the cometary nucleus and are dragged into a spiral by the rotation of the nucleus.

We can obtain more information about the dust of comet Hale-Bopp, if besides of investigating dust images we also determine dust color (change of dust brightness with wavelength) and polarization. Images of dust color, polarization and "polarimetric color", *i.e.*, the wavelength dependence of polarization, are shown in Figure 2 (see page 36). The bluer color and reduced polarization at the comet's center as compared to its surroundings has been interpreted as a slow evaporation of a compact organic mantle from a silicate core of the dust grains as the particles leave the cool nucleus surface and are heated by solar radiation [3].

POLARIMETRY OF ASTEROIDS

Asteroids are small bodies in the inner solar system. Most of them orbit the Sun between the planets Mars and Jupiter. They are thought to be left-overs from the small body population ("planetesimals") from which the planets are built. When giant planet Jupiter formed, its gravity increased the relative velocities of neighbouring planetesimals. As a consequence, instead of coalescing and forming another planet, they started to destruct each other. There is evidence for great collisions between asteroids. Their present-day population is said to be in collisional equilibrium, *i.e.*, as a result of collisions smaller and smaller fragments are constantly being formed. These fragments orbit not only between Mars and Jupiter but some of them approach the earth quite closely. One of these objects is asteroid 33342 which, like most cometary nuclei, has a size of about 1 km and approached the earth in Mid-December 2001 to 0.0125 AU. A campaign was organized in order to measure the polarization of this object over a wide range of phase angles (angle Sun-object-Earth). Data were obtained from the Crimean Astrophysical Observatory, the Grakovo station of Kharkov University Observatory and, last not least, from Terskol Peak. The 2-m telescope was used when the asteroid was still faint.

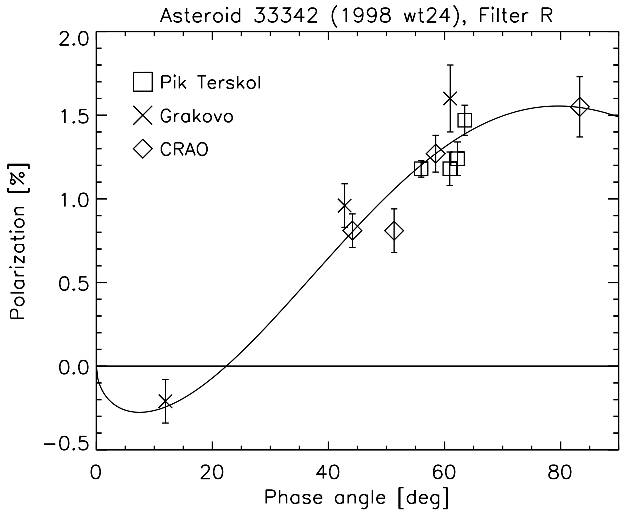


Figure 3. Degree of polarization versus phase angle as observed in asteroid 33342 from several cooperating observatories

The results (see Fig. 3) indicate that the asteroid is of the rare E type (metallic type) with very low polarization. This will help to interpret other data of this asteroid, like, *e.g.*, the first radar data obtained with the help of the Crimean Evpatoria radar.

THE INNER JOVIAN SATELLITES

The four large satellites of Jupiter, Io, Europa, Ganymede and Callisto, discovered by Galileo, were the first objects known to revolve around another celestial body different from Earth or Sun. Inside the innermost of the Galilean satellites, Io, which is at a distance of 5.905 Jovian radii from Jupiter's center, are the inner satellites Thebe, Amalthea, Adrasthea and Metis with semimajor axes of 3.11, 2.54, 1.81 and 1.79 Jovian radii and mean radii of 49.3, 83.5, 8.2 and 21.5 km, respectively. The largest one, Amalthea, was discovered by Barnard in 1892. The other three were detected only during the Voyager mission 1979/80. For ground-based observations they are, like the Jovian ring, normally hidden in the glare of the bright disk of Jupiter. In the last years we have been able to observe them routinely. This is possible partly because of the excellent transparency of the sky at the high altitude site of Terskol Peak, partly because special measures were taken. They are observed mainly in the methane absorption band at 890 nm, where the disk of Jupiter is comparatively dark. In addition, like in a coronograph, a Lyot-stop suppresses the diffraction pattern of Jupiter caused by the telescope optics. An elaborate mask at Cassegrain focus consisting of black glasses of different thickness and absorptivity suppresses the light of Jupiter and of the Galilean satellites, but nevertheless allows their imaging together with the faint inner satellites. This is very important as the images of the inner satellites must be related to calibration objects. The remaining halo of scattered light from Jupiter can be determined from the images and is subtracted during data reduction. Sample images are shown in Fig. 4. Observation of the positions of the inner satellites relative to those of the Galilean ones has allowed to get their accurate astrometric positions, which are needed to correct the orbit predictions for these objects [4]. The inner Jovian satellites are under heavy bombardment by energetic particles of the Jovian magnetosphere. Dust particles are sputtered from the satellite surfaces and are the source for the Jovian ring. To get more information on the nature of the satellite surfaces we have obtained integral photometry of the satellites. In contrast to the existing space observations our observations refer to small phase angles. Observations at very small angles provide the most useful information about the physical structure and texture of the surface layer of the satellite. Due to adverse weather conditions, the minimum angle so far observed is 1.42°. The maximum phase angle was 8.16°. The obtained photometric data allow to measure separately the brightness of both hemispheres with respect to the orbital motion of the satellite, *i.e.*, the brightness of the leading and trailing hemispheres. This investigation may help to understand better the character of the interaction between the satellites and the Jovian magnetosphere. For all satellites the leading hemispheres are brighter than the trailing ones, despite of the fact that the orbital periods of Thebe and Amalthea

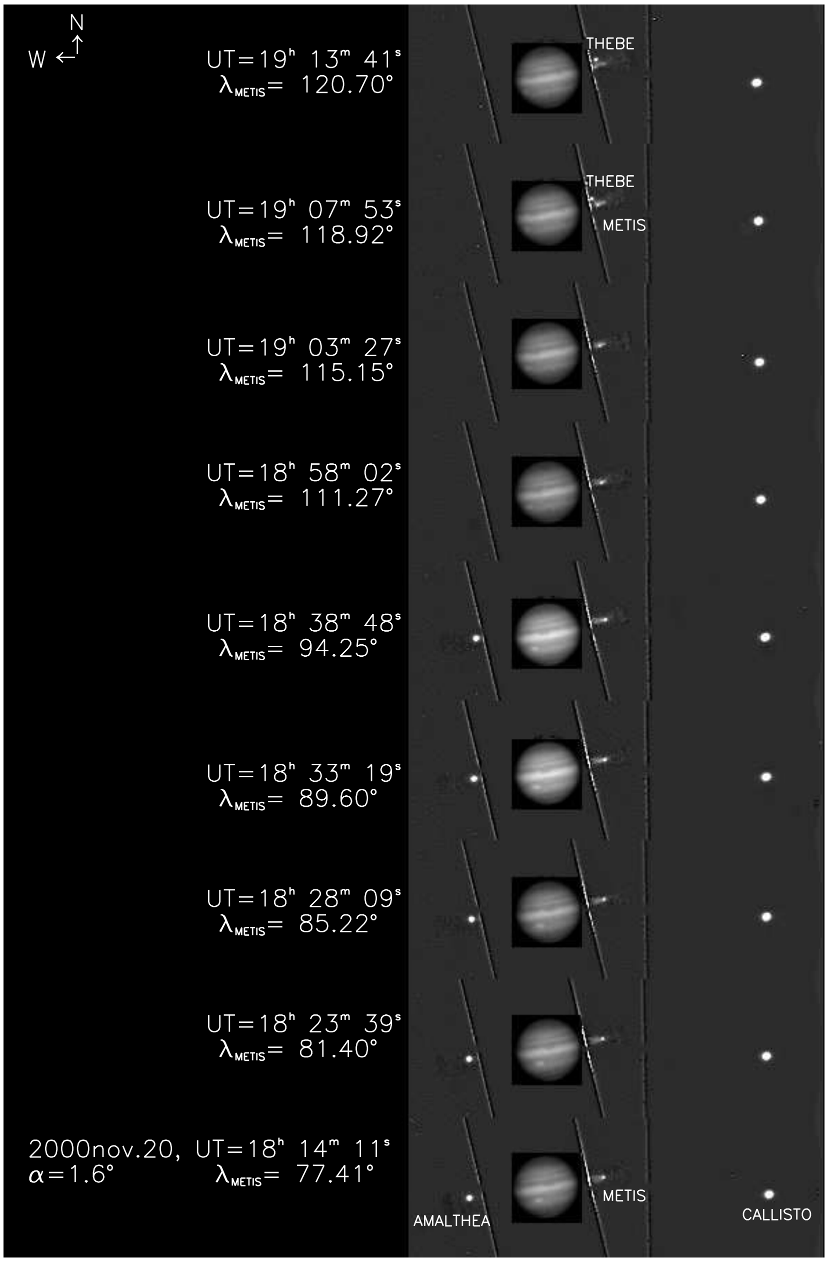


Figure 4. The inner Jovian satellites revealed. The satellite Ganymed is behind a weakly absorbing black glass, and planet Jupiter itself behind a strongly absorbing glass

are larger than Jupiter's rotation period, *i.e.*, the magnetically bound energetic particles hit these satellites on their trailing side, while for Metis the orbital period is smaller, *i.e.*, the particles impinge on its leading side. The albedos of Amalthea, Thebe and Metis decrease with their orbital distance from Jupiter.

THE IO TORUS

Another elusive object in Jupiter's satellite system is the Io torus. The innermost Galilean satellite Io is heated by gravitational interaction with Jupiter and the other Galilean moons. This causes its volcanic activity. Most of its surface is covered by SO_2 frost and there is also a very thin SO_2 atmosphere. The satellite Io orbits in the Jovian magnetosphere, a vast region of corotating ionized

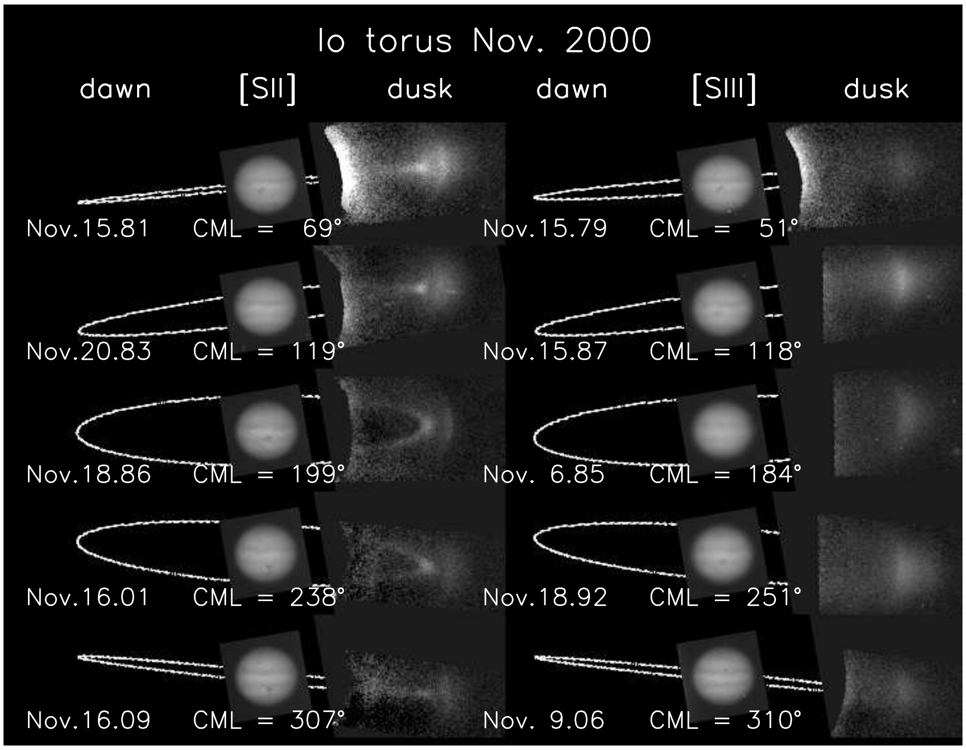


Figure 5. The Io torus, imaged in the forbidden lines of S^+ ([S II]) and S^{++} ([S III])

gas. This magnetospheric plasma dissociates the SO_2 molecules, ionizes them, forces them to rotate around Jupiter and in this way forms the Io torus. As the magnetic dipole of Jupiter is tilted by about 10° with respect to Jupiter's rotation axis, the Io torus is tilted in a similar way. The sulphur and oxygen ions of the Io torus radiate line emission. The strongest lines are due to S^+ and S^{++}. Observations of the torus in the light of these ions allow to determine the torus shape and its density and temperature. Observations of the Io torus are about as difficult as the observations of the inner satellites, for the same reason of scattered light from the bright Jovian disk. A similar setup is used as for the inner moons. In addition, a tunable Fabry-Perot interferometer allows only a very narrow range of wavelengths around the wavelength of the observed ion to be imaged and in this way further suppresses the straylight of Jupiter. Imaging of the Io torus allows to "see" part of the otherwise invisible Jovian magnetosphere and to determine its electron density and temperature. In 1999 and 2000 Jupiter's magnetosphere was investigated by the Galileo space probe, and the observations of the torus conducted at Terskol Peak served as a supplement of the space probe measurements. Fig. 5 shows images of the torus from November 2000 in the light of the S^+ and S^{++} ions. Dawn and dusk are the morning and evening sides of the torus, *i.e.*, the sides where, as seen from an observer in the torus, the sun rises (rotational motion of the torus toward Sun) or sets (rotational motion away from Sun). The ellipsoids represent the location of a ring at Io's distance from Jupiter inclined as the Io torus. An open ellipse indicates that we see part of an open torus. If the ellipse degenerates to a straight line, we see the torus from its side. On the left side of Fig. 5 in the third or fourth panel of the [S II] (S^+) images we see a narrow inner ring (the cold torus) and attached to it a vertically extended feature called ribbon. In the uppermost and lowermost panel of the S^+ images, where we see the torus edge-on, the ribbon continues to be prominently visible. This indicates that it is nearly perpendicular to the plane of the torus. It is caused by warmer ions which, because of their higher temperature, can move up and down along the magnetic field lines of Jupiter. We see from this that the temperature in the Io torus increases with distance from Jupiter. The [S III] (S^{++}) emission comes from hotter regions in the torus. In the light of this ion the cold torus is invisible. In the first row of images bright areas close to Jupiter indicate straylight which could not be properly removed from the images. This happens when during observations a small cloud passed through the field of view of the telescope. A remarkable feature is the separation of cold torus and ribbon which is best visible in the third panel of [S II] (S^+) images. It is not clear what caused this gap. It was not observed in 1999, *i.e.*, in 1999 there was a continuous transition between cold torus and ribbon.

OUTLOOK

For many years the Large Azimuthal Telescope (BTA) of the Special Astronomical Observatory with its 6m mirror has been the largest telescope of the world. In recent years, based on the design of the BTA and improving it, a number of larger telescopes have been built and more of these huge telescopes are under construction. In this new era 2 m size telescopes are considered as survey telescopes to find the objects which then will be investigated more deeply with the huge telescopes. A proper way of operation is provided in the framework of a "virtual observatory", where survey data are made available to all astronomers for use in their different fields. Another way to compete with the huge telescopes has been to specialize on objects which are bright enough to be observable with medium-sized telescopes but which nevertheless have not been studied extensively. As demonstrated in this study small bodies of the solar system are suitable objects partly because of their temporal variability and partly because they require special observing techniques not always available at the huge telescopes. In our cooperative program the 2-m RCC Zeiss telescope of the Terskol Observatory has produced internationally competitive results, and it can do this not only in the field of solar system astronomy. The present author hopes, however, that sooner or later a huge Russian telescope will be available and give the East-European astronomical community the research tool they deserve.

[1] *Jockers K., Bonev T., Credner T.* Observations of ions in comets: A contribution towards understanding the comet-solar wind interaction // Astrophys. and Space Sci.–1999.–**264**.–P. 227–234.

[2] *Jockers K., Credner T., Bonev T., et al.* Exploration of the solar system with the two-channel focal reducer at the 2m-RCC telescope of Pik Terskol Observatory // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl. Ser, "Astronomy in Ukraine – 2000 and Beyond (Impact of International Cooperation)" / Ed. Ya. S. Yatskiv.–2000.–**3**.–P. 13–18.

[3] *Kolokolova L., Jockers K., Gustafson B. Å. S., Lichtenberg G.* Color and polarization as indicators of comet dust properties and evolution in the near-nucleus coma // J. Geophys. Res.–2001.–**106**.–P. 10113–10127.

[4] *Kulyk I., Jockers K., Karpov N., Sergeev A.* Astrometric CCD observations of the inner Jovian satellites in 1999–2000 // Astron. and Astrophys.–2002.–**383**.–P. 724–728.

HIGH-RESOLUTION SPECTRA OF DARK INTERSTELLAR CLOUDS

J. Krełowski[1], **G. Galazutdinov**[2], **F. Musaev**[2,3]

[1] *Toruń Center for Astronomy*
Gagarina 11, Pl-87-100 Toruń, Poland
e-mail: jacek@astri.uni.torun.pl

[2] *Special Astrophysical Observatory, 369167 Nizhnij Arkhyz, Russia*
e-mail: gala@sao.ru, faig@sao.ru

[3] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*

СПЕКТРЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ТЕМНЫХ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ, Креловски Я., Галазутдинов Г., Мусаев Ф. – В работе представлен ряд новых спектров, полученных с помощью кудэ-эшеле-спектрографа, установленного в фокусе кудэ 2-м телескопа на пике Терскол. Достигнутое недавно очень высокое разрешение ($R = 500\,000$) позволяет анализировать формы профилей особенностей спектров межзвездного поглощения. Особенности проявляются или резко очерченными (если происходят от атомов газа или простых молекул), или очень сложными профилями (неидентифицированные диффузные межзвездные полосы – DIBs). Предполагается, что DIBs происходят от сложных углеродосодержащих молекул, которые могут содержаться в темных межзвездных облаках. Анализ их профилей высокого разрешения является, по-видимому, наиболее перспективным путем для идентификации производителей этих загадочных спектральных особенностей.

The paper presents brand new spectra acquired with the aid of the coude echelle spectrometer installed at the coude focus of the 2-m telescope at Terskol Peak. Very high resolution ($R = 500\,000$), available since very recently, allows analysis of profile shapes of interstellar absorption spectral features. The latter are either very sharp (if originated in gas atoms or simple molecules) or show very complicated profiles (unidentified diffuse interstellar bands – DIBs). DIBs are believed to originate in complex, carbon–bearing molecules, possibly present in dark interstellar clouds. An analysis of their high-resolution profiles seems to be the most prospective way to identify the carriers of these puzzling spectral features.

INTRODUCTION

Various interstellar absorptions may originate in dark, interstellar H I clouds (ISM clouds). Some of them are well–identified atomic lines or bands carried by simple 2–3 atom molecules, some others remain unidentified (diffuse interstellar bands – DIBs). The whole spectrum of a dark, interstellar cloud may be composed of:

- continuous extinction – the selective attenuation of the light of stars shining through ISM clouds; the most interesting part of the extinction curve is situated in the vacuum–UV. For a review see [13, 17],
- polarization – closely related to extinction and probably caused by the same dust grains but partially aligned, most probably by the galactic magnetic field,
- atomic lines of Fe I (3719.937, 3859.913 Å), Ca II (H – 3968.468 & K – 3933.663 Å), Ca I (4226.728 Å), Na I (D_1 – 5895.9236 & D_2 – 5889.9504 Å), Li I (6707.83 Å), K I (4044.136, 4047.206 & 7698.959 Å) and others, observed only in extraterrestrial ultraviolet – see [2, 18]. In many cases these features show several Doppler components because of different radial velocities of clouds situated along the same sightline,
- molecular features of CN (3873.37, 3873.998, 3874.608, 3875.763 Å), CH (3878.768, 3886.41, 3890.213 & 4300.321 Å), CH^+ (4232.54 Å & 3957.70 Å), C_2 (8750 – 8775Å) and C_3 (near 4052 Å); in the vacuum–UV strong bands of CO and H_2 are observed. For a review see [20],

• numerous unidentified, diffuse interstellar bands. The recent surveys [3, 8, 14] have grown their number to about 300. Most of these interstellar features are barely visible even in high S/N spectra. For a review see [7].

The absorption spectra of ISM HI clouds reveal the complexity of physical processes which take place inside them. The behaviour of spectral features reflects variations of physical parameters characterizing the intervening clouds [12]. Apparently this causes the observed variations of DIB intensities and profiles. Relating the DIB behaviour to that of the identified interstellar features one can try to understand how the DIB carriers react to variations of temperature or density. To do this it is necessary to search for targets obscured by only one cloud to avoid confusion caused by ill–defined averages. A reliable description of physical processes inside the ISM should be restricted to such individual clouds.

The latter requirement is, in fact, very severe. Usually heavily reddened stars are observed through several clouds. Any physical parameter averaged along such a line of sight hardly makes any sense. On the other hand, low reddenings are usually connected with weak DIBs (DIB strengths are correlated reasonably tightly with a colour excess – see, *e.g.*, [16]). It is very difficult to record spectra in which the noise does not contaminate seriously profiles of weak features.

PROFILES OF ATOMIC GAS INTERSTELLAR LINES

The ground–based observations can cover only a few spectral lines, originating in atoms of neutral interstellar gases. Among them the Na I lines are usually saturated and thus their intensities (equivalent widths) cannot be directly correlated with those of diffuse interstellar bands as the latter are far from the saturation level. The line which is always observed but very rarely saturated is that of K I (7699 Å). Krełowski, Galazutdinov & Musaev [15] proved that narrow diffuse bands, such as 5797 or 6379 are well–correlated with this line. The observed relation may suggest that intensities of some DIBs depend on the ionization conditions inside certain clouds. To interpret observed profiles of K I lines we need, however, high-resolution profiles – free of possible contamination by the instrumental profile. Fig. 1 shows how the growing resolution in spectra from CEGS (SAO) and the MAESTRO spectrometer fed with the 2-m Terskol telescope changes the observed shape of the K I line profile.

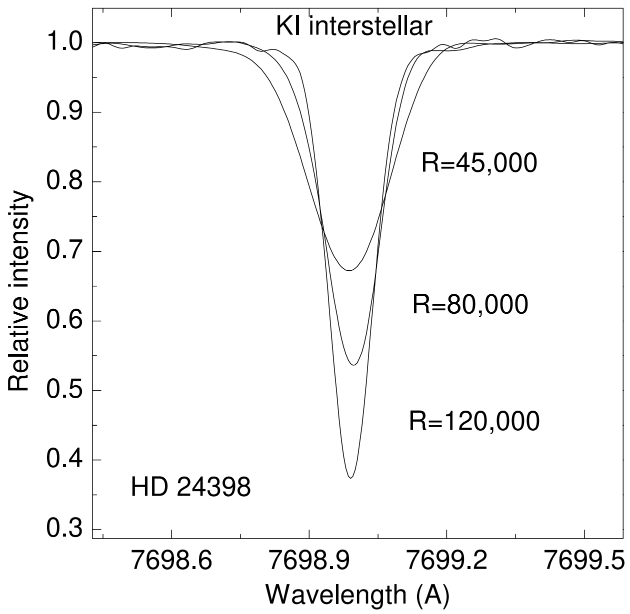


Figure 1. The effect of growing resolution. The interstellar line was observed in the spectrum of ζ Per at SAO and Terskol with three different resolutions

SPECTRAL ABSORPTION FEATURES OF SIMPLE MOLECULES

Currently it is rather commonly accepted that diffuse bands originate in some interstellar molecules, most probably complex, carbon–bearing ones. It may be thus interesting to relate the DIB intensities to those of the features originating in some well–identified, simple molecules, such as CH, CN or CO. The latter spectral features are also very sharp because of the very low density of ISM. The presence of free radicals, like CH, brings the evidence supporting the above phrase. The latter molecule cannot exist in any denser environment.

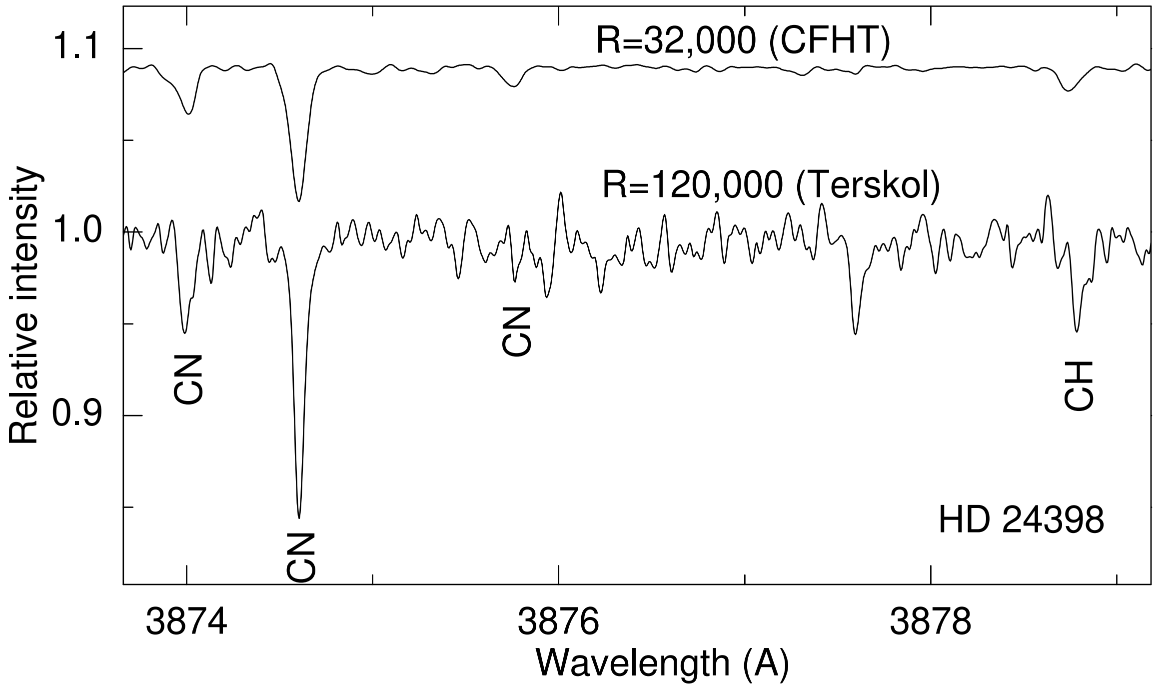


Figure 2. The effect of growing resolution observed in the CN band. The spectra are from CFHT ($R = 32\,000$) and Terskol ($R = 120\,000$)

Homonuclear molecules such as H_2, C_2 or C_3 have been discovered much later. The hydrogen molecule is difficult to be observed as its spectral features are situated in far–UV and thus available only to extraterrestrial observations. The other two above mentioned species reveal their presence by absorption bands available to ground based observations. However, as typical bands originating in homonuclear molecules contain many features, the absorbed energy is quite evenly distributed among them which leads to their shallowness and makes their detection difficult. Currently the MAESTRO spectrometer is capable of recording the infrared spectra of C_2, (Phillips 2–0 band) but the C_3 band near 4052 Å is out of reach as in this wavelength range the quantum efficiency of the applied CCD sensor is too low. Let's add that the first images of the Phillips 2–0 band with the resolution of $R = 120\,000$ are those from the MAESTRO spectrograph. The above mentioned resolution is absolutely necessary to observe the C_3 band as the latter contains many densely packed narrow features [5].

DIFFUSE INTERSTELLAR BANDS

For most of their history DIBs were not observed in individual ISM clouds, in spite of the fact that since the observations of Beals [1], who discovered the Doppler splitting in interstellar atomic lines, it is commonly accepted that the interstellar medium is not homogeneous, but contains many separate clumps. Krełowski & Walker [10] and Krełowski & Westerlund [11] have demonstrated convincingly that spectra of interstellar clouds are not identical. The strength ratios of many different pairs of DIBs vary substantially from object to object which proves they are carried by different species reacting in different ways to varying physical conditions inside the intervening clouds. These variations seem to be related to those of another spectral characteristics of ISM clouds: intensities of atomic and molecular features or shapes of interstellar extinction curves [12].

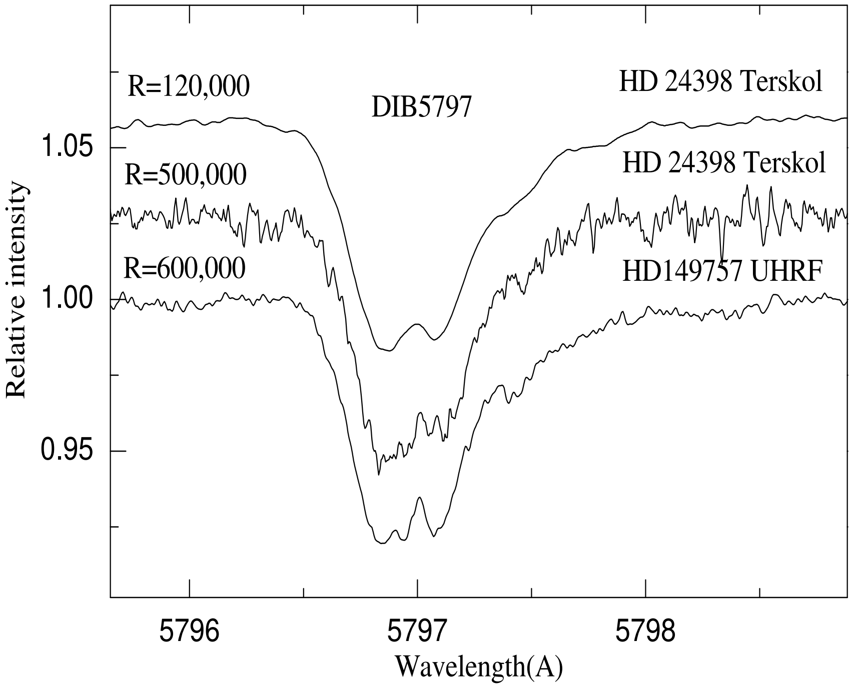


Figure 3. The profile of 5797 DIB observed at UHRF (the Siding Spring Observatory) with $R = 600\,000$ and at the Terskol Observatory with $R = 120\,000$ and $R = 500\,000$. The observed object is HD24398

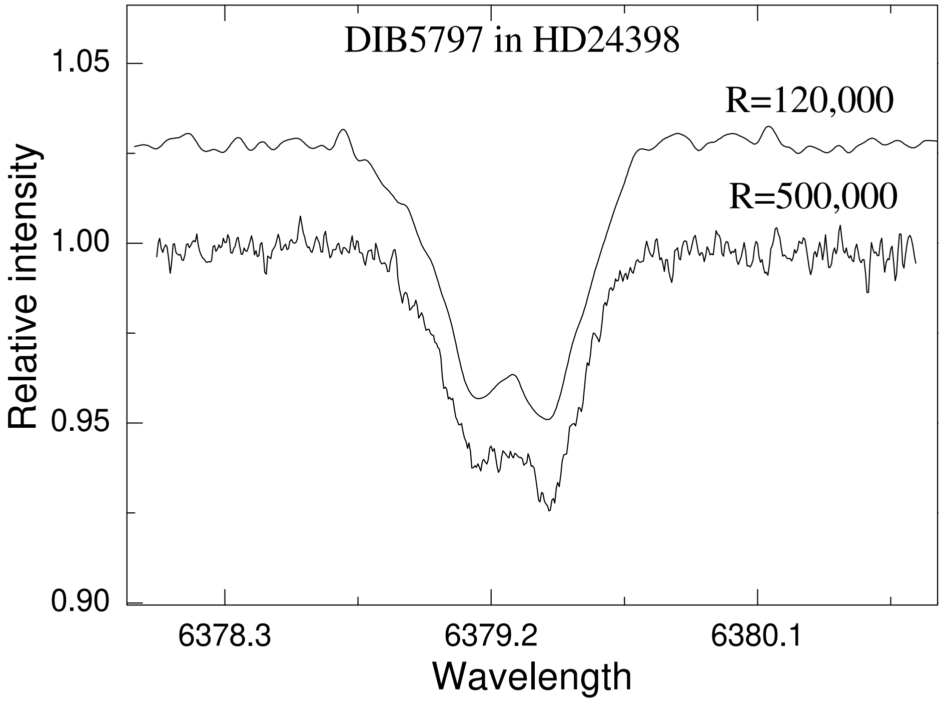


Figure 4. The first ultra high-resolution profile of the 6379 DIB acquired at Terskol; $R = 500\,000$

Herbig & Soderblom [6] demonstrated convincingly that the profiles of DIBs, as well as those of interstellar atomic lines, can be modified by the Doppler splitting. These observations created the problem of the intrinsic profiles of DIBs, *i.e.*, profiles not modified by the Doppler effect. Such profiles can be observed only in individual clouds, *i.e.*, in the cases of low to moderate reddening (single clouds of very high reddening are not common). It is commonly believed now that DIBs originate in some large, carbon–bearing molecules. The latter can be responsible both for DIBs and some segments of the interstellar extinction curve. Their internal structure can be very complicated and the possible presence of many species in every cloud makes the task of identification very difficult. During the decade of 1990s the number of unidentified spectral features, found in the interstellar medium, has grown up to nearly 300 [3].

Westerlund & Krełowski [22] were the first to investigate systematically the intrinsic profiles of five DIBs. Their spectra contained the interstellar Na I lines which allowed to select for the profile analysis only the targets which are very likely to be obscured by single, individual clouds. The analysis showed that all DIB profiles are non–gaussian and that some substructures exist inside the relatively narrow DIBs (5797 and 6379). During the last decade it was convincingly demonstrated that the profiles of diffuse bands are really not gaussians but show some internal structure which may be intrinsic to certain molecules [9, 19, 21]. However, despite many efforts, none of the possible carriers have been identified yet. Fig. 3 shows how the substructures of the strong 5797 DIB are getting revealed with the growing resolution of spectra.

High resolution, high S/N profiles of strong DIBs may allow identification of carriers. The vibrational-rotational transitions, while taking place in complex molecules, are very unlikely to show the rotational features separated – they rather form bandheads (large molecules are typically characterized by small rotational constants; the latter should thus blend and allow only to recognize the P, R, and Q branches inside a profile). The profile shapes may be thus specific to a given molecule(s).

The highest resolution DIB profiles, published until now are those of Sarre *et al.* [19] and Kerr *et al.* [9]. The Ultra High Resolution Facility allowed to see some very fine details of the 5797 and 6614 profiles. It is characteristic that the 5797 profile contains three features which could be the P, R and Q branches of a molecular band. The complicated DIB profiles can also follow the isotopic abundances of carbon [21]. As the wavelength differences between the substructures, seen inside certain DIBs (5797, 6614) are nearly constant, it seems possible that the observed profiles are composed of the features (of nearly gaussian profiles) originating in molecules containing 0, 1, 2, *etc.* ^{13}C atoms. The presence of ^{13}C causes a wavelength shift which is directly proportional to the number of ^{13}C atoms in the carrier molecule.

High-resolution profiles of some DIBs may be so characteristic to a given carrier that their comparison with high-resolution laboratory spectra (acquired in gas phase) may allow identification. It is to be emphasized, however, that the spectra used to determine the profiles must be of very high resolution ($R > 200\,000$) and very high S/N (>1000). This fact creates observational problems as such tasks are usually very time consuming. The procedure requires also a very careful analysis of possible stellar contaminations which could have very likely avoided any attention while spectra of lower S/N have been analyzed. The profiles of diffuse bands may differ from object to object, not only in width or wavelength but also in the pattern of weak substructures seen in the bottom of some broad features [4].

The new setting of the echelle spectrometer on top of Terskol Peak allows three resolutions: 120 000; 250 000; and 500 000. The latter offers evidently one of the few possibilities to acquire ultra high-resolution spectra and allows analyzing profiles of either sharp or very complex interstellar absorption features. It has to be mentioned that the highest resolution has been applied only to a very bright star: ζ Per. A possible sample of objects may be efficiently extended only if a back–illuminated CCD sensor is installed instead of the currently exploited front–illuminated one. While rising the quantum efficiency by a factor of three one can expect to be able to observe with $R = 500\,000$ stars as faint as four apparent magnitude. This should allow profile analysis of several DIBs originated along different sight–lines.

[1] *Beals C. S.* // Astrophys. J.–1938.–**87**.–P. 568.

[2] *Crawford I. A.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1992.–**254**.–P. 264.

[3] *Galazutdinov G. A., Musaev F. A., Krełowski J., Walker G. A. H.* // Publs Astron. Soc. Pacif.–2000.–**112**.–P. 648.

[4] *Galazutdinov G. A., Moutou C., Musaev F. Krełowski J.* // Astron. and Astrophys.–2002.–**384**.–P. 215.

[5] *Galazutdinov G. A., Pętlewski A., Musaev F., et al.* // Astron. and Astrophys.–2002.–in press.

[6] *Herbig G. H. Soderblom D. R.* // Astrophys. J.–1982.–**252**.–P. 610.

[7] *Herbig G. H.* // Annu. Rev. Astron. and Astrophys.–1995.–**33**.–P. 19.

[8] *Jenniskens P., Dèsert X.* // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1994.–**160**.–P. 39.

[9] *Kerr T. H., Hibbins R. E., Miles J. R., et al.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1996.–**283**.–P. 105.

[10] *Krełowski J., Walker G. A. H.* // Astrophys. J.–1987.–**312**.–P. 860.

[11] *Krełowski J. Westerlund B. E.* // Astron. and Astrophys.–1988.–**190**.–P. 339.

[12] *Krełowski J., Snow T. P., Seab C. G. Papaj J.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1992.–**258**.–P. 693.

[13] *Krełowski J., Papaj P.* // Publs Astron. Soc. Pacif.–1993.–**105**.–P. 1209.

[14] *Krełowski J., Sneden C., Hiltgen D.* // Planet. and Space Sci.–1995.–**43**.–P. 1195.

[15] *Krełowski J., Galazutdinov G. A., Musaev F. A.* // Astrophys. J.–1998.–**493**.–P. 217.

[16] *Krełowski J., Ehrenfreund P., Foing B. H., et al.* // Astron. and Astrophys.–1999.–**347**.–P. 235.

[17] *Mathis J. S.* // Annu. Rev. Astron. and Astrophys.–1990.–**28**.–P. 37.

[18] *Morton D. C.* // Astrophys. J.–1975.–**197**.–P. 85.

[19] *Sarre P. J., Miles J. R., Kerr T. H., et al.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1995.–**277**.–P. 41.

[20] *Snow T. P.* // Australian J. Phys.–1992.–**45**.–P. 543.

[21] *Walker G. A. H., Bohlender D. A., Krełowski J.* // Astrophys. J.–2000.–**530**.–P. 362.

[22] *Westerlund B. E., Krełowski J.* // Astron. and Astrophys.–1988.–**203**.–P. 134.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ КРАТНОЙ СИСТЕМЫ ADS 11061

М. Аль-Вардат[1], Ю. Ю. Балега[1], В. В. Леушин[1], Ф. А. Мусаев[1,2]

[1] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, 369167 Карачаево–Черкесская Республика, Россия
e-mail: balega@sao.ru, leushin@sci.lebedev.ru

[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*

Приведены некоторые результаты спекл-интерферометрических и спектроскопических наблюдений иерархической системы ADS 11061, включающей двойную 41 Dra с очень большим эксцентрисисьтетом ($e = 0.9755$). Наблюдения проводились с 1993 г. и в период прохождения периастра в июне 2001 г. Материал наблюдений с высоким разрешением был получен на 6-м телескопе БТА САО, 1-м телескопе САО и 2-м телескопе обсерватории Терскол.

SPECTROSCOPIC AND SPECKLE-INTERFEROMETRIC OBSERVATIONS OF THE MULTIPLE SYSTEM ADS 11061, by Al-Wardat M., Balega Yu. Yu., Leushin V. V., Musaev F. A. – Binary star 41 Dra is a member of the hierarchical quadruple system ADS 11061 which includes 41 Dra with a very big eccentricity ($e = 0.9755$). Since 1993 we have performed speckle interferometric observations of the system using the 6-m BTA telescope. In addition, high-resolution spectroscopy of the system was made with the echelle spectrographs of the SAO 1-m telescope and the Terskol 2-m telescope. The observations covered the periastron passage in June 2001.

Проблема влияния на эволюцию динамического взаимодействия компонентов двойной системы в период до заполнения одним из компонентов полости Роша изучена мало. Причиной этого является сравнительная малость эффектов этого взаимодействия в системах. Циркуляризация орбит, синхронизация и рассинхронизация вращения, сохранение и потеря моментов вращения определяются как фундаментальными параметрами компонентов и характеристиками орбит, так и структурой самих компонентов. Непосредственное заключение о структурах звезд, распределении масс по радиусу, дифференциальном вращении можно сделать на основе детального анализа эволюционных изменений орбит компонентов. Кажется вероятным, что изучение двойных звезд с большими экцентриситетами орбит, в которых динамическое взаимодействие может изменяться в зависимости от положения компонентов на орбите могут дать практическую информацию о природе эволюционных процессов, обусловленных кратностью звезды.

Среди кратных систем с большими значениями эксцентриситета 41 Dra (= HR 6810 = HD 166866 = ADS 11061 A) является выдающимся представителем таких звезд. 41 Dra входит в визуально-двойную ADS 11061, которая является иерархической четверной системой из компонентов A (41 Dra) и B (40 Dra), разделенных $19''$. Компоненты A и B являются спектрально-двойной с двумя системами линий и периодами 1247.2 и 10.5 сут [4]. Короткопериодическая двойная Bab (40 Dra) слишком тесна для разделения с 6-м апертурой, тогда как более яркая пара Aab (41 Dra) является хорошим объектом для спекл-измерений.

41 Dra разрешается спекл-интерферометрически, это позволяет существенно уточнить параметры орбит и компонентов системы. Период орбитального движения спектрально- и спекл-интерферометрической двойной 41 Dra равен 3.4147 г., ближайшее прохождение периастра наблюдается в 2001 г.

Первые наблюдения на БТА двойной 41 Dra состоялись в мае 1993 г. Полгода спустя новые измерения подтвердили двойственность изображения звезды и показали, что угловое расстояние между компонентами сокращается. В 1994 г. наблюдения были продолжены со спекл-камерой Боннского Института радиоастрономии [5] в красном 656/30 нм фильтре. В 1996 г. спекл-изображения 41 Dra были получены в K-полосе (фильтр 2191/411 нм) с помощью 256^2-элементной камеры NICMOS-3. Разница величин на $\lambda = 650$ нм, оцененная по восстановленному изображению, равна 0.38 ± 0.05^m. В инфракрасной области (фильтр 2129/411 нм) разность блеска 0.47 ± 0.10^m. По значениям элементов P, T, e из опубликованной спектральной орбиты [4] и нашим спекл-измерениям следовало, что в июне 2001 г. компоненты системы будут проходить периастр.

Для того чтобы оценить эффекты сближения компонентов, в САО РАН были проведены комплексные наблюдения 41 Dra до и после прохождения периастра. На основе спектральных и спекл-интерферометрических наблюдений в ноябре–декабре 2000 г. и январе–июне 2001 г. были уточнены параметры орбиты системы:

Элементы орбиты 41 Dra:

$$P = 3.412539 \pm 0.00556 \text{ г.},$$
$$T = 1994.595661 \pm 0.000061 \text{ г.},$$
$$e = 0.975517 \pm 0.000308,$$
$$a = 0.0656 \pm 0.0044,$$
$$\Omega = 5.02 \pm 4.30^\circ,$$
$$\omega = 128.2646 \pm 0.497^\circ,$$
$$i = 46.5 \pm 4.09^\circ,$$
$$K_1 = 44.854192 \pm 0.357 \text{ км/с},$$
$$K_2 = 47.527499 \pm 0.445 \text{ км/с},$$
$$V_0 = 6.155086 \pm 0.124 \text{ км/с}.$$

Ниже приведены эфемериды вблизи периастра:

Дата	Время	V_{ra}, км/с	V_{rb}, км/с	θ	ρ	Дата	Время	V_{ra}, км/с	V_{rb}, км/с	θ	ρ
26.05.2001	2001.400	20.7	–9.4	348.1°	0.020″	14.06.2001	2001.450	9.1	2.9	44.9°	0.002″
31.05.2001	2001.413	21.7	–10.4	351.0	0.017	14.06.2001	2001.452	–21.0	34.8	95.0	0.001
31.05.2001	2001.414	21.7	–10.5	351.3	0.016	15.06.2001	2001.453	–47.3	62.6	138.6	0.001
03.06.2001	2001.420	22.3	–11.1	353.1	0.015	15.06.2001	2001.454	–63.9	80.1	171.5	0.002
04.06.2001	2001.423	22.6	–11.4	354.3	0.014	16.06.2001	2001.456	–61.2	77.3	205.7	0.003
04.06.2001	2001.424	22.7	–11.5	354.7	0.013	17.06.2001	2001.459	–48.0	63.3	230.2	0.004
05.06.2001	2001.427	23.0	–11.8	356.0	0.012	18.06.2001	2001.462	–39.7	54.6	243.8	0.005
06.06.2001	2001.430	23.3	–12.1	357.6	0.011	19.06.2001	2001.465	–34.4	48.9	252.6	0.006
07.06.2001	2001.433	23.6	–12.4	359.5	0.010	21.06.2001	2001.469	–29.5	43.8	260.7	0.007
08.06.2001	2001.436	23.8	–12.7	1.9	0.009	23.06.2001	2001.475	–24.8	38.7	268.7	0.008
09.06.2001	2001.438	23.9	–12.8	3.8	0.008	23.06.2001	2001.476	–24.2	38.1	269.7	0.009
10.06.2001	2001.441	23.9	–12.7	7.5	0.007	25.06.2001	2001.480	–22.0	35.8	273.3	0.010
11.06.2001	2001.443	23.5	–12.4	10.9	0.006	26.06.2001	2001.483	–20.7	34.4	275.5	0.010
12.06.2001	2001.445	22.6	–11.5	15.5	0.005	27.06.2001	2001.487	–19.2	32.9	278.1	0.011
13.06.2001	2001.447	20.5	–9.2	22.3	0.004	28.06.2001	2001.490	–18.3	31.9	279.7	0.012
13.06.2001	2001.449	15.0	–3.4	34.3	0.003						

Соответствующий эллипс относительного движения и спекл-измерения показаны на рис. 1.

Изменение угла наклона орбиты от 50° до 41.03° с известным значением $(M_{Aa} + M_{Ab}) \sin^3 i = 1.100 M_\odot$ и $K_{Ab}/K_{Aa} = 1.06$, приводит к существенному изменению масс Aa и Ab компонентов. Ранее нами [1] было найдено: $M_{Aa} = 1.26 \pm 0.20 M_\odot$, $M_{Ab} = 1.18 \pm 0.20 M_\odot$. С учетом дополнительных наблюдений получается: $M_{Aa} = 1.48 \pm 0.80 M_\odot$, $M_{Ab} = 1.40 \pm 0.80 M_\odot$. Расхождения связаны с довольно большой (±4.09°) ошибкой угла наклона орбиты.

Пара 41 Dra представляет собой важный случай относительно короткопериодической двойной с двумя системами линий и эксцентриситетом, близким к единице, являющейся одновременно членом квадрупольной системы.

При прохождении периастра орбиты компоненты 41 Dra разделены всего на 0.001–0.002″, или 5–10 радиусов звезд. Кратковременное приливное трение вблизи периастра может быть причиной эволюции эксцентриситета орбиты, ее периода и размера полуоси. Поэтому квадрупольная система ADS 11061 AB в целом является критическим тест-объектом для проверки теорий образования и эволюции кратных звезд.

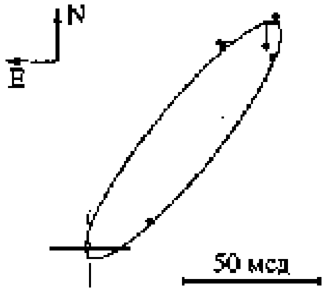


Рис. 1. Относительная интерферометрическая орбита 41 Dra = ADS 11061 *Aab*. Спекл-измерения (точки) соединены короткими отрезками со своими расчетными положениями на орбите

Спекл-интерферометрические, спектральные и астрометрические наблюдения позволяют уверенно определить расстояние до 41 Dra, которое равно 43.5 ± 5.6 пк [6], что дает для светимостей компонентов $L_a = (5.60 \pm 2.10)L_\odot$ и $L_b = (3.94 \pm 2.10)L_\odot$. Величина светимости и эффективной температуры, которая в первом приближении может считаться одинаковой для обеих компонентов и равной $T_{eff} = 6500$ K, позволяет оценить величины радиусов компонентов: $R_{Aa} = 1.9R_\odot$ и $R_{Ab} = 1.6R_\odot$. Используя значения масс компонентов и величины радиусов, получаем значения величин ускорений силы тяжести на поверхности звезд: $\lg g_{Aa} = 3.48$, $\lg g_{Ab} = 4.11$, которые совместно с эффективными температурами позволяют построить модели атмосфер компонентов. Модели атмосфер компонентов 41 Dra рассчитывались интерполяцией по T_{eff} и $\lg g$ из сетки бланкетированных моделей Куруца [7] для солнечного химического состава. Затем по программе Sam1 для каждого из компонентов рассчитывалось распределение энергии в непрерывном спектре H_λ^a и H_λ^b. Теоретические распределения сравнивались с наблюдаемым распределением на границе земной атмосферы. Поток энергии от 41 Dra создается суммарным блеском компонентов *Aa* и *Ab*, находящихся на расстоянии d от Земли. Следовательно, можно записать

$$E_\lambda = (R_{Aa}/d)^2 (H_\lambda^a + H_\lambda^b \cdot (R_{Ab}/R_{Aa})^2),$$

где H_λ^a и H_λ^b – величины потоков с единицы поверхности соответствующих компонентов.

Сопоставление наблюдаемого излучения (E_λ в мВт$\cdot$м$^{-2}\cdot$см$^{-1}$ из каталога III/202 Страсбургского центра астрономических данных) с рассчитанным для компонентов с $T_{eff}^a = 6575$ K, $T_{eff}^b = 6600$ K, $\lg g_{Aa} = 4.08$, $\lg g_{Ab} = 4.26$, $R_{Aa} = 1.82R_\odot$ и $R_{Ab} = 1.46R_\odot$ и $d = 43.5$ пк показывает удовлетворительное совпадение. В то же время более пологий, по сравнению с теоретическим, наклон наблюдаемого пашеновского и бальмеровского континуумов требует меньших температур компонентов. Однако величина бальмеровского скачка в наблюдаемом распределении характерна для температур, больших 6500 K.

Одновременно мы должны учесть то обстоятельство, что система 41 Dra может обладать рядом особенностей, связанных с пекулярно вытянутой орбитой. Возможно, что в системе имеется межзвездное вещество, которое может перерабатывать коротковолновое излучение в длинноволновое и приводить к изменению наклонов бальмеровского и пашеновского континуумов. В противоречии с требованием низкой температуры выступает и величина бальмеровского скачка на наблюдаемом спектре: по скачку температура должна быть больше 6500 K. Возможно, что величина бальмеровского скачка связана с резким возрастанием поглощения межзвездного вещества в системе для излучения с $\lambda < 364.7$ нм.

Для анализа параметров атмосферы компонентов 41 Dra использовались также линии H_α, H_β, H_γ и H_δ. Сложность анализа линейчатого спектра системы связана с тем, что компоненты 41 Dra имеют почти одинаковые параметры. Поэтому даже в первом приближении нельзя пренебречь вкладом одного из компонентов в суммарный спектр. Орбитальное движение приводит к тому, что в разные моменты времени сдвиги складывающихся спектров различны, что необходимо учитывать при анализе. Здесь изучены водородные линии по спектрам, полученным в январе–декабре 2000 г., когда разность лучевых скоростей компонентов составляла 8–10 км/с, и в январе–феврале 2001 г., когда эта разность приблизилась к 18 км/с. Ниже приведены средние величины эквивалентных ширин водородных линий в спектре 41 Dra и теоретические значения эквивалентных ширин (W_λ, пм), рассчитанные для модели с компонентами $Aa - T^a_{eff} = 6575\,\mathrm{K}$, $\lg g_{Aa} = 4.08$ и $Ab - T^b_{eff} = 6600\,\mathrm{K}$, $\lg g_{Ab} = 4.26$:

	W_λ, пм			
	H_α	H_β	H_γ	H_δ
41 Dra	505.0	510.0	501.0	510.0
Модель	484.0	513.5	521.0	542.5

Сравнение наблюдаемых эквивалентных ширин и контуров водородных линий с теоретическими расчетами показывает, что параметры компонентов системы близки к выбранным по распределению энергии в спектре. Однако полностью согласовать наблюдательные данные по водородным линиям с теоретическими не удается. Возможно, наблюдаемые величины эквивалентных ширин линий искажены ошибками проведения непрерывного спектра, положение которого на малых промежутках эшельных спектров определяется с точностью 0.01–0.02, что при наличии протяженных крыльев водородных линий (до 5 нм) может дать ошибку ± 0.1 нм. Теоретические контуры достаточно уверенно представляют наблюдаемые во всей области контура линии, за исключением центров линий (± 0.01 нм), что может быть связано с недостаточным учетом поглощения в самых верхних слоях атмосферы. Возможно, что расхождения будут сняты добавлением в систему поглощающей и переизлучающей материи. Не решен вопрос и об изменениях в системе, связанных с движением по орбите 41 Dra. Косвенным подтверждением этого может служить указание [6] об изменении разности блеска между компонентами системы от 0.2 до 0.3^m в $\lambda = 605$ нм.

Менее массивный компонент системы ($M_b = 1.40 M_\odot$) находится на линии нулевого возраста, следовательно, система прошла стадию гравитационного сжатия, и более массивный компонент ($M_a = 1.48 M_\odot$) достаточно далеко продвинулся в стадии сжигания водорода в ядре. Время эволюции этого компонента от линии нулевого возраста до теперешнего положения составляет $(4.0-4.2)\cdot 10^9$ лет, то есть до полного выгорания водорода в центре компонента Aa осталось около миллиарда лет.

Если все компоненты системы и сама система имеют общие происхождения и образовались в один момент времени, то время жизни и второго компонента Ab должно быть близко к $4\cdot 10^9$ лет. Однако положение компонента Ab на ZAMS свидетельствует о том, что возраст этого компонента должен быть существенно меньше (не более 1 миллиарда лет).

Отсюда следует вывод о том, что система должна была образоваться сравнительно недавно из компонентов, один из которых имеет достаточно большой возраст. Очень большой эксцентриситет системы подтверждает вывод о том, что сама система сравнительно молода по сравнению с возрастом компонента Aa, поскольку циркуляризация орбит тесных систем, к которым можно отнести и систему 41 Dra, требует существенно меньшего времени, чем наблюдаемое эволюционное время компонента Aa.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 00-02-16213-а и № 01-02-16563-а).

[1] *Балега И. И., Балега Ю. Ю., Фальке Г. и др.* // Письма в Астрон. журн.–1997.–**23**.–С. 199.

[2] *Копылов И. М.* // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.–1958.–**20**.–С. 148.

[3] *Копылов И. М.* // Астрон. журн.–1985.–**62**.–С. 1132.

[4] *Токовинин А. А.* // Письма в Астрон. журн.–1995.–**21**.–С. 286.

[5] *Baier G., Weigelt G.* // Astron. and Astrophys.–1983.–**121**.–P. 137.

[6] *Balega I., Balega Yu., Falcke H., et al.* // Visual Double Stars.–Kluwer Acad. Publ, 1997.–P. 73–78.

[7] *Kurucz R. L.* Atmospheric models on CD–ROMs.–1994.

[8] *Turon C., Creze M., Egret D., et al.* The HIPPARCOS Input Catalogue. ESA SP–1136.–1992.–Vol. **4**.

Workshop A1

Optical Telescopes and Facilities

Convener: V. Leushin

Editors: Yu. Balega, A. Vid'machenko

INVESTIGATION OF SEEING CONDITIONS ON TERSKOL PEAK

O. Andriyenko

International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research
27 Akademika Zabolotnoho St., 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: olexa@mao.kiev.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПИКЕ ТЕРСКОЛ, Андриенко О. – Качество изображений является очень важной характеристикой наблюдательного пункта. Качество изображений определяется атмосферной турбуленцией и характеризуется параметром Фрида. В этой работе представлены результаты недавней попытки определения параметра Фрида на пике Терскол. Для этой цели был применен метод измерения дифференциального движения изображений, построенных небольшими апертурами. Для создания субапертур применялась диафрагма Гартманна. ПЗС-камера была расположена несколько вне фокуса для того, чтобы разделить изображения, построенные различными субапертурами. Каждое изображение оставалось хорошо сфокусированным, поскольку глубина фокуса для небольшой субапертуры больше, чем для главного объектива.

Seeing conditions are a very important parameter of an observational site. Seeing conditions are determined by atmospheric turbulence and are characterized by the Fried parameter r_0. In this work results of a recent attempt to determine the Fried parameter on Terskol Peak are presented. For this purpose the method of measuring of differentional motion of images obtained through small apertures was used. The Hartmann mask was taken as a subapertures producer. A CCD-camera was placed slightly out of focus in order to separate the images produced by different subapertures. Every image was still well focused, as the focus depth for a small subaperture is larger than for the main objective.

INTRODUCTION

Seeing is an important characteristic of an observation site. Along with quantity of clear nights (and/or days), the level of light pollution and atmospheric transparency it serves as a criterion for a choice of an observatory site. There are several works concerning the climate and seeing on Terskol Peak. Information on such characteristics as temperature, pressure, wind, humidity, and nebulosity one can find in [7] and [8]. Atmospheric extinction was investigated particularly in [9]. During 1988–1991 nighttime seeing on the Terskol Peak was investigated by Peretyatko [10]. He used the coherence interferometer designed by Tokovinin [11]. For three observational periods (27.08–19.09.1988, 25.08–14.09.1990, 05.03–22.03.1991) he obtained 8.4 cm as the median value of r_0. For other two periods (09.09–20.09.1989 and 06.12–26.12.1991) it equals 6.3 and 10.1 cm. These values correspond to $1.2''$, $1.6''$, and $1.0''$ *FWHM* image quality according to $FWHM = 0.98(\lambda/r_0)$ equation (r_0 is the Fried seeing parameter). Daytime seeing was investigated by Troyan and Osipov [12] in 1981. They measured excursions of a small sunspot image built with the 6 cm objective and obtained a mean value of $2.7''$ for the image tremor.

To investigate seeing conditions several methods were developed. We decided to use the method of differentional image motion measurements. In the last decade it is regarded as the most effective and most objective one. This method was realized in the DIMM (differential image motion monitor) facility which was used for site evaluation for NNTT (NOAO) and VLT (ESO) telescopes. DIMM was developed in ESO [5]. In DIMM light beams coming through two small subapertures (separate holes in the aperture diaphragm) are separated with the aid of prisms in such a way that in the focal plane one has two images (of the same star). Their differential motion can be used to measure the seeing.

Indeed, the image quality is directly connected to the statistics of the perturbations of the incoming wavefront which is driven by atmospheric turbulence. For the Kolmogorov turbulence, the phase structure function, *i.e.*, the mean squared differential phase error between two points separated by the distance r in the aperture plane of a telescope, is given by Fried [3]:

$$D_\Phi = 6.88 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{5/3} . \qquad (1)$$

For apertures smaller than r_0 wavefronts are approximately the planes which are tilted regarding the unperturbed wavefront. A tilt of the wavefront leads to a displacement of the image. Images produced with two separated small apertures display differential motion. In case of the separation that is several times bigger than diameters of apertures the amplitude of the differential motion is bigger than the amplitude of each image motion (wavefronts in front of each aperture become uncorrelated). Differential image motion measurements do not suffer from confusion of the turbulence induced motion with the motion induced by telescope vibrations.

THEORY

Let us follow Sarazin & Roddier [5] and give a short description of the theory used for seeing investigations. The wavefront corrugation $z(x,y)$ is proportional to the wavefront phase error $\Phi(x,y)$:

$$z(x,y) = \frac{\lambda}{4\pi}\Phi(x,y). \tag{2}$$

Since light rays are normal to the wavefront surface, the component α of the angle-of-arrival fluctuation in the x direction is given by:

$$\alpha(x,y) = -\frac{\partial}{\partial x}z(x,y) = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{\partial}{\partial x}\Phi(x,y). \tag{3}$$

Hence, the covariance of the angle-of-arrival fluctuation:

$$B_\alpha(\xi,\eta) = \langle \alpha(\xi,\eta), \alpha(x+\xi, y+\eta)\rangle \tag{4}$$

is related to the covariance $B_\Phi(\xi,\eta)$ of the phase fluctuation by

$$B_\alpha(\xi,\eta) = -\frac{\lambda^2}{4\pi^2}\frac{\partial^2}{\partial\xi^2}B_\Phi(\xi,\eta). \tag{5}$$

Introducing the phase structure function

$$D_\Phi(\xi,\eta) = 2\left[B_\Phi(0,0) - B_\Phi(\xi,\eta)\right] \tag{6}$$

yields:

$$B_\alpha(\xi,\eta) = \frac{\lambda^2}{8\pi^2}\frac{\partial^2}{\partial\xi^2}D_\Phi(\xi,\eta). \tag{7}$$

For the Kolmogorov turbulence at the near-field approximation, the phase structure function is given by the widely used expression (1) where $r = \sqrt{\xi^2+\eta^2}$ and r_0 is the Fried seeing parameter. Putting (1) into (7) gives:

$$B_\alpha(\xi,\eta) = 0.087\lambda^2 r_0^{-5/3}\frac{\partial}{\partial\xi^2}\left[\xi^2+\eta^2\right]^{5/6} = 0.145\lambda^2 r_0^{-5/3}\left[(\xi^2+\eta^2)^{-1/6} - \frac{1}{3}\xi^2(\xi^2+\eta^2)^{-7/6}\right], \tag{8}$$

For $\eta = 0$, we get the longitudinal covariance (in the direction of the tilt) as a function of the separation $\xi = d$:

$$B_l(d) = B_\alpha(d,0) = 0.0968\left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^{5/3}\left(\frac{\lambda}{d}\right)^{1/3}. \tag{9}$$

For $\xi = 0$, we get transverse covariance (in the direction perpendicular to the tilt) as a function of the separation $\eta = d$:

$$B_t(d) = B_\alpha(0,d) = 0.145\left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^{5/3}\left(\frac{\lambda}{d}\right)^{1/3}. \tag{10}$$

The transverse covariance is exactly 1.5 times larger than the longitudinal covariance and both decrease as the $-1/3$ power of the separation. This was well confirmed experimentally by Borgnino & Vernin [2]. These expressions are valid only within inertial range of the Kolmogorov spectrum. The divergence at the origin ($r = 0$) is clearly not physical. In practice, the value at the origin is limited by aperture averaging and is given by the expression for the variance of image motion derived by Fried [3, 4], and Tatarski [6]:

$$B_\alpha(0,0) = 0.179 \left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D}\right)^{1/3}, \tag{11}$$

where D is the diameter of the apertures. Because of the slow decrease of the covariance as the $-1/3$ power of the separation d in (9) and (10), aperture averaging does not noticeably modify the covariance function as soon as the separation exceeds at least twice the aperture diameter.

The variance $\sigma^2(d)$ of the differential image motion observed over the distance d is given by:

$$\sigma^2(d) = [B(0) - B(d)]\,. \tag{12}$$

Putting (9) and (11) into (12) gives the approximate expression for the variance $\sigma_l^2(d)$ of the differential longitudinal motion (for $d \geq 2D$):

$$\sigma_l^2(d) = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} \left[0.179 D^{-1/3} - 0.0968 d^{-1/3}\right], \tag{13}$$

whereas putting (10) and (11) into (12) gives the approximate expression for the variance $\sigma_t^2(d)$ of the differential transverse motion (for $d \geq 2D$):

$$\sigma_t^2(d) = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} \left[0.179 D^{-1/3} - 0.145 d^{-1/3}\right]. \tag{14}$$

Sarazin & Roddier [5] compared these approximate analytical equations with results of more extensive numerical calculations made by Fried [4]. The agreement is within 4 % in the d/D range of $1 \div 9$ for the longitudinal motion and in the d/D range of $3.5 \div 9$ for the transverse motion.

OBSERVATIONS

To investigate seeing conditions on Terskol Peak (3100 m above the sea level, the Northern Caucasus, Russian Federation) we used a modified DIMM method proposed by Bally *et al.* [1]. They proposed to use images obtained with the Hartmann diaphragm to measure the differential image motion. They called this method H-DIMM. Such a method can be realized virtually at any telescope with a long focus and a sufficiently large objective.

We managed to use H-DIMM method with the guide of Zeiss-2000 telescope placed on Terskol Peak. The guide has 25 cm lens objective with 3 m long focus. The Hartmann diaphragm was made with 37 holes placed at nodes of hexagonal net. The diameter of the holes is 20 mm and the distance between nodes is 37 mm. The diaphragm can be easy attached at the top of the guide tube.

ST-6 CCD-camera was used as a detector. This camera has 375×242 pixels with 23×27 μm pixel size. To increase slightly downloading time of the frame we used binning in one direction, thus the camera worked in 250×242 pixel format (with 34.5×27 μm pixel size). ST-6 camera is connected with the computer through COM port and thus downloading time of the frame is pretty long (about 1 min).

The observations were carried out on April 29, 2002 and had a duration of 140 min. We had to select a bright star near zenith. It was Dubhe. The exposure time was 0.1 sec to meet condition of atmosphere "freezing" still providing good S/N ratio in a frame. The detector was placed slightly behind the focus. Thus there were 37 images of the star each built by a different subaperture. Defocusing was small enough to keep each image of the star still well focused. Scale of frames was found with observations of the double star ζUMa (Micar). It is equal to 0.066 μm/arcsec, *i.e.*, 2.3×1.8 arcsec/pixel.

Each frame was reduced for the dark current. Then centers of the images of the star were found. After that distances between different pairs of the images as well as their transverse displacements were measured. On each frame variances of longitudinal and transverse displacements were calculated and the Fried parameter r_0 was determined with the help of (14) and (15) equations.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows variations of the Fried parameter with time. It is easy to see that the parameter r_0 undergoes sufficient variations on a timescale about 1 min. This is typical time of changing the atmospheric turbulence parameters. Unfortunately, it was impossible to obtain frames more frequently because of a slow downloading. The mean value of the Fried parameter during the observations is 7.8 cm. This value of r_0 corresponds to $1.3''$ *FWHM* (at 500 nm) of a star image obtained with a long exposure according to equation $FWHM = 0.98(\lambda/r_0)$. But in this case the real image quality (for exposures longer then several minutes) could be worse because of strong variations of r_0 at short timescales.

The night on April 29–30, 2002 was the second clear night after several days of bad weather. So, it was far not a good night. There are much better nights with better seeing on Terskol Peak. This was just a first attempt to measure the seeing with DIMM method.

It is planned to continue monitoring of seeing conditions at our observatory and find out typical seeing for different seasons as well as the best possible seeing on Terskol Peak. Measuring of daytime seeing is planned as well. This is a more complicated task because the Sun is not a dot object. Nevertheless, it is possible to use some contrast details on the solar disk (such as spots) for differential image motion measurements. We plan to carry out such observations at the ATsU-26 horizontal solar telescope which is also placed on Terskol Peak.

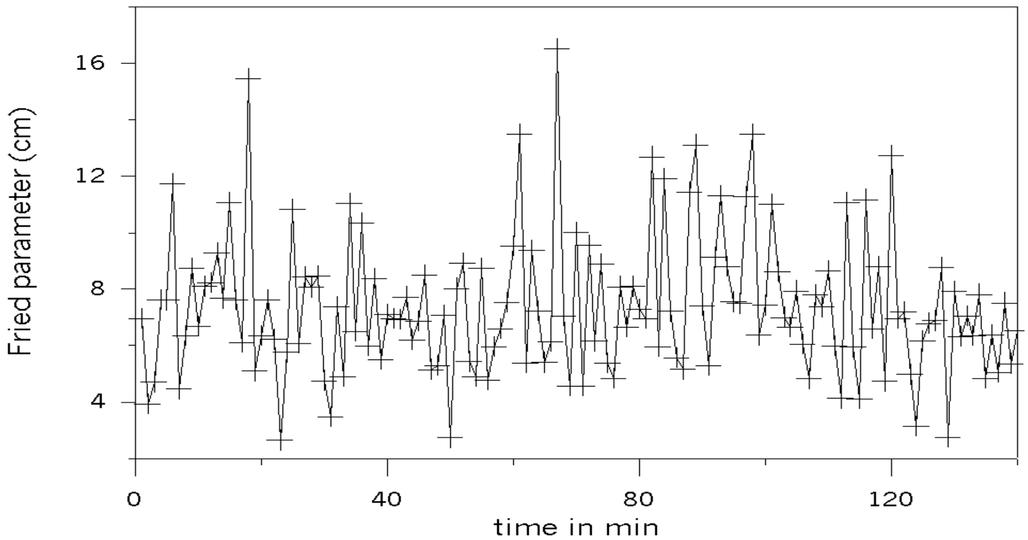


Figure 1. Changing the Fried parameter with time according to the observations on April 29, 2002

I would like to thank Mr. Yuriy Podyachev for the help in making the diaphragm. I am also thankful to Dr. Alexander Sergeev and Dr. Viktor Poddubny for the assistance during the observations.

[1] *Bally J., Theil D., Billawala Y., et al.* // Publ. Astron. Soc. Aust.–1996.–**13**.–P. 22.

[2] *Borgnino J., Vernin J.* // J. Opt. Soc. Amer.–1978–**55**.–P. 1056.

[3] *Fried D. I.* // J. Opt. Soc. Amer.–1965.–**55**.–P. 1427.

[4] *Fried D. I.* // Radio Science.–1975.–**10**.–P. 71.

[5] *Sarazin M., Roddier F.* // Astron. and Astrophys.–1990.–**27**.–P. 294.

[6] *Татарский В. И.* Распространение волн в турбулентной атмосфере.–М.: Наука, 1967.

[7] *Кондратюк Р. Р.* // Астрометрия и астрофизика.–1974.–**23**.–С. 98.

[8] *Депенчук Е. А., Кондратюк Р. Р., Койфман А. П.* // Астрометрия и астрофизика.–1975.–**24**.–С. 99.

[9] *Пугач А. Ф., Кондратюк Р. Р., Розенбуш А. Э.* // Астрометрия и астрофизика.–1975.–**25**.–С. 111.

[10] *Перетятко Н. Н.* // Кинематика и физика небес. тел.–2000. –**16**. –С. 470.

[11] *Токовинин А. А.* // Астрон. циркуляр.–1985.–**1356**.–С. 4.

[12] *Троян В. И., Осипов С. Н.* // Астрометрия и астрофизика.–1983.–**49**.–С. 67.

BIG SCIENCE WITH 2-m CLASS TELESCOPES IN A GLOBAL NETWORK

A. P. Hatzes[1], **D. E. Mkrtichian**[2]

[1] *Thüringer Landessternwarte Tautenburg, Germany*
e-mail: artie@tls-tautenburg.de

[2] *Astronomical Observatory, Odessa National University*
Shevchenko Park, 65014 Odessa, Ukraine
e-mail: davidm@te.net.ua

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ДЛЯ 2-МЕТРОВЫХ ТЕЛЕСКОПОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ, Хатцес А. П., Мкртичян Д. Е. – Астросейсмология и поиск внесолнечных планет – это два исследовательских направления, требующих значительных ресурсов наблюдательного времени, которое сложно получить на телескопах с большими апертурами. На малых же телескопах класса 2-метровых предоставляется достаточное количество наблюдательного времени, к тому же с более гибким расписанием. Используя несколько таких телескопов в глобальной сети, можно существенно продвинуться вперед в исследованиях по названным направлениям. В данной статье мы представляем некоторые результаты, полученные на 2-м телескопах по программам высокоточного измерения радиальных скоростей в задачах изучения внесолнечных планет и сейсмологии пульсирующих звезд. Также обсуждается возможный вклад глобальной сети 2-м телескопов в решение этих задач.

Asteroseismology and the search for extrasolar planets are two fields of research which require considerable telescope resources that are difficult to obtain on large aperture telescopes. Small, 2-m class telescopes provide substantial amount of time resources with more flexible scheduling. Using several of these facilities in a global network can make significant contributions to both of these fields. We present some results of precise radial velocity programs on extra-solar planets studies and seismology of pulsating stars obtained on 2-m class telescopes and discuss the scientific impact of a probable Global Network of 2-m class telescopes for these studies.

INTRODUCTION

To date there are about ten telescopes in operation throughout the world with apertures greater than 8 m. Although these facilities are producing exciting results in observational astrophysics, they have not eliminated the need for 2–3-m class telescopes. Scientific programs requiring large amounts of telescope time are best suited for small telescopes as time on the larger facilities is expensive and over-subscribed. Two scientific programs that are ideal for small telescopes are radial velocity searches for extrasolar planets and investigations of pulsating stars. We present here observations of extra-solar planets and pulsating stars taken with high-resolution spectrographs that demonstrate the capabilities of small telescopes. When organized into a global network small telescopes can have a major scientific impact and provide scientific results that are not possible on large telescopes.

2-m TELESCOPES IN A GLOBAL NETWORK

Two-meter class telescopes have a distinct advantages over 8–10 m class telescopes in that they can more easily (and inexpensively) be organized into a global network well distributed in longitude. This can provide continuous coverage of target objects which is important for studies of pulsating stars in order to remove the one day alias present in data from one site. The extended coverage is also essential to resolve the fine splitting of modes necessary to yield information about the stellar structure.

The map in Fig. 1 shows the world-wide distribution of potential 2-m class telescopes equipped with high-resolution ($R \approx 60\,000$) spectrographs that can be used for extended RV studies of pulsating stars. Such a network can also have a major impact in extra-solar planet studies and other fields that require time-resolved or synoptic studies (*e.g.*, Doppler imaging studies of spotted stars).

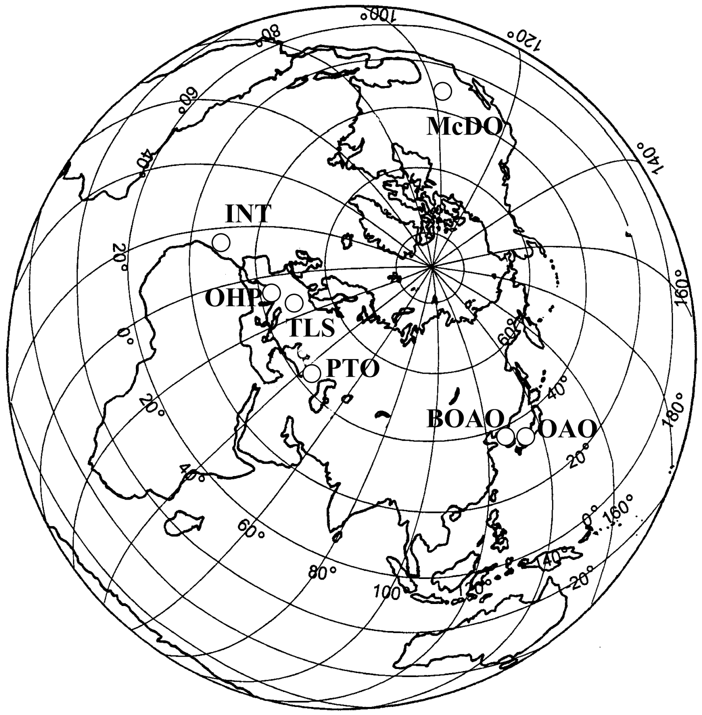


Figure 1. The location of 2-m class telescopes throughout the world that are equipped with high resolution spectrographs that could participate in a global network. McDO: the McDonald Observatory, Texas, USA; INT: the Isaac Newton Group of Telescopes, La Palma; OHP: Observatoir Haut Provence, France; TLS: Thüringer Landessternwarte, Germany; PTO: the Terskol Observatory, Russia; BOAO: the Bohyunsan Optical Astronomy Observatory; OAO: the Okayama Astronomical Observatory, Japan

PRECISE RADIAL VELOCITIES WITH AN IODINE GAS CELL

Many programs require the precise measurements of relative stellar radial velocities (RV). An iodine gas absorption cell is a convenient and inexpensive means of converting any high resolution spectrograph into precise radial velocity instrument. The cell when placed in the optical light path produces a set of iodine absorption lines that are superimposed on the stellar spectrum (see Fig. 2). The velocity shifts of the star are measured with respect to the fixed pattern of the iodine spectrum which minimizes instrumental shifts. This technique is capable of achieving an RV precision of 3 m/s, *even for spectrographs that were not designed to achieve such RV precision.*

SEARCHES FOR EXTRA-SOLAR PLANETS

The existence of giant planets in orbit around other stars is undoubtedly one of the more important astronomical discoveries of the past decade. Most of these discoveries were made with 2–3-m class telescopes (see review by Marcy & Butler [4]). Fig. 3 shows radial velocity measurements for two known extrasolar planets made with the TLS 2-m telescope + echelle spectrograph ($R = 67\,000$). The TLS echelle spectrograph+iodine cell can achieve an RV precision of 2–3 m/s. When the spectrograph was constructed it was not envisioned that such high precision RV measurements would be made with it. The fact that it is capable of making state-of-the-art RV measurements is a testament to the wavelength stability provided by the iodine absorption cell.

PULSATING K GIANT STARS

The K giant stars are a new class of multi-periodic variable stars that vary on timescales of days to hundreds of days [1, 2]. The long period variations are due either to surface features, pulsations, or planetary companions, although recent RV studies suggest that planetary companions may indeed be the cause of some long period variations found in these stars [6].

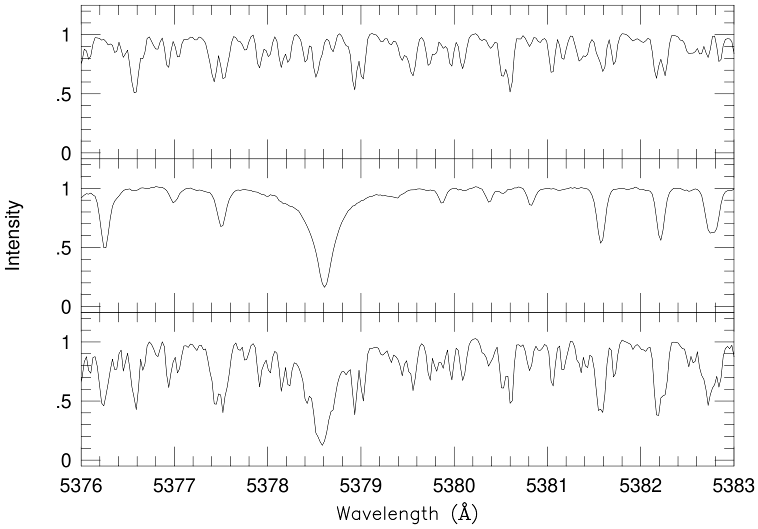


Figure 2. Spectrum of iodine gas (upper panel), spectrum of star (middle panel), spectrum of star through iodine gas (bottom panel)

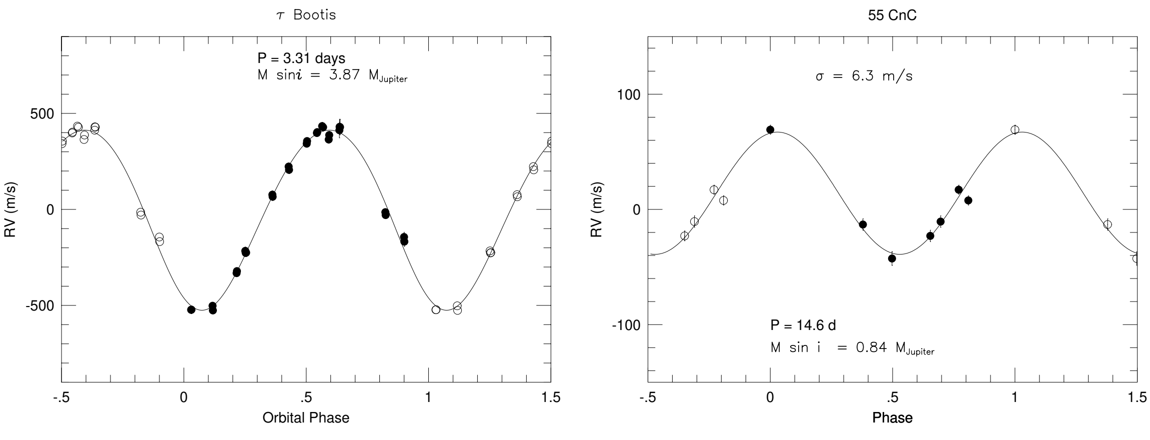


Figure 3. (Left) The radial velocity variations of τ Boo due to a 3.9 $M_{Jupiter}$ companion in a 3.3 day orbit. Open circles represent points that are replotted for another orbital cycle. (Right) The radial velocity variations of 55 Cnc due to a 0.84 $M_{Jupiter}$ companion in a 14.6 day orbit. The scatter about the orbital solution of these measurements taken with the TLS 2-m telescope is 6.3 m^{-1}

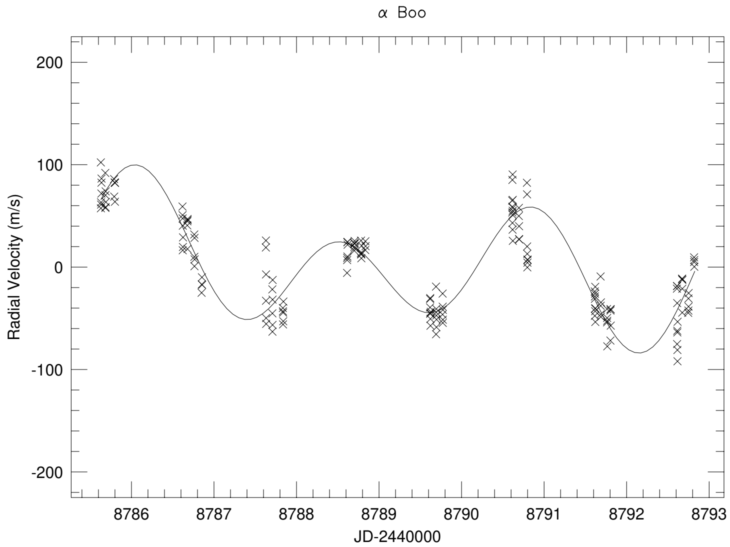


Figure 4. The multi-mode pulsations in Arcturus over eight consecutive nights based on data taken with the McDonald Observatory 2.1-m telescope. Crosses represent the data and the solid line represents a fit which is a sum of three periods: 2.46, 4.03, and 8.5 days

Fig. 4 shows short period variations of Arcturus (α Boo) taken over eight consecutive nights using the McDonald Observatory 2.1-m telescope and an iodine gas cell. The solid line represents a fit of three periods of 2.46, 4.03, and 8.5 days. So far 10 modes showing the equi-spaced frequency of p-modes have been found in this star [2, 5]. The solid lines in Fig. 5 represent modes found at the McDonald Observatory in several 7-night observing runs. In spite of these many nights of observations not all modes were detected. The dashed lines modes found by Merline [5] are based on many more nights of data. The multi-modes that are present in K-giants are ideal for asteroseismic studies, but the long periods and rich spectrum of modes requires large amounts of observing time with continuous monitoring. For instance the McDonald data detected different modes on each observing run. The study of oscillations in K giants, many of which are bright objects, is ideally suited to 2-m class telescopes equipped with high resolution spectrographs that can devote the many consecutive nights needed to find all modes.

RAPIDLY OSCILLATING Ap STARS

The rapidly-oscillating Ap (roAp) stars are a class of stars pulsating in p-modes with periods of 6–12 minutes. Spectral studies show that the RV behavior of these stars can be quite complex with individual spectral lines showing RV pulsational amplitudes that are factors of 10–100 times higher than most spectral lines [3]. Figure 6 shows the Fourier transform of RV measurements of the roAp star HD 134214 in seven spectral regions taken with the 2.1-m telescope at the McDonald Observatory + Sandiford Echelle spectrograph ($R = 50\,000$)+iodine cell. The dashed line denotes the position of the known pulsation period. The pulsation RV amplitude strongly varies with the spectral region.

These kinds of measurements are yielding valuable clues about the vertical structure to the pulsations in roAp stars. Figure 7 shows the RV variations for Nd II and Nd III lines in the roAp star 33 Lib taken with 2.7-m telescope at the McDonald Observatory. The two species oscillate out-of-phase with each other. Since Nd III is formed higher in the stellar atmosphere these data are evidence for a radial node in a standing acoustic wave in the stellar atmosphere.

The study of the vertical structure of pulsations in roAp stars requires the accurate determination of the phase and amplitude of individual spectral lines. These require a very long time sequence of observations. Furthermore, to remove the one day alias of one observing site that is needed to detect additional modes can only be done in a global network.

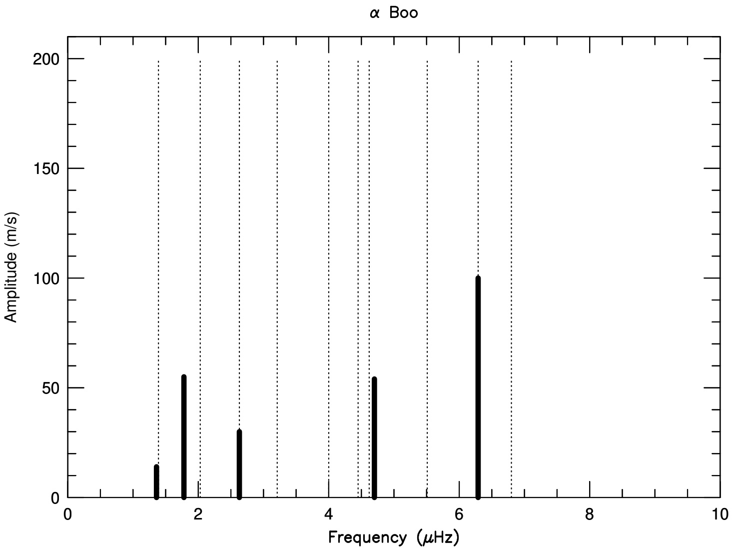


Figure 5. The schematic of pulsation frequency spectrum of Arcturus. Solid lines represents modes found at the McDonald Observatory (height indicates amplitude), dashed lines indicate the frequency (and not amplitude) of modes found by Merline [5]

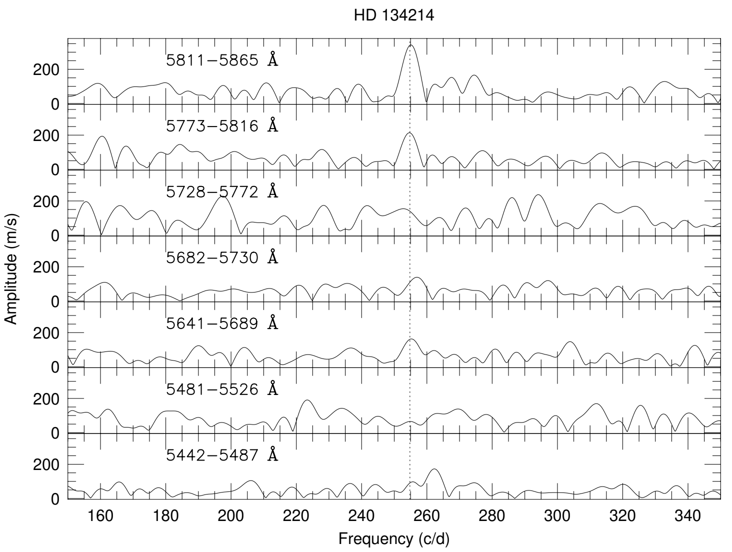


Figure 6. The DFT spectrum of RVs in HD 134214 in seven spectral regions. The dashed line marks the location of the photometric frequency. Note the different pulsational amplitude in each spectral region

CONCLUSION

The precise radial velocity measurements with a global network of 2-m class telescopes will have a great scientific impact on studies of extra-solar planets and seismology of different types of variable stars. For many of these programs the stars are bright, so a study with large telescopes is not justified. Furthermore, to make significant progress in these fields, particularly in asteroseismology, many tens of consecutive nights, often in coordinated multi-site campaigns are needed. This is simply not possible on the larger telescopes. The RV precision of few m/s needed to make the breakthroughs

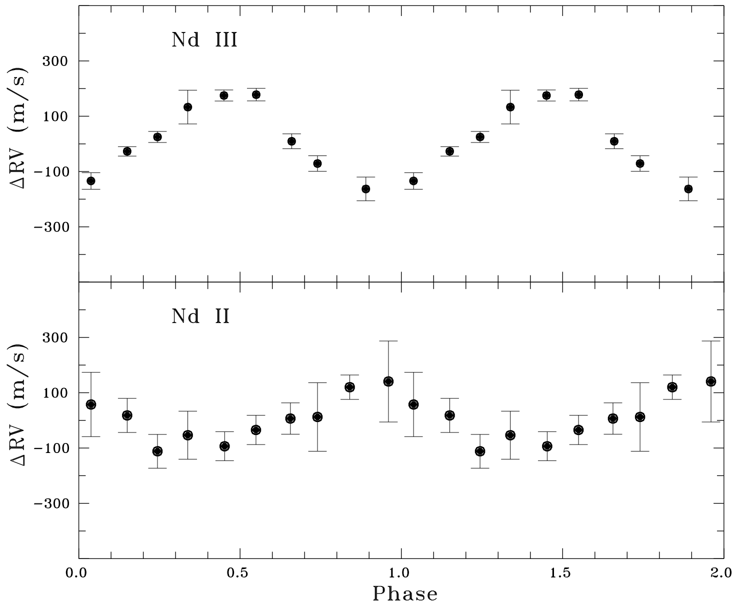


Figure 7. The radial velocities of Nd II and Nd III lines in 33 Lib phased to the pulsational period. The two species are formed in different heights in the stellar atmosphere and indicate the presence of a radial node to the pulsations

in these exciting fields is made possible by the iodine cell technique. Any telescope equipped with a high resolution spectrograph can join in a multi-site campaign. In the near future there are several important space missions for the photometric study of extrasolar planets and pulsations (*e.g.*, MOST, COROT, Eddington, Kepler). A global network of 2-m telescopes for simultaneous ground-based spectroscopic studies can provide essential data for the interpretation of the results from these space missions.

The 2-m telescope of the Terskol Observatory of ICAMER which is located at the intermediate geographic longitude in the continent Eurasia is well suitable for participation in a global multi-site high-resolution spectroscopic campaign to provide data in a key longitude gap. We intend to install an iodine-cell in the coude-room of this telescope and to test it for typical RV accuracies during 2002/2003 season.

[1] *Hatzes A. P., Cochran W. D.* Long-period radial velocity variability in three K giants // Astrophys. J.–1993.–**41**, N 3.–P. 339–348.

[2] *Hatzes A. P., Cochran W. D.* Stellar Oscillations in K Giants // Cool Stars Stellar Systems and the Sun / Eds. R. A. Donahue, J. A. Bookbinder.–ASP Conf. Ser.–1998.–**154**.–P. 311–326.

[3] *Kanaan A., Hatzes A. P.* Pulsations and Radial Velocity Variations in Pulsating AP Stars. I. Analysis of gamma Equulei // Astrophys. J.–1998.–**503**.–P. 848–856.

[4] *Marcy G. W., Butler R. P.* Planets Orbiting Other Suns // Publs Astron. Soc. Pacif.–2000.–**112**.–P. 137–140.

[5] *Merline W. J.* Precise Velocity Observations of K Giants: Evidence for Solar-like Oscillations in Arcturus // Precise Stellar Radial Velocities / Eds. J. B. Hearnshaw, C. D. Scarfe.–ASP Conf. Ser.–1999.–**170**.–P. 187–192.

[6] *Setiawan J., Hatzes A., et al.* Evidence of a Sub-stellar Companion around HD 47536 // Astron. and Astrophys.–2003.–in press.

INTENSITY INTERFEROMETER EXPERIMENT WITH THE SYNCHRONOUS NETWORK OF TELESCOPES

B. Zhilyaev

Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine
27 Akademika Zabolotnoho St., 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: zhilyaev@mao.kiev.ua
International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research
27 Akademika Zabolotnoho St., 03680 Kyiv, Ukraine

ИНТЕРФЕРОМЕТР ИНТЕНСИВНОСТЕЙ С СИНХРОННОЙ СЕТЬЮ ТЕЛЕСКОПОВ, Жиляев Б. – Имеются две конкурирующие схемы для производства интерференции в астрономии. Одна объединяет апертуры нескольких телескопов, другая измеряет корреляции отсчетов от нескольких телескопов. Схема корреляции известна как интерферометр интенсивностей и будет рассматриваться в этой работе как предполагаемый проект. Он основан на Синхронной сети удаленных телескопов трех обсерваторий Украины, России и Болгарии. Почти все действующие интерферометры используют майкельсоновскую комбинацию лучей с базой в десятки метров. Интерферометр интенсивностей может потенциально давать те же результаты, что и интерферометры, основанные на майкельсоновской схеме, с базой континентального масштаба около 1500 км. Он состоит из нескольких удаленных телескопов, использующих синхронный счет фотонов. Синхронизация сети сбора данных основана на GPS-приемниках, дисциплинирующих локальные системы времени фотометров относительно UTC в пределах нескольких наносекунд. Ключевой компонент системы измерений включает оригинальную схему вероятностной идентификации совпадающих отсчетов. Научная программа включает: обнаружение переменности на сверх-высоких частотах путем измерений параметра вырождения Бозе–Эйнштейна, восстановление изображений, а также ряд других астрофизических задач.

There are two competing schemes producing interference in astronomy, one combining several telescopes as an interferometric array, the other capable of count correlation measurements with several telescopes. The correlation scheme is known as the Intensity Interferometer and will be considered in this work as the supposed project. It is based on the Synchronous Network of distant Telescopes (SNT) involving telescopes at three observatories in Ukraine, Russia and Bulgaria and called SNTI (the SNT Interferometer). Almost all of the interferometers of today use the Michelson beam combination among several phased pupils with the baseline of tens meters. The SNTI can potentially produce results like those of based on the classic Michelson scheme. The SNTI provides a baseline of continental scale about of 1500 km too. It consists of several fairly separated telescopes operating synchronously and equipped with photon counting photometers. The data network synchronization is based on GPS receivers to discipline local photometer timing systems relative to UTC within a few nanoseconds. Key component of the event measurement system includes an original scheme of the probabilistic identification of coincident counts. Science programs include: detection of the ultrahigh-frequency variability by consideration of the Bose–Einstein degeneracy, interferometric imaging, as well a variety of other astrophysical objectives.

INTRODUCTION

First interferometric measurements of objects outside the Solar System were performed in the 1920s using a Michelson interferometer. In the 1980s construction of a new generation of optical interferometers began. Among them there are the Cambridge Optical Aperture Synthesis Telescope (COAST), the CHARA project on Mt. Wilson, the Keck and VLTI interferometers based around groups of very large optical telescopes [5]. The latest will provide the milli-arcsec angular resolution. An area not covered in depth inscribes Intensity interferometers. At present only optical interferometers based on the Michelson scheme are planned or under construction. We will look at some basic principles underlying the operation of optical interferometers both the Amplitude and the Intensity One. The use of multiple telescopes to produce high-resolution images as well as ultrahigh-frequency stellar variability is the main goal of this work.

THE VAN CITTERT–ZERNIKE THEOREM

Any size-limited quasi-monochromatic source creates spatial coherent pattern in a projective plane. The coherence coefficient is equal to the Fourier transform of function describing the intensity distribution in the source:

$$\mu_{1,2}^{(1)} = e^{(-i\psi)} \frac{\int\int_{-\infty}^{+\infty} I(\xi,\eta)\exp[i\frac{2\pi}{\overline{\lambda}z}\Delta x\xi + \Delta y\eta]d\xi d\eta}{\int\int_{-\infty}^{+\infty} I(\xi,\eta)d\xi d\eta}, \tag{1}$$

$$D = 0.61\frac{\overline{\lambda}\,z}{a} = 0.61\frac{\overline{\lambda}}{\alpha}\ ,$$

where D is the diameter of coherence spot, $\overline{\lambda}$ is the mean wave length, α is the angular radius of a source.

$\alpha \approx 1''$	satellites of planets	$D \approx 2\,\mathrm{cm}$
$\alpha \approx 0.05''$	α Ori	$D \approx 40$ cm
$\alpha \approx 0.01''$	nearest-neighbor stars	$D \approx 2\,\mathrm{m}$
$\alpha \approx 10^{-8''}$	quasar	$D \approx 10^3\,\mathrm{km}$

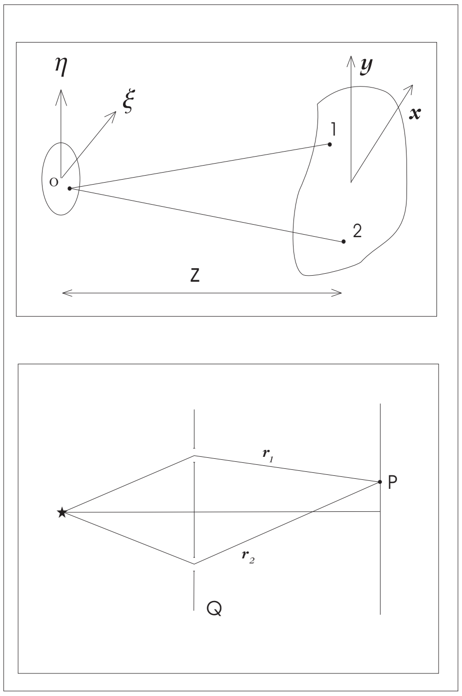


Figure 1. The top picture illustrates how coherence patterns rise from a finite size-limited quasi-monochromatic source. The bottom picture illustrates Young's Two-hole Experiment. The quantities measured in the P-plane are employed in an Amplitude interferometer. An Intensity interferometer operates with the quantities measured in the Q-plane

SOME QUANTUM OPTICS RELATIONS

Classical physics treats radiation in terms of "*intensity*", "*polarization*", "*spectrum*", *etc.* Quantum optics goes far beyond these quantities, describing one-, two-, ... photon properties in terms of higher-order coherence functions and temporal correlations.

- The different quantities measured in experiments can be described in terms of the type

$$\langle E^*(r_1,t_1), E(r_2,t_2)...\rangle,$$

where E denotes a component of electric field, and $\langle\ \rangle$ time average, and * marks complex conjugate, in space r and time t.

- The measured light intensity can be defined as one-photon property

$$I = \beta\,\langle E^*(r_1,t_1), E(r_1,t_1)\rangle,$$

where β denotes the quantum efficiency. This is the very quantity, which a photomultiplier and a bolometer measure immediately.

- The spatial-temporal correlation function ("the second correlator")

$$\Gamma^{(1)}(r_1,r_2,t) \sim \langle E^*(r_1,t), E(r_2,t)\rangle$$

defines the first-order coherence function in the frame of classic Young's Two-hole experiment (Fig. 1). It is applied in astronomy for interferometric imaging. In most cases it can be factorized

$$\Gamma^{(1)}(r_1,r_2,t) \sim \mu^{(1)}(r_1,r_2)\gamma^{(1)}(t)$$

into two multipliers: the spatial coherence function $\mu^{(1)}(r_1,r_2) = \mu^{(1)}_{1,2}$ and the temporal one $\gamma^{(1)}(t)$.

- The spatial-temporal correlation function ("the fourth correlator")

$$\Gamma^{(2)}(r_1,r_2,t) \sim \langle E^*(r_1,t), E(r_1,t), E^*(r_2,t), E(r_2,t)\rangle$$

defines the second-order coherence function, which can be ascribed to two photon correlation. It can be given in terms of intensities too

$$\Gamma^{(2)}_{(1,2)}(t) \sim \langle I(r_1,t), I(r_2,t)\rangle.$$

The device capable of intensity correlation measurements is known as the Intensity Interferometer, first used by Hanbury Brown and Twiss in the 1950s.

- Producing interference requires high phase stability in the Amplitude Interferometer. In the case of Intensity Interferometer one needs an accurate timekeeping at both telescopes, which originates from the requirement $\gamma^1(t) \simeq 1$.

ONE-PHOTON INTERFEROMETRIC SCHEME. AMPLITUDE INTERFEROMETER

The foundation of all interferometric measurements in astronomy is the classic Young's Two-hole Experiment (Fig. 1). Almost all of the interferometers of today (if not all) use the Michelson beam combination among phased pupils with the baselines of up to tens meters.

- The intensity in the point P is equal

$$I(P) = I^{(1)}(P) + I^{(2)}(P) + 2\sqrt{I^{(1)}(P)I^{(2)}(P)}\cdot\mu^{(1)}_{1,2}$$

and can be used to determine $\mu^{(1)}_{1,2}$ in terms of intensities.

- Measuring $\mu^{(1)}_{1,2}$ from different baselines, it is possible to restore the intensity distribution on the source surface, which cannot be directly observed, using the inverse Fourier transform.
- Spatial fringle patterns have to be measured at an area of Airy disk in the focal plane. This requires small pixel size of some milli-arcsec and operations in the infrared.
- Interferometric instruments of this category require adjustment of pupil mirrors with μm precision, short exposure time, bright guide stars and Adaptive Optics to control atmospheric turbulence.

TWO-PHOTON INTERFEROMETRIC SCHEME. INTENSITY INTERFEROMETER

Operation of the Intensity Interferometer is founded on a quantum property of light called "the bunching of photons". Because of a photon gas follows a Bose–Einstein distribution the effect of temporal correlation between light quantum becomes significant. It is characterized by the quantity of Bose–Einstein degeneracy

$$\delta = \frac{1}{e^{\frac{h\bar{\nu}}{kT}} - 1}.$$

For the black body radiation at $T \approx 20\,000\,K$ $\delta \simeq 1$, for the Sun it equals $\sim 10^{-3}$.

- The normalized correlation function is

$$g^{(2)}_{(1,2)}(t) = \frac{\Gamma^{(2)}_{(1,2)}(t)}{\bar{I}_1 \bar{I}_2} = 1 + \frac{\langle \Delta I_1 \Delta I_2 \rangle}{\bar{I}_1 \bar{I}_2}.$$

For gaussian light, the Siegert relation between the first- and second-order correlation functions is true [3]

$$g^{(2)}_{(1,2)}(t) = 1 + |g^{(1)}_{(1,2)}(t)|^2.$$

- Measuring the intensity $I(t)$ in the photon counting mode, $n(t) = \beta I(t)\tau$, where $n(t)$ is counts per sampling time τ, one may obtain

$$r(n_1, n_2) = |\mu^{(1)}_{1,2}|^2.$$

Here r is the correlation coefficient between the readings at two distant telescopes. Thus, the Intensity Interferometer can potentially produce results like those of based on the classic Michelson scheme.

- The quantity

$$r\ \sqrt{N-2} = t_{N-2}$$

for a noise series of the length N has the Student t_{N-2} distribution with the $N-2$ degree of freedom. We may establish a threshold for detecting spatial coherence function at the confidence level α

$$r_\alpha = \frac{t_{N-2,\alpha}}{\sqrt{N-2}}.$$

- The signal-to-noise ratio with the Intensity Interferometer is less than with the Amplitude One by a factor of $\beta\delta$, other things being equal. The basic requirements for its construction are, however, less strong.
- The Amplitude Interferometer measures the intensity of light combined among several phased pupils in one point P (Fig. 1). The Intensity Interferometer measures the intensity fluctuations correlation between distant pupils operating independently at different points in the Q plane (Fig. 1). Both devices measure in various ways the same quantity $\mu^{(1)}_{1,2}$, to restore the source image in the end.
- To illustrate how sensitive the algorithm is to the image features, an example in Fig. 2 performs two 2-D Fourier transforms. The example simulates the images, which include a single star as well as a close binary system. We convert the images to Fourier space. The plot constrains the image transforms only in one dimension. As one can see, result "a binary star" is practically identical to result "a single star" if the image amplitude information is used only. For display purposes, we present the plot of the amplitude spectrum, which was determined after subtraction of both complex Fourier spectra. As it is easy to see, the account of the phase information allows restoring tenuous features of the initial image. The demo shown in Fig. 2 convinces us that an Amplitude Interferometer has doubtless advantages in comparison with an Intensity One in interferometric imaging. However, the last can besides effectively carry out a role of the spectral device.

APPLICATION OF INTERFEROMETRIC TECHNIQUE FOR DETECTION OF ULTRAHIGH-FREQUENCY VARIABILITY

We want to point out that the study of fast varying sources can be put into practice with an Intensity Interferometer. First references on super-fast photometry date back to Bonazzola and Chevreton [1], Pimonov and Terebizh [4], who were looking for time varying phenomena whose characteristic time scale is much less than the mean time between two photons.

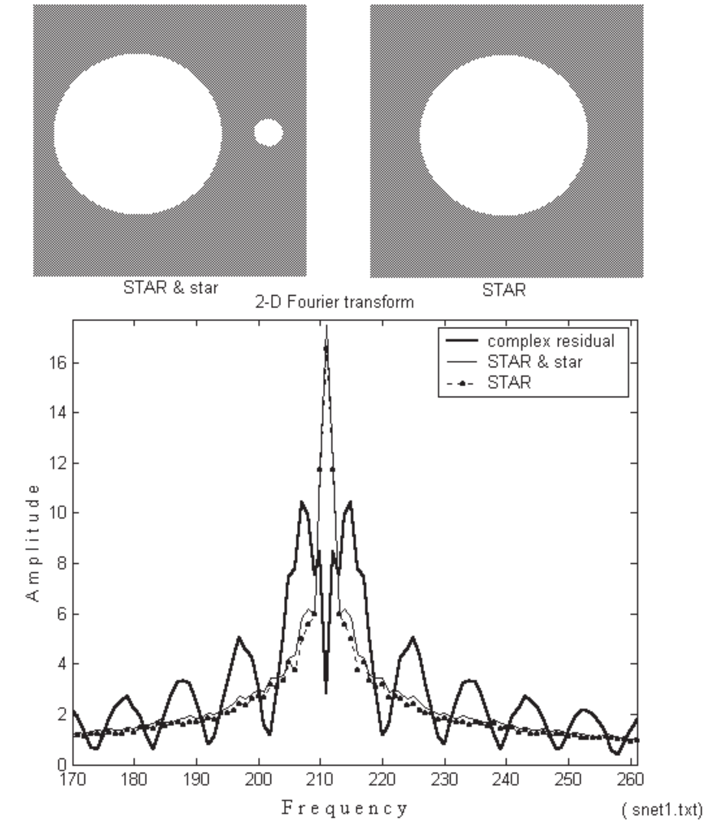


Figure 2. Computer-generated images of a single star and a star with small companion, showing sharp distinction in their spectral characteristics (see text)

Emission variations on timescales down to $1\mu s$ might be encountered 1) in objects far from thermodynamic equilibrium, 2) in the X and γ-ray sources, 3) in accretion discs around compact objects, *etc.* [2].

Any point-like source is characterized by a limitless spatial coherence. The same is true with respect to any size-limited coherently variable source. This means that their spatial coherence $\mu^{(1)}(r_1, r_2) \equiv 1$. The temporal term $\gamma^{(1)}(t)$ may be treated as an inverse Fourier transform of the source visible spectrum $F^{-1}G(\nu)$ in a Michelson interferometer. In the case of Intensity Interferometer this term may relate to the power spectrum density of variable source too. Because of Intensity Interferometer is an in-line correlation detector by nature, it can be utilized as a spectrointerferometer. An obvious advantage of this kind interferometric approach, utilizing the cross-correlation technique, over single-site monitoring is that atmosphere fluctuations do not significantly affect its performance. Tracking the source with two distant telescopes can also eliminate instrumental faults.

As it would seem, the light quantum deficiency puts obstacles in the way of fast photometry. For sparse quantum fluxes, light curves are of little use. This gives the false impression of an almost insurmountable problem when we have dealings with fast varying phenomena. However, this problem may be exactly soluble in Fourier space. We may obtain formal expressions for the harmonic frequency, amplitude and phase starting with only two photons in the measurement series. By Fourier theorem there is no restriction absolute values of the mean intensity, frequency of sampling, *etc.* However, the minimum detectable amplitude of signal depends on the total number of arrived photons [1].

The Synchronous Network of distant Telescopes (SNT) involving telescopes at three observatories in Ukraine, Russia and Bulgaria, is called SNTI (the SNT Interferometer). The SNTI provides a baseline of continental scale (about of 1500 km). It consists of several fairly separated telescopes operating synchronously and equipped with photon counting photometers. To integrate some apertures we need to synchronize distant telescopes to UTC within the sampling time. The data network synchroniza-

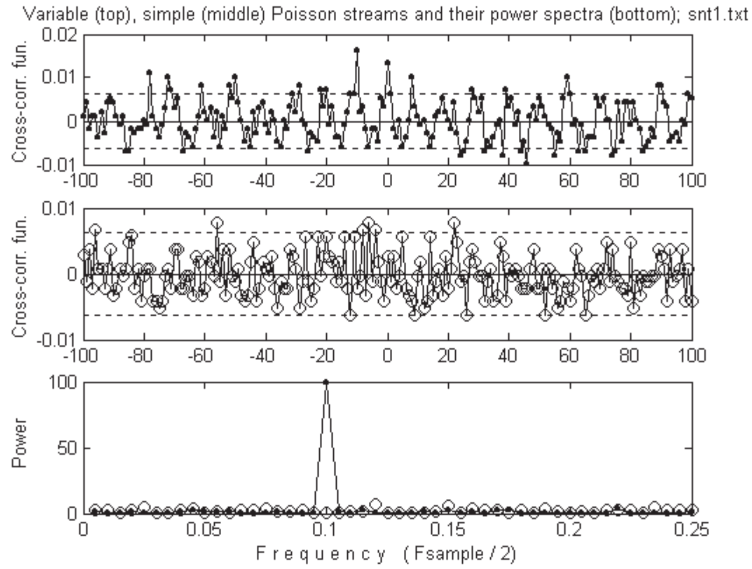


Figure 3. Computer-generated noise plus sinusoidal wave signal, showing sharp distinction from noise data (see text)

tion is based on GPS receivers Acutime 2000 to discipline local photometer timing systems relative to UTC.

At present time we can set the sampling time $\simeq 20\,\mu s$ as a typical value. Different telescopes can be synchronized to UTC within better than $\simeq 1\,\mu s$. Thus, shortest detectable temporal variations are of 25 kHz.

Fig. 3 shows the cross-correlation functions (CCF) and the cross-spectrum for two runs of generated noise as well as sum of noise and sinusoidal wave with amplitude equal to noise standard deviation. Noise is Poisson-distributed random integers. The computer simulation conditions are such that the mean interval between photons is hundred times greater than the sampling time. The total number of measurements and photons that have arrived are of 10^5 and $\sim 10^3$, respectively. The photoefficiency was chosen equal to 10 %.

The middle panel in Fig. 3 shows CCF calculated from the noise runs. The 95 % confidence levels for noise peaks are shown as the horizontal lines. The experimental data are in good agreement with the theoretical value given above for the correlation coefficient for noise series. The upper panel shows CCF calculated from sets of computer-generated noise plus sinusoidal wave signal, showing sharp distinction from the noise data. The bottom panel shows the cross-spectrum obtained as the Fourier transform of CCF. There is the striking peak at the actual frequency used in the computer-generated set.

To summarize, the results obtained here give some evidence that there is completely reliable opportunity to study the ultrahigh-frequency variability with the Synchronous Network of Distant Telescopes.

[1] *Bonazzola S., Chevreton M.* X - and γ- ray Superfast Photometry // Astron. and Astrophys.–1982.–**105**.–P. 1–5.

[2] *Dravins D.* Astrophysics on Its Shortest Timescales // The Messenger.–1994.–**78**.–P. 9–19.

[3] *Jakeman E.* Photon Correlation // Photon Correlation and Light Beating Spectroscopy / Eds H. Z. Cummins, E. R. Pike.–New York and London: Plenum Press, 1974.

[4] *Pimonov A. A., Terebizh V. Yu.* Search for Brightness Fluctuations by means of photon counting // Izvestija SAO.–1981.–**13**.–P. 62–75. (in Russian).

[5] *Quirrenbach A.* Optical Interferometry // Annual Review of Astron. and Astrophys.–2001.–**39**.–P. 353.

ОБРАБОТКА ПЗС-КАДРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗДНЫХ ПОЛЕЙ В ПАКЕТЕ MIDAS/ROMAFOT

В. Н. Андрук[1], **Г. З. Бутенко**[2], **Ю. Н. Иващенко**[3]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: andruk@mao.kiev.ua

[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: butenko@mao.kiev.ua

[3] *Андрушевская астрономическая обсерватория Украинской астрономической ассоциации*
ул. Обсерваторная, 7, с. Гальчин, Андрушевский район, 13400 Житомирская обл., Украина
e-mail: aao@gluk.org

Для обработки наблюдательного материала, полученного с помощью ПЗС-камеры S1C-017, установленной на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории, предложен новый метод коррекции плоского поля. Метод основан на выделении крупномасштабной пространственной огибающей собственного плоского поля из кадра изображения. Вспомогательный кадр плоского поля системы телескоп + матрица не используется. Описана процедура предварительной обработки кадров изображений звездных полей в пакете MIDAS. Ошибка данного метода для определения положений объектов составляет несколько сотых угловой секунды.

PROCESSING OF CCD IMAGES OF STAR FIELDS USING THE MIDAS/ROMAFOT SOFTWARE PACKAGE, by Andruk V. N., Butenko G. Z., Ivashchenko Yu. N. – We suggest a new procedure to take into account the flat-field effect based on compensating for the gradient and local irregularities of the image background. It was tested by reducing numerous CCD images taken with the S1C-017 camera and the Zeiss-600 astrograph of Andrushivka Astronomical Observatory (observatory code A50). No auxiliary flat-field image is used. The MIDAS software package is described for preliminary reduction of stellar images. The rms method error of determination of single position is several arc sec.

ВВЕДЕНИЕ

В январе 2002 г. на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории ($\lambda = 50°00'02.0''$, $\varphi = 28°59'50.3''$, $h = 240$ м) установлена цифровая телевизионная ФПЗС-камера S1C-017 производства ГУП НПП "Электрон Оптроник", г. Санкт-Петербург, Россия. В таблице приведены технические характеристики телескопа и ПЗС-камеры.

Zeiss-600 [4]		ПЗС-камера [6]	
Оптическая система	Кассегрен	Размер матрицы (пкл)	1024 × 1024
Диаметр главного зеркала	600 мм	Размер пикселя (мкм)	16 × 16
Фокусное расстояние главного зеркала	2400 мм	Поле камеры (′)	8 × 8
Эквивалентное фокусное расстояние	7400 мм	Число секунд дуги в 1 пкл	0.44
Масштаб	$28''$/мм	Максимальное охлаждение	$T = -35°$ C
Предельная звездная величина системы телескоп + ПЗС-камера			21^m

Круг некоторых наблюдательных задач предполагает эксплуатацию приемника излучения для регистрации предельно слабых объектов $V = 20$–21^m. Данная работа посвящена альтернативному (без отдельного экспонирования кадров с плоским полем FF) учету и исключению фотометрических искажений, связанных с неравномерностью чувствительности и регистрации тракта приемника по полю кадра изображения. Используется факт наличия собственного плоского поля в каждом ПЗС-кадре изображения звездного поля. Предлагаемый метод основан на выделении пространственной огибающей собственного FF с последующим вычитанием его из кадра изображения. Такой подход к коррекции кадров изображений обусловлен следующими объективными причинами. Главная причина – для регистрации предельно слабых звезд $V = 21–22^m$ с матрицей S1C-017 необходимы экспозиции до десятков минут, что приводит к предельно высокому накоплению заряда от фона неба. При считывании большого заряда при температуре охлаждения приемника $T = –35°$ C происходит разогрев значительного участка матрицы в месте стока заряда. На практике происходит дополнительное фотометрическое искажение (повышение уровня интенсивности). Его не удается корректно учесть даже при использовании кадров FF с экспозицией равной (или большей) времени накопления для кадра изображения. После операции учета плоского поля по общепринятому правилу уровень фона по кадру не становится плоскоравномерным. Это и стало причиной поиска другого, пусть и с ограничениями, способа крупномасштабной фотометрической коррекции ПЗС-кадров изображений звездных полей.

ОБРАБОТКА ПЗС-ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАДРОВ С ПЛОСКИМ ПОЛЕМ

Последовательность обработки ПЗС-кадра с изображением звездного поля без операции обычного вычитания плоского поля продемонстрируем на кадре, полученном 21/22 мая 2002 г. на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории с камерой S1C-017. На кадре сфотографирована область окресности скопления M 13 (NGC 6205) с фотоэлектрическими стандартами в UBV системе (кадр по журналу наблюдений – 21м1303.tif, экспозиция – 600 с), что позволяет определить зарегистрированную предельную звездную величину приемником (телескоп Zeiss-600 + ПЗС-камера S1C-017) в интегральном свете для астропункта с. Гальчин Андрушевской АО. Для удобства демонстрации операций с преобразованием ПЗС-кадра интенсивности I нормированы на среднее значение этой величины (под интенсивностью I подразумеваем численное значение зарегистрированного накопленного заряда в каждом элементе изображения).

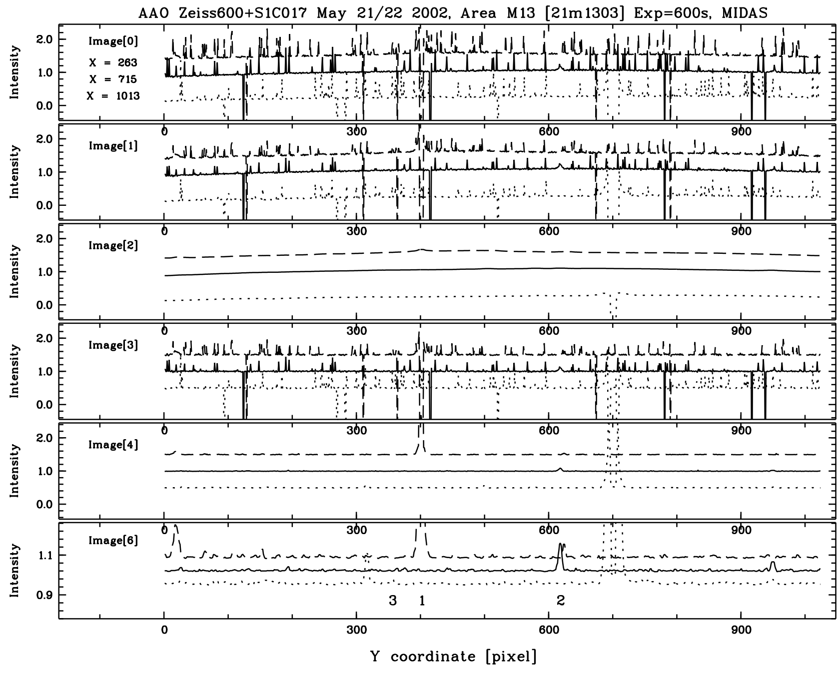


Рис. 1. Фотометрические разрезы для последовательностей обработки кадра изображения звездного поля без использования кадра плоского поля в пакете MIDAS

Рассмотрим рис. 1. В верхнем ряду для сырого кадра Image{0} показаны три разреза по координате Y интенсивности I. Разрезы сделаны через центры звезд ($X = 263$, 715 и 1013 пкл, обозначены штриховой, непрерывной и точечной линиями соответственно; первый и третий разрезы смещены на 0.5 делений нормированной величины интенсивности), которые на рис. 1 и рис. 2 обозначены как 1, 2, 3. Фотоэлектрические величины звезд в V системе соответственно равны 14.52^m, 17.48^m и 20.45^m [3].

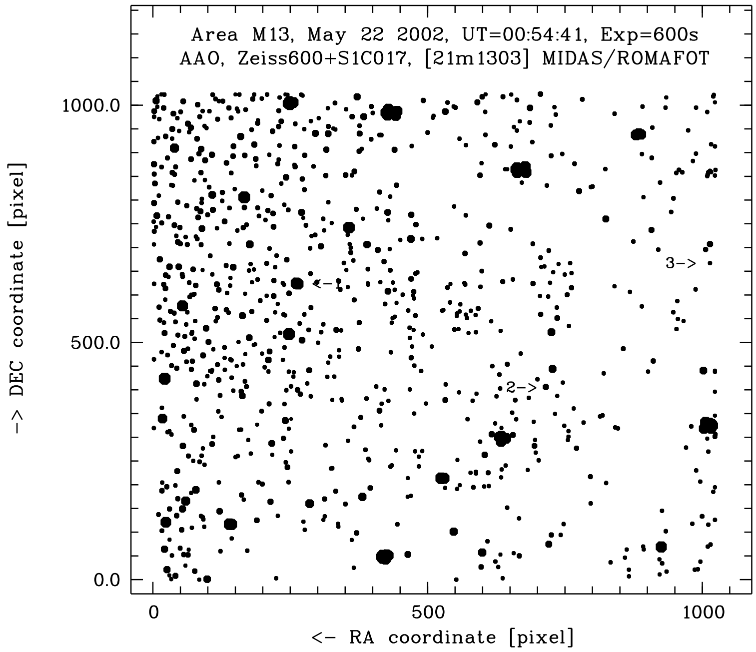


Рис. 2. Карта области неба в окрестности скопления M13, полученная при обработке ПЗС-кадра изображения в пакете MIDAS/ROMAFOT без использования кадра плоского поля. Кадр получен в Андрушевской АО на телескопе Zeiss-600 с ФПЗС-матрицей S1C-017 21/22 мая 2002 г., экспозиция – 600 с

Для демонстрационного кадра характерно незначительное количество элементов с отрицательным значением интенсивности (что не характерно для экспозиций с большим временем накопления) и приемлемое количество горячих элементов. Выпуклая кривизна линий разрезов обусловлена влиянием плоского поля приемника. Во втором ряду рис. 1 показаны разрезы рабочего кадра Image{1} после операции вычитания кадра темнового тока из кадра Image{0}. Визуально заметно понижение уровня интенсивности горячих элементов, прочих значимых изменений не произошло, что естественно. Теперь над кадром Image{1} сделаем операцию, которая позволит выделить пространственную огибающую плоского поля. В пакете MIDAS при помощи программы FILTER/MEDIAN получим сильно сглаженное изображение Image{2} [5]. Окно сглаживания $R = 11$ пкл был подобран эмпирически (в общем случае чем больше окно сглаживаия – тем лучше), при этом в преобразованном рабочем кадре не происходит значительная потеря предельно слабых объектов. Итак, операция

FILTER/MEDIAN Image{1} Image{2} R,R (1)

позволяет получить кадр Image{2}, в котором есть информация о крупномасшабной структуре плоского поля для конкретного кадра изображения звездного поля. После обязательной операции нормирования кадра Image{2} результаты показаны в третьем ряду рис. 1. Теперь сделаем операцию вычитания нормированного плоского поля Image{2} из кадра изображения Image{1}:

Image{3} = Image{1} / Image{2}. (2)

Результат демонстрируется в четвертом ряду рис. 1. Кадр Image{3} в деталях подобен кадру Image{1}, но теперь крупномасштабной фотометрической неравномерности по полю кадра изображения нет. Неравномерность интенсивности за счет горячих элементов (высокочастотная помеха) устраняется операцией вида (1) с окном сглаживания 3 пкл ($R = 1$):

FILTER/MEDIAN Image{3} Image{4} 1,1. (3)

В пятом ряду рис. 1 видно, что разрезы интенсивности I имеют вид прямых линий, на фоне которых выделяются колоколоподобные кривые от звезд. В шкале исходных единиц интенсивности звезда 1 ($Y = 401$) выделяется очень хорошо, звезда 2 ($Y = 618$) – заметно, а звезда 3 ($Y = 356$) – не видна. Для повышения контрастности изображения сделаем следующее. Используя операторы MIDAS, образуем кадр Image{5}:

Image{5}=LOG10(Image{4})/SQRT(Image{4}). (4)

Масштабный двумерный множитель изменения интенсивности k, который определяется выражением (4), используем для получения контрастного кадра Image{6}:

Image{6} $= k \times$ Image{4}. (5)

Подробнее процедура повышения контрастности отдельных объектов на ПЗС-кадре описана в работе [2]. После процедуры вида (3) над кадром Image{6} окончательный результат представлен в нижнем ряду рис. 1 (масштаб интенсивностей увеличен). Последующая операция обычного усреднения с окном сглаживания 3 пкл позволяет учесть индивидуальную погрешность чувствительности каждого элемента. Конечно, объекты $V = 20$–21^m (звезда 3) слабо выделяются на общем фоне, но все-таки они уже пригодны для обработки в фотометрическом пакете ROMAFOT с целью определения их координат и звездных величин. Редукция инструментальных фотометрических величин ROMAFOT в шкалу звездных величин какой-либо системы ($UBVR$ и т. п.) должна производиться с учетом операций вида (4) и (5), которые изменяют масштаб интенсивностей с целью выделения слабых объектов на уровне помех.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и успешно применяется на практике в пакете MIDAS метод обработки (получения) кадров изображений с выровненным звездным полем (не отягощенных неравномерностью чувствительности и регистрации телескоп + ПЗС-приемник) без использования специально экспонированного кадра плоского поля. Описанный способ нетрадиционного учета плоского поля в ПЗС-кадрах может применяться в широко распространенных программных пакетах (Astrometrica, IRIS), где есть элементарные операции (вычитание, умножение, деление) и программа медианной фильтрации. К достоинствам данного метода относится и автоматическое удаление помех-засветок от ярких источников на небе (вычитается крупномасштабная пространственная огибающая экспонированного кадра), что позволяет не только уверенно выделять слабые объекты на фоне ярких, но и получать их реальные фотометрические величины. Данный метод неэффективен при фотометрии протяженных объектов. Но если увеличить окно сглаживания в несколько раз в процедуре вида (1), то для случая слабых протяженных объектов это приведет к приемлемому результату. Еще лучше для процедуры вида (1) использовать вспомогательный кадр с экспозицией на порядок короче, чем для основного, рабочего кадра. Если на рабочем кадре нет фотометрических стандартов, то для фотометрии объектов посредством использования информации об экстинкции необходимо получать вспомогательные кадры с короткой экспозицией для областей со стандартами и кадры в исследуемой области неба. То есть, для обширного круга задач по определению координат и фотометрических величин звездоподобных объектов этот метод пригоден. Отметим, что внутренняя ошибка определения положения данного метода для приемника излучения (телескоп + матрица) Андрушевской АО составляет $0.035''$ и $0.042''$ для экспозиции 10 и 60 с соответственно, что является хорошим результатом [1].

[1] *Андрук В. М., Парусімов В. Г., Дудник Т. Б.* Досвід цифрової обробки зображень зоряних полів у програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–1999.–№ 1.–С. 100–103.

[2] *Бутенко Г. З., Кузнецов В. И., Снежко Л. И.* Исследование оптики 2-м телескопа в фокусе Кассегрена на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 6.–С. 543–556.

[3] *Казанасмас М. С., Завершнева Л. А., Томак Л. Ф.* Атлас и каталог звездных величин фотоэлектрических стандартов.–Киев: Наук. думка, 1981.–220 с.

[4] Cassegrain-Spiegelteleskop 600/2400/7500, Carl Zeiss JENA, DDR.

[5] European Southern Observatory – Image Processing Group 1994, MIDAS Users Guide, Volume A, B and C, ESO, Garching.

[6] *Vishnevsky G. I., Galyatkin I. A., Dalinenko I. N., et al.* Scientific and technical collaboration between Russian and Ukranian author collectives on the development of astronomical instruments equipped with the advanced detection devices // Astron. and Astrophys. Transactions.–2002.–in press.

ИССЛЕДОВАНИЕ АСТРОКЛИМАТА 2-м ТЕЛЕСКОПА НА ПИКЕ ТЕРСКОЛ

В. Н. Андрук[1], Г. З. Бутенко[2], В. И. Кузнецов[2], С. Ф. Носов[1], В. Г. Парусимов[1], Н. Н. Перетятко[1], А. В. Сергеев[2], Л. И. Снежко[3]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: andruk@mao.kiev.ua

[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: butenko@mao.kiev.ua

[3] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия
e-mail: snezhko@sao.ru

На основе обширного наблюдательного материала, полученного в 1985–1991 и 1997 гг. на телескопах, установленных на пике Терскол, приводятся коэффициенты экстинкции в полосах *UBVRI* системы Джонсона, яркость свечения ночного неба, значение функции *FWHM* качества изображения звезды в телескопе, распределение ошибок электро- и ПЗС-фотометрии, другие данные. Специальные наблюдения на 2-м телескопе с диафрагмой Гартманна в 1998–2001 гг. позволили исследовать астроклимат трубы и подкупольного помещения, оценить качество получаемых изображений, выработать рекомендации по реализации проницающей силы 2-м телескопа.

INVESTIGATION OF THE SEEING FOR THE 2–m TELESCOPE AT TERSKOL PEAK, by Andruk N. V., Butenko G. Z., Kuznetsov V. I., Nosov S. F., Parusimov V. G., Peretyatko N. N., Sergeev A. V., Snezhko L. I. – We derived the extinction coefficients in the *UBVRI* bands of the Johnson system, together with the night-sky luminosity, the *FWHM* function of star images, the distribution of the photomultiplier, the errors of CCD-photometry, as well as other data calculated from extensive observations in 1985–1991 and 1997 with the telescopes mounted on Terskol Peak. The specially arranged observations obtained in 1998–2001 with the 2-m telescope equipped with a Hartmann diaphragm allowed us to study the seeing contribution of the tube and of the air mass inside the dome, to estimate star image quality, and to make recommendations how to reach the limiting resolution of the 2-m telescope.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа основана на результатах оригинальных измерений, выполненных авторами на пике Терскол в рамках различных наблюдательных программ с целью определения условий наблюдений в астропункте пик Терскол вообще и качества получаемых на 2-м телескопе астрономических данных в частности. Длительные ряды фотоэлектрических наблюдений звезд позволили не только определить макропараметры астроклимата пика Терскол (прозрачность атмосферы для пяти полос *UBVRI* системы Джонсона, яркость свечения ночного неба, прочее), но и впервые установить факт изменения коэффициентов экстинкции, связанный с приливными эффектами в атмосфере Земли от Луны и Солнца. Микроастроклимат 2-м телескопа исследовался на основе анализа большого количества просканированных и обработанных кадров изображений звезд с диафрагмой Гартманна. Получены численные значения аберраций оптической системы в фокусе Кассегрена: постоянная кома, сферическая аберрация, астигматизм. Выработаны и реализованы многочисленные рекомендации по эффективному использованию возможностей 2-м телескопа.

АСТРОКЛИМАТ ПИКА ТЕРСКОЛ

1. Специальные наблюдения астроклимата пика Терскол в 1987–1991 гг. с помощью интерферометра когерентности и ФЭП дали следующие результаты [6, 7]. Было установлено, что значение ширины изображения звезды $FWHM = 1.2''$ (функция $FWHM$ или β_{50}-оценка размера изображения звезды на половине максимума интенсивности) на длине волны $\lambda = 0.5$ мкм характерно для 50 % лучшего наблюдательного времени. Значения β_{50} для астропункта Терскол уступают данным для г. Санглок (2237 м, Таджикистан) и г. Майданак (2760 м, Узбекистан) и практически идентичны показателям для САО РАН. Изображения высокого класса ($\beta_{50} \leq 0.6''$) для пика Терскол относительно редкие, но при этом бывают ночи с высокой прозрачностью. Следующий результат – доля наблюдательного времени при облачности не более 2 баллов (небо закрыто менее чем на 25 %) составляет в среднем 31 % за все 1734 ч наблюдений в сроки 15.02–19.04.1987, 27.08–19.09.1988, 09.09–20.09.1989, 17.02–11.03.1990, 25.08–14.09.1990, 05.03–22.03.1991, 06.12–26.12.1991.

2. На основе многолетних наблюдений в рамках программы МЕГА (1985–1991 гг.) с электрофотометром АЭФ-2 на телескопе Zeiss-600 в разные сезоны было установлено, что главные коэффициенты экстинкции k в системе $UBVR$ Джонсона для пика Терскол связаны с температурой T(°C) следующим образом [1]:

$$\begin{aligned} k_U &= 0.447^m + 0.00123^m\,T + 0.00082^m\,T^2, \\ k_B &= 0.241^m + 0.00321^m\,T + 0.00053^m\,T^2, \\ k_V &= 0.158^m + 0.0033^m\,T + 0.00045^m\,T^2, \\ k_R &= 0.106^m + 0.00319^m\,T + 0.00021^m\,T^2. \end{aligned} \tag{1}$$

Разброс коэффициентов экстинкции характеризуется следующими значениями: $\delta k_U = \pm 0.104^m$, $\delta k_B = \pm 0.078^m$, $\delta k_V = \pm 0.044^m$, $\delta k_R = \pm 0.043^m$. На рис. 1 значения коэффициентов экстинкции для отдельных ночей показаны точками, а сплошные линии соответствуют числовым значениям уравнений (1). Наблюдения поздней осенью 1991 г. на двухканальном электрофотометре ФОРАС позволили впервые определить коэффициент экстинкции k_I для инфракрасной полосы I системы Джонсона. По результатам обработки пяти ночей среднее значение поглощения в этой полосе равно $k_I = 0.30^m$.

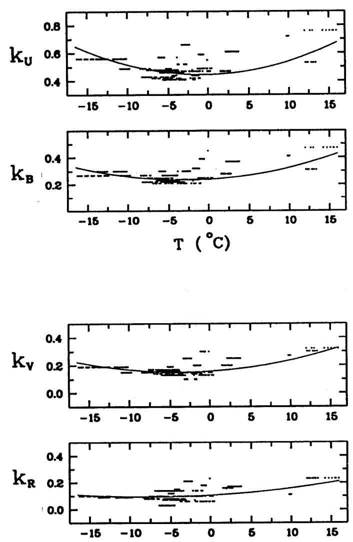


Рис. 1. Изменения главных коэффициентов экстинкции k_U, k_B, k_V, k_R с температурой T (°C) для безлунных ночей в астропункте Терскол

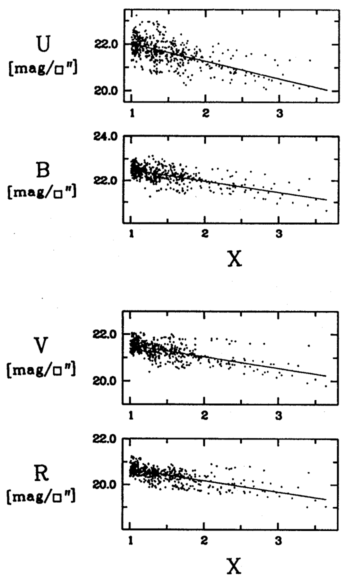


Рис. 2. Поверхностная яркость ночного безлунного неба в четырех полосах системы $UBVR$ в зависимости от воздушной массы X для астропункта Терскол

3. На основе измерений фона для бедных звездами областей ночного неба определены значения астрономической яркости (яркость фона неба на верхней границе атмосферы) и значения яркости на нижней границе атмосферы (в звездных величинах с одной квадратной секунды дуги). Для астропункта Терскол зависимости поверхностной яркости свечения ночного безлунного неба от воздушной массы X для четырех полос U, B, V, R имеют вид

$$U_{\square''} = 22.77^m - 0.75^m\,X, \qquad V_{\square''} = 22.11^m - 0.57^m\,X,$$
$$B_{\square''} = 23.02^m - 0.52^m\,X, \qquad R_{\square''} = 21.25^m - 0.57^m\,X. \tag{2}$$

Разбросы этих значений для безлунных ночей характеризуются величинами: $\delta U_{\square''} = \pm 0.435^m$, $\delta B_{\square''} = \pm 0.290^m$, $\delta V_{\square''} = \pm 0.273^m$, $\delta R_{\square''} = \pm 0.240^m$ (в звездных величинах на квадратную секунду дуги).

Наблюдения выполнены с двумя диафрагмами ($22''$ и $54''$ соответственно), что повышает достоверность результатов в систематическом отношении. На рис. 2 представлены зависимости поверхностной яркости ночного безлунного неба в четырех полосах от воздушной массы X для астропункта Терскол. Точки соответствуют отдельным определениям этих значений в разных областях неба, бедных звездами, в разные ночи; сплошные линии соответствуют числовым значениям уравнений (2).

4. Практическая точность фотометрических измерений звезд на пике Терскол для четырех полос $UBVR$ системы Джонсона приведена в таблицах. В табл. 1 представлены значения средних квадратичных ошибок σ, которые характеризуют фотоэлектрические наблюдения, выполненные на телескопе Zeiss-600 ($D/F = 60/750$).

Таблица 1. Средние значения СКО в зависимости по внешней сходимости от звездной величины для фотоэлектрического способа измерения величин звезд в системе $UBVR$ на телескопе Zeiss-600

V	σ_U	σ_B	σ_V	σ_R
5–6^m	0.009^m	0.009^m	0.009^m	0.006^m
6–7	0.005	0.006	0.006	0.006
7–8	0.008	0.006	0.006	0.006
8–9	0.006	0.006	0.006	0.009
9–10	0.009	0.008	0.008	0.010
10–11	0.011	0.012	0.010	0.013
11–12	0.019	0.016	0.018	0.024
12–13	0.034	0.020	0.024	0.033
13–14	0.048	0.033	0.040	0.060
14–15	0.081	0.058	0.069	0.096
15–16	0.154	0.079	0.106	–

Обработка ПЗС-наблюдений, выполненных на 2-м телескопе с помощью двухканального фокального редуктора (Институт аэрономии общества Макса Планка, Линдау, Германия), позволила получить распределение средних значений СКО единичного измерения экваториальных координат и звездных величин [2]. Эти данные приводятся в табл. 2 и табл. 3. Обработка ПЗС-кадров изображений сделана в пакете MIDAS/ROMAFOT, из расчетов получены размеры пикселя для оптической системы редуктора, установленного на 2-м телескопе ($0.9943'' \pm 0.015''$, $0.8116'' \pm 0.006''$ для синего и красного каналов соответственно).

5. Как показала практика фотоэлектрических наблюдений звезд на высокогорном астропункте Терскол, для получения высокоточных фотометрических измерений блеска небесных объектов необходимо учитывать пространственно-временные изменения экстинкции, связанные с полусуточными вариациями физического состояния атмосферы Земли из-за приливных воздействий Солнца и Луны. То есть, при длительных наблюдениях в течение ночи, кроме главных и цветовых коэффициентов экстинкции, необходимо учитывать дополнительное изменение поглощения γ_S и γ_M , которое представим в обычном виде [8]:

$$S = \gamma_S \sin\left(2\Delta\alpha_{IS} + \sigma_{\alpha S}\right) \cos\left(2\Delta\delta_{IS}\right),$$
$$L = \gamma_M \cos\left(2\Delta\alpha_{IM}\right) \sin\left(2\Delta\delta_{IM} + \sigma_{\alpha M}\right), \tag{3}$$

где $\Delta\alpha_{IS} = \alpha_I - \alpha_S = T_I - T_S$, $\Delta\alpha_{IM} = \alpha_I - \alpha_M = T_I - T_M$; α_I, α_S, α_M – прямые восхождения, а T_I, T_S, T_M – моменты прохождения через меридиан I-й звезды, Солнца и Луны соответственно; $\Delta\delta_{IS} = \delta_I - \delta_S = Z_I - Z_S$, $\Delta\delta_{IM} = \delta_I - \delta_M = Z_I - Z_M$; δ_I, δ_S, δ_M – склонения, а Z_I, Z_S, Z_M – зенитные расстояния для I-й звезды, Солнца и Луны соответственно; $\sigma_{\alpha S}$, $\sigma_{\alpha M}$ – фазовый угол для Солнца и Луны; $I = 1, 2, ..., N$, I – текущий номер звезды. На рис. 3 показано изменение главных коэффициентов экстинкции для четырех полос $UBVR$ системы Джонсона в зависимости от пространственного положения Луны, Солнца и Земли. Значению $\cos(ls) = 1$

Таблица 2. Средние значения “инструментальных” СКО единичного измерения координат и звездных величин, полученных на основе цифровой обработки ПЗС-наблюдений на ДФР (2-м телескоп системы Ричи–Кретьена–Кудэ обсерватории Терскол) для синего (B-полоса) и красного (V-полоса) каналов. Сравнивались две экспозиции – 20 и 180 с

Синий канал				Красный канал			
B	σ_α	σ_δ	σ_m	V	σ_α	σ_δ	σ_m
12–13^m	0.014″	0.048″	0.068^m	12–13^m	0.015″	0.040″	0.055^m
13–14	0.015	0.040	0.034	13–14	0.035	0.022	0.034
14–15	0.019	0.037	0.013	14–15	0.036	0.044	0.016
15–16	0.018	0.045	0.015	15–16	0.045	0.060	0.027
16–17	0.037	0.037	0.026	16–17	0.101	0.070	0.038
17–18	0.092	0.064	0.038	17–18	0.151	0.088	0.052
18–19	0.138	0.057	0.060	–	–	–	–

Таблица 3. Средние значения СКО по “внешней” сходимости единичного измерения экваториальных координат звезд, полученных на основе цифровой обработки ПЗС-наблюдений на ДФР для экспозиций 180 и 20 с (синий и красный канал)

Экспозиция 180 с			Экспозиция 20 с		
m	σ_α	σ_δ	m	σ_α	σ_δ
12–13^m	0.114″	0.064″	12–13^m	0.033″	0.033″
13–14	0.080	0.026	13–14	0.054	0.036
14–15	0.090	0.047	14–15	0.049	0.052
15–16	0.085	0.061	15–16	0.082	0.051
16–17	0.084	0.051	16–17	0.090	0.062
17–18	0.083	0.052	17–18	0.078	0.053
18–19	0.063	0.062	–	–	–
19–20	0.045	0.077	–	–	–
20–21	0.098	0.040	–	–	–

соответствуют сагиттальные приливы (Луна, Солнце и Земля на одной линии), средние значения непрозрачности атмосферы достигают максимального значения (ls – расстояние на небесной сфере между Луной и Солнцем). Этот результат получен и демонстрируется впервые по результатам фотоэлектрических измерений звезд на пике Терскол.

АСТРОКЛИМАТ 2-м ТЕЛЕСКОПА

1. Для аттестации оптической системы в фокусе Кассегрена и исследования астроклимата 2-м телескопа в 1998 и 1999 гг. были выполнены специальные наблюдения с диафрагмой Гартманна. Использовался метод совместной обработки двух гартманнограмм (полученных в предфокальных и зафокальных позициях). Предварительно все 273 снимка диафрагмы Гартманна были просканированы на автоматическом цифровом микрофотометре АЦМФ-XY [5], затем обработаны при помощи программного фотометрического пакета MIDAS/ROMAFOT в операционной системе LINUX. Использовался специальный способ предварительной коррекции оцифрованных изображений с широким динамическим диапазоном плотности почернения фотоэмульсии. Это позволило повысить точность и достоверность полученных данных. На рис. 4 показан вид диафрагмы Гартманна после обработки просканированных снимков в программном пакете MIDAS/ROMAFOT (вверху). Также демонстрируется возможность специального метода по разделению перекрывающихся участков дырок диафрагмы (внизу).

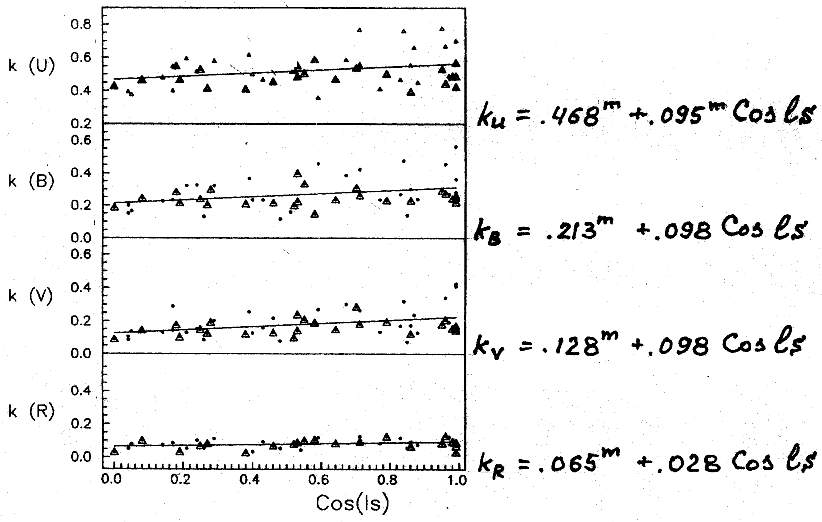


Рис. 3. Изменения главных коэффициентов экстинкции k_U, k_B, k_V, k_R для пика Терскол в зависимости от пространственного положения Луны, Солнца и Земли. Треугольники соответствуют безлунным ночам, значению $\cos{(ls)} = 1$ соответствуют сагиттальные приливы

По результатам исследования гартманнограмм 1998 года было установлено, что оптическая система фокуса Кассегрена 2-м телескопа является классической системой Ричи–Кретьена. Показано, что после выполнения дополнительных юстировочных работ может быть достигнуто качество изображения по всему полю $d_{0.8} = 0.7''$, что практически совпадает с данными цеховой аттестации [3]. Без выполнения юстировочных работ система с корректором астигматизма создавала изображение $d_{0.8} = 1.3''$, что не отвечает современным требованиям. Было указано на следующий приоритет работ на телескопе, обязательных для реализации его проницающей силы:

- Ввод в эксплуатацию штатных систем вентиляции подкупольного пространства и закрытой трубы телескопа, отработка режимов их работы, создание системы регистрации метеопараметров и температурного режима.
- Проведение дополнительных юстировочных работ для достижения качества изображения, ограниченного только расчетными аберрациями и уровнем ошибок изготовления.
- Промывка оптики телескопа для устранения накопленной запыленности.

2. На основе дополнительного обширного наблюдательного материала за 1999 г., полученного после промывки зеркал, продува подкупольного помещения и трубы 2-м телескопа, проведена окончательная аттестация оптики телескопа в фокусе Кассегрена на пике Терскол [4]. После исключения аберраций (кома, астигматизм, сферическая аберрация) можно достичь значения величины диаметра кружка рассеяния $d_{0.8} = 0.6''$ (при 80 % концентрации энергии). На рис. 5 (*а, б, в*) показан ход значений полевого астигматизма, комы и сферической аберрации в системе без корректора астигматизма; *г, д, е* – то же в системе с корректором.

Анализ обработки гартманнограмм показал, что с целью улучшения качества изображения и увеличения проницающей силы 2-м телескопа необходимо провести соответствующие юстировочные работы, которые по существу сводятся к устранению постоянной комы. В системе без корректора астигматизма параметры комы составляют $F_X = 7.34 \pm 0.83$ мм и $F_Y = -3.94 \pm 0.37$ мм, что соответствует подвижкам $\Delta X = 1.32 \pm 0.29$ мм и $\Delta Y = -0.68 \pm 0.40$ мм. При этом остаются незначительные аберрации, которые объясняются эффектом гнутия трубы 2-м телескопа. В системе с корректором астигматизма параметры комы принимают значения $F_X = 8.13 \pm 2.50$ мм и $F_Y = -4.25 \pm 1.50$ мм, что соответствует подвижкам $\Delta X = 1.38 \pm 0.42$ мм и $\Delta Y = -0.73 \pm 0.56$ мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При относительно малом количестве ясных наблюдательных ночей в лучшие месяцы года (31 % при облачности до 2 баллов) макропараметры астроклимата пика Терскол (прозрачность атмосферы, яркость свечения ночного неба, функция *FWHM*, ошибки фотометрии) практически идентичны показателям для САО РАН (число наблюдательных часов для САО составляет 1750–1800 ч

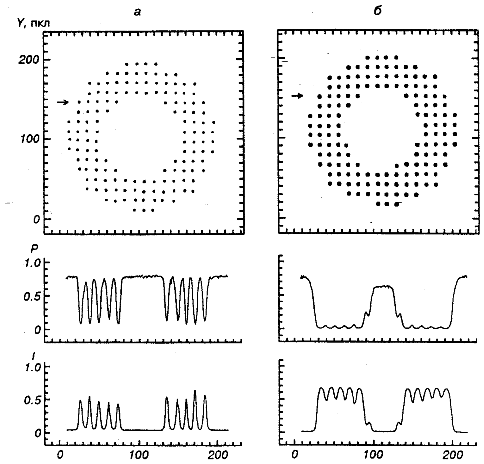


Рис. 4. Вид диафрагмы Гартманна после обработки снимков 15e, 16e в программном пакете MIDAS/ROMAFOT (вверху). Диаметры зачерненных кружков соответствуют шкале инструментальных величин ROMAFOT. Время экспонирования звезды α Lyr 0.2 с (*а*) и 20 с (*б*)

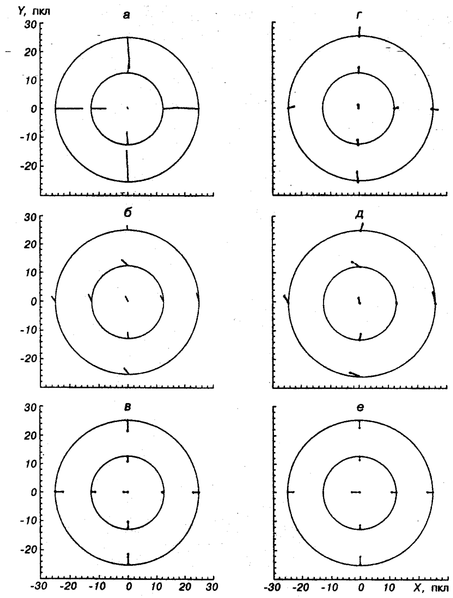


Рис. 5. *а, б, в* – полевой астигматизм, кома по полю и сферическая аберрация в системе без корректора в центре и на расстоянии 12.5′ и 25′ от центра; *г, д, е* – то же в системе с корректором

в год, т. е. около 45 %) и уступают данным для г. Санглок и г. Майданак. При соответствующем учете аберраций оптической системы 2-м телескопа можно достичь значения величины диаметра кружка рассеяния, равного $d_{0.8} = 0.6''$, что практически совпадает с данными цеховой аттестации 2-м телескопа. Выполнение точных фотометрических работ (электро- и ПЗС-фотометрия) на протяжении целой наблюдательной ночи требует тщательного измерения экстинкции для учета изменения прозрачности атмосферы Земли из-за приливных эффектов от Луны и Солнца.

[1] *Андрук В. Н.* Фотометрическая служба вблизи главного меридиана Галактики: наблюдения и создание каталога фотометрических стандартов звездных величин и цветов в системе UBVR // Кинематика и физика небес. тел.–1996.–**12**, № 4.–С. 60–73.

[2] *Андрук В. М., Парусімов В. Г., Дудник Т. Б.* Досвід цифрової обробки зображень зоряних полів у програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–1999.–№ 1.–С. 100–103.

[3] *Бутенко Г. З., Кузнецов В. И., Снежко Л. И.* Исследование оптики 2-м телескопа в фокусе Кассегрена на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 6.–С. 543–556.

[4] *Бутенко Г. З., Кузнецов В. И., Снежко Л. И. и др.* Исследование астроклимата и оптики 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–2001.–**17**, № 1.–С. 71–88.

[5] *Парусимов В. Г.* Автоматический цифровой двухкоординатный микрофотометр для ввода фотографических изображений в ЭВМ // Астрометрия и астрофизика.–1981.–Вып. 45.–С. 86–99.

[6] *Перетятко Н. Н.* Исследование астроклимата на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–2000.–**16**, № 5.–С. 470–476.

[7] *Перетятко Н. Н., Кутырев А. С., Щеглов П. В.* Фотоэлектрические измерения атмосферного дрожания на пике Терскол // Астрон. циркуляр.–1987.–№ 1514.–С. 6–8.

[8] *Чепмен С., Линдзен Р.* Атмосферные приливы термические и гравитационные.–М.: Мир, 1972.–295 с.

СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ (МЦ АМЭИ, САО РАН и БНО ИЯИ РАН)

Н. В. Карпов[1], А. В. Сергеев[1], В. К. Тарадий[1], В. Б. Петков[2], Ю. Ю. Балега[3]

[1] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
пос. Терскол, Эльбрусский район, 360101 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: terskol@burbonz.nalnet.ru

[2] *Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН*
пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия

[3] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия

В регионе Северного Кавказа компактно расположены обсерватории МЦ АМЭИ, САО РАН и БНО ИЯИ РАН. В этих обсерваториях телескопы оснащены приборами для регистрации сигналов почти во всех областях спектра и энергий. Унификация и синхронизация потоков данных этих телескопов позволит проводить астрономические наблюдения на новом уровне и реализовать виртуальную обсерваторию с новыми возможностями для исследования космоса. Ниже приводится анализ основных принципов создания такой обсерватории, описывается ее инфраструктура и потоки получаемой информации. В рамках проекта виртуальной обсерватории на пике Терскол уже установлено оборудование беспроводной сети передачи данных и телекоммуникационный канал связи с БНО.

THE REAL-TIME SYSTEM FOR ASTRONOMICAL OBSERVATIONS ON THE TELESCOPES OF THE VIRTUAL OBSERVATORY FROM ICAMER, SAO RAS, AND BNO INR RAS, by Karpov N., Sergeev A., Tarady V., Petkov V., Balega Yu. – Three large astronomical observatories – ICAMER, SAO and BNO JNR RAS – are located in the compact area of the Northern Caucasus. The observatories are equipped with a wide range of detectors for different wavelengths and energies. The unification and synchronization of data-flows from these telescopes will allow one to carry out astronomical observations at a new level and to realize a virtual observatory with new capabilities for space research. The analysis of the main principles of such observatory and the description of its infrastructure and data-flows are given below. The equipment for data exchange is already installed at the Terskol Observatory to provide a connection with BNO within the project of the virtual observatory.

ВВЕДЕНИЕ

Создание виртуальных обсерваторий привлекает внимание астрономов всего мира. С 2001 г. начаты большие проекты в Европе – Астрофизическая виртуальная обсерватория по гранту Европейской комиссии, в США – Национальная виртуальная обсерватория по гранту NSF и несколько других крупных проектов. В ESO 10–14 июня 2002 г. успешно прошла конференция с символическим названием “Toward an International Virtual Observatory” [1]. В большинстве проектов виртуальные обсерватории описаны как совокупность взаимодействующих через интернет архивов астрономических данных, каждый из которых имеет свой уникальный набор данных, программных систем и возможностей обработки. Однако опыт астрономических наблюдений показал, что накопление уже полученных данных еще не приводит к открытиям, все основные открытия последних лет были неожиданными для астрономов, и каждый раз они ставили новые проблемы познания Вселенной. Во многом так же, как для виртуальных обсерваторий “digital universe”, путем объединения реальных обсерваторий можно реализовать проект виртуальной “hardware” обсерватории с новыми возможностями исследований космоса.

АРХИТЕКТУРА ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

В регионе Северного Кавказа компактно расположены три астрономические обсерватории – Специальная астрофизическая обсерватория (САО РАН), Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований (БНО ИЯИ РАН) и обсерватория Международного центра астрономических и медико-экологических исследований (МЦ АМЭИ) на пике Терскол. В этих обсерваториях уникальные телескопы оснащены устройствами регистрации сигналов в самом широком диапазоне спектра. На пике Терскол установлены: 2-м телескоп системы Ричи–Кретьена; большой горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 и телескоп Zeiss-600; в БНО ИЯИ – подземный сцинтилляционный телескоп ПСТ; галлий-германиевый нейтринный телескоп ГНТ; ливневые установки "Андырчи" и "Ковер"; в САО – 6-м телескоп БТА; Zeiss-1000 и радиотелескоп РАТАН-600.

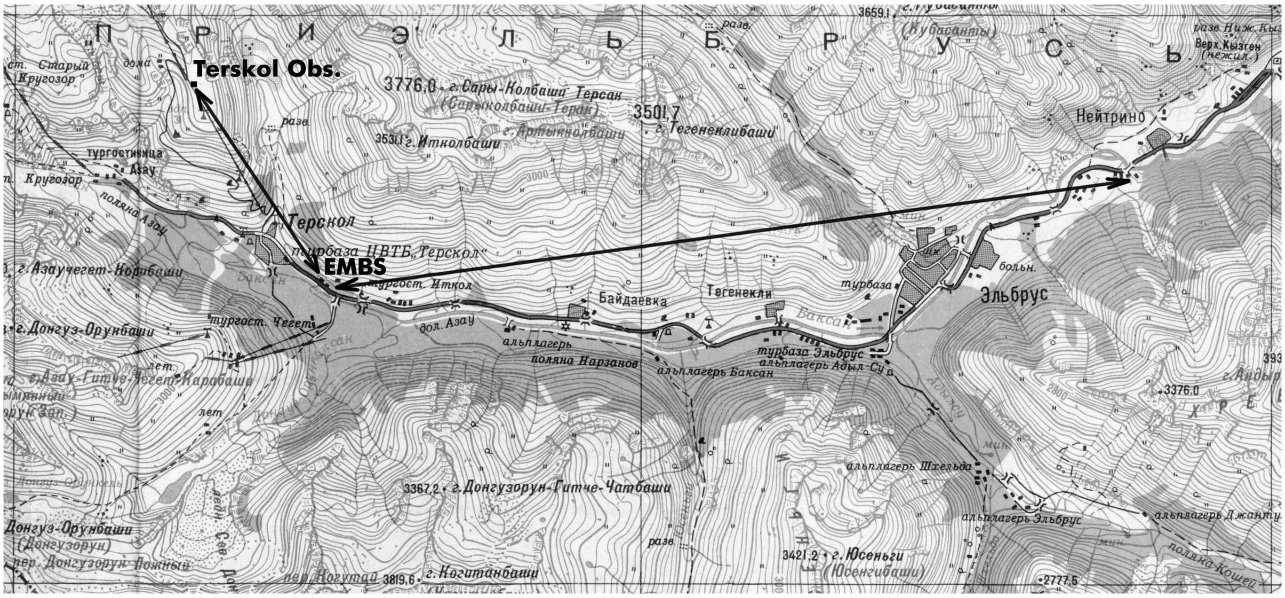


Рис. 1. Карта расположения обсерваторий в регионе Северного Кавказа

Состав наблюдательных комплексов и их специализация позволяют проводить наблюдения в оптическом, радио-, гамма-диапазонах вплоть до регистрации нейтрино. Наблюдательный комплекс 2-м телескопа оснащен несколькими приборами для получения информации – двухканальным фокальным редуктором универсального назначения с интерферометром Фабри–Перо, кудэ-эшеле-спектрографом сверхвысокого разрешения (до 500 000) [2] и скоростным двухканальным фотометром (временное разрешение до 20 мкс). На АЦУ-26 можно получать спектры Солнца в пяти участках одновременно и наблюдать развитие активных процессов в его фотосфере. Телескоп Zeiss-600 в зависимости от установленной приемной аппаратуры обеспечивает наблюдения с потоком информации до 100 Мб/сут.

На ливневых установках БНО "Андырчи" и "Ковер" возможна регистрация всплесков интенсивности гамма-квантов с энергией до 10 ГэВ и всплесков интенсивности протонов (например от Солнца) с порогом геомагнитного обрезания 6 ГэВ. На подземном сцинтилляционном телескопе (ПСТ) регистрируются мюоны от первичных частиц с пороговой энергией 500–1000 ГэВ, в том числе мюоны от протонов, ускоренных во время вспышек на Солнце. Также на ПСТ регистрируются нейтрино от сверхновых в Галактике с пороговой энергией 10 МэВ. Галий-германиевый телескоп измеряет поток нейтрино от Солнца.

Оптический телескоп САО БТА оснащен широким набором наблюдательных приборов – спектрографами MSS, PF, мультиобъектным и мультиканальным спектрографами, эшеле-спектрометрами, цифровым спекл-интерферометром и интерферометром Фабри–Перо. Телескоп Zeiss-1000 оборудован ПЗС-фотометром и кудэ-эшеле-спектрометром CEGS. Радиотелескоп РАТАН-600 предназначен для многочастотных наблюдений (1–31 см) и обладает высокой яркостно-температурной чувствительностью. Он регистрирует сигналы в континууме, предназначен для выполнения спектральных и солнечных наблюдений.

Наблюдательные комплексы обсерваторий имеют возможности определения направлений, временной привязки событий, регистрируют информацию больших объемов и используются в разных режимах суточного функционирования.

СЕТЕВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОБЪЕДИНЕНИЯ ОБСЕРВАТОРИЙ. КАНАЛ СВЯЗИ МЦ АМЭИ – БНО

В регионе Приэльбрусья недостаточно развита инфраструктура каналов связи и передачи данных. Лавины и сели регулярно разрушают проводные коммуникации, а расположенные в горах наблюдательные комплексы труднодоступны. В этих условиях для решения телекоммуникационных задач при создании основы корпоративной сети лучшим решением являются беспроводные сети передачи данных (БСПД). Такие сети могут быть реализованы на оборудовании Cisco Aironet 340 и 350 ведущего производителя БСПД – Cisco Systems. В настоящее время реализованы канал связи МЦ АМЭИ и БНО и канал удаленного доступа к наблюдательным комплексам обсерватории Терскол. Структура канала показана на рис. 2. В качестве основы топологии сети использованы беспроводные мосты/маршрутизаторы BR342. Все оборудование работает в диапазоне частот 2.4 ГГц, и при скорости в канале 11 Мбит/с обеспечивает дальность 7–10 км (с усилителем – до 40 км). В канале создана прозрачная среда передачи MAC уровня, что позволяет поддерживать любые приложения. Все устройства в сети поддерживают защиту информации 128-разрядным ключом по алгоритму WEP, предусмотренному стандартом IEEE 802.11.

Телескопы обсерватории Терскол объединены в 100 Мбит/с локальной сети, и через мост и разветвитель передают данные по двум направлениям: 1) на Эльбрусскую медико-биологическую станцию, на мост для рабочей группы WBR (8 мест астрономов-наблюдателей) для удаленного доступа к наблюдательным комплексам, 2) через ретранслятор метеостанции на г. Чегет в направлении БНО и на радиорелейную линию (РРЛ) в п. Тегенекли в направлении САО РАН.

Передача данных через РРЛ по маршруту Тегенекли – Баксан – Черкесск – САО предусматри-

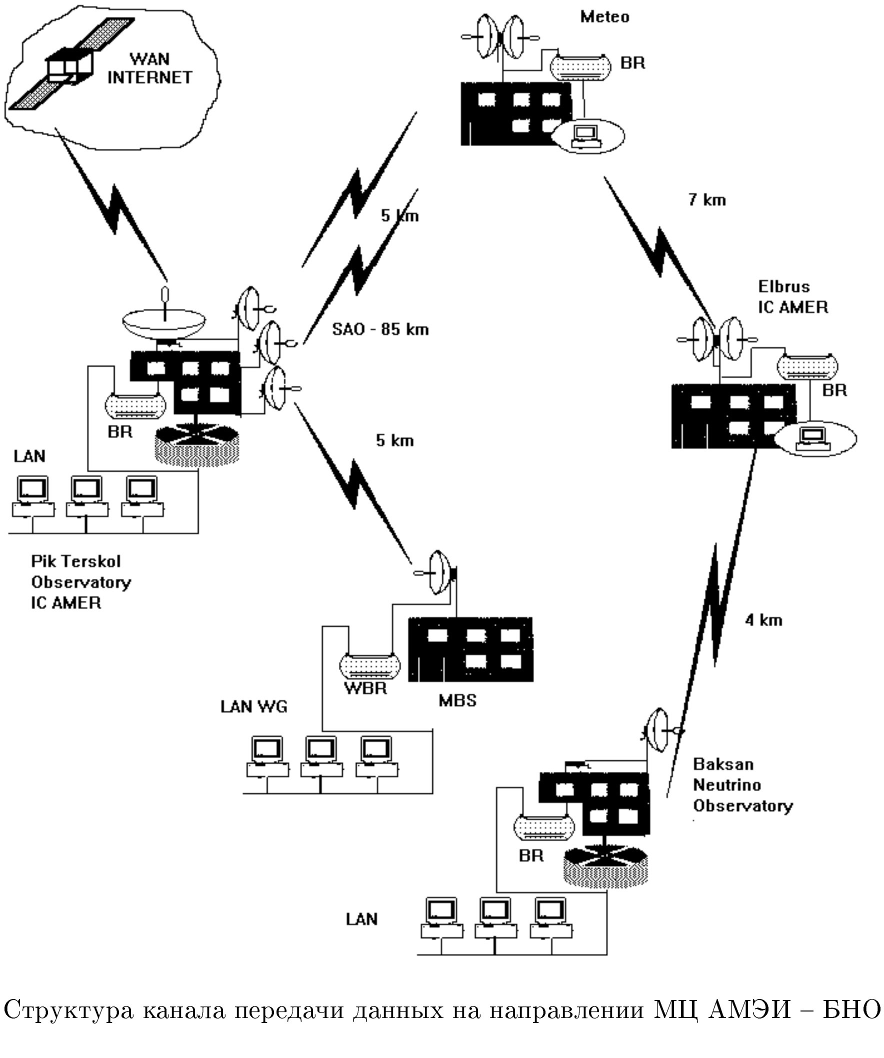


Рис. 2. Структура канала передачи данных на направлении МЦ АМЭИ – БНО

вается через РРЛ-модемы АЦТ 17/2 Radian, предназначенные для передачи восьми асинхронных цифровых потоков по 2 Мбит/с в групповом потоке 17 Мбит/с. Одновременно эта аппаратура обеспечит служебную связь, каналы телесигнализации и телеуправления. Одним из основных режимов работы ВО является проведение синхронных наблюдений.

Характерные объемы получаемой информации можно продемонстрировать на примере совместных наблюдений гамма-вспышек обсерватории Терскол и БНО. Наблюдательный комплекс 2-м телескопа в этом режиме оснащен несколькими приемниками для получения наблюдательной информации. Поля зрения панорамных приемников телескопа изображены на рис. 3, соосно в поле расположены:

– двухканальное фотоприемное устройство фокального редуктора с камерами CCD-1 и CCD-2 с полем зрения размером 8×8 угловых минут. Информация об изображениях глубиной 16 бит поступает в управляющие компьютеры PC-1, PC-2 с пакетами программ для цифровой обработки изображений и измерений координат объекта в реальном времени;

– широкоугольная поисковая камера с двумя CCD приемниками – CCD-3 с полем зрения 32×21 угловых минуты и CCD-4 с полем зрения 12×10 угловых минуты и системой формирования сигналов для гидирования телескопа. Информация об изображениях глубиной 16 бит поступает в компьютер системы управления телескопа на главный пульт;

– офсетный гид с приемником CCD-5 с полем зрения 1×1 угловых минуты и системой формирования сигналов для гидирования телескопа.

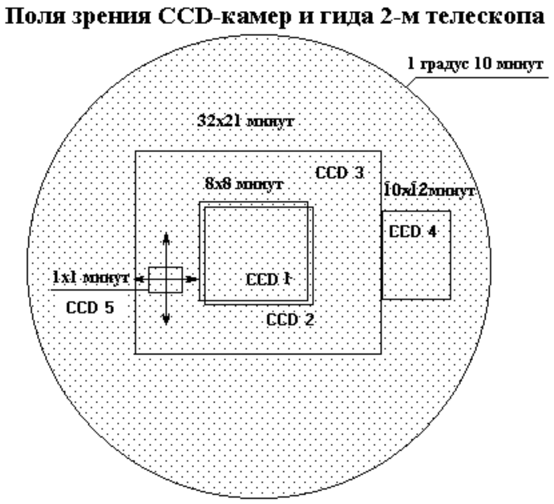


Рис. 3. Схема расположения панорамных приемников 2-м телескопа в режиме наблюдения гамма-вспышек

Темп поступления информации от камер зависит от применяемого интерфейса, но даже в случае времени экспозиции в 1 мс на перекачку изображения затрачивается не менее 10 с. При описанных параметрах камер объем получаемой в каждом кадре информации составляет: от камеры ST-4 – 38 Кб; от камеры ST-7 – 780+38 Кб; от камеры ST-6 – 575 Кб; от рабочей камеры Photometrics1 – 588 Кб; от рабочей камеры Photometrics2 – 588 Кб.

От АЦУ-26 можно получить информацию до 25 Мб/сут. Телескоп Zeiss-600 и 80-см телескоп в зависимости от установленной приемной аппаратуры обеспечат поток данных до 100 Мб/сут. Для ливневых установок БНО "Андырчи" и "Ковер" характерные величины суточных объемов информации составляют 30 Мб и 25 Мб соответственно. От телескопов ПСТ и ГСТ в сутки поступает около 80 Мб данных наблюдений. Для оптических телескопов САО объем суточной информации составляет около 400 Мб, а для радиотелескопа РАТАН-600 – 5 Мб/сут.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ

В международных кампаниях наблюдений гамма-вспышек выполнен ряд синхронных наблюдений на 2-м телескопе обсерватории Терскол, ливневой установке "Андырчи" и телескопе ПСТ БНО. Инициируют начало наблюдений сообщения из центра данных спутника BEPPOSAX с предварительными координатами вспышки и сообщения GCN в мировой сети наблюдений с быстрыми оценками процесса развития вспышки разными средствами. Как известно, характерные времена послесвечения составляют несколько часов, и изучение таких событий требует высокой готовности как телескопов, так и приемной аппаратуры. Согласно договору о сотрудничестве МЦ АМЭИ и БНО темой совместных исследований является: “Поиск и корреляция астрофизических явлений (гамма-всплески, вспышки на Солнце, взрывы сверхновых и др.), проявляющих себя одновременно в оптическом диапазоне и в космических лучах (протоны и гамма-кванты высокой энергии, нейтрино)”.

В состав наблюдательных комплексов входят

1. От БНО ИЯИ РАН:

– ливневые установки “Андырчи” и “Ковер”,

– Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп.

2. От обсерватории Терскол:

– телескоп Zeiss-2000,

– телескоп Zeiss-600,

– солнечный телескоп АЦУ-26.

Были выполнены: разработка методики поиска и отождествления гамма-всплесков высокой энергии на ливневых установках “Андырчи”, “Ковер” и 2-м телескопе, организация синхронных экспериментов по наблюдению гамма-всплесков [5, 6]. С использованием системы реального времени и приемника GPS Acutime 2000 проведен ряд международных кампаний синхронных наблюдений переменных звезд (вспыхивающих, хромосферноактивных и рентгеновских источников). Кампании проведены в августе, сентябре и октябре 2001 г. с участием обсерваторий: КрАО (Украина, телескоп АЗТ-11, 50″), НАО БАН (Рожен, Болгария, 2-м телескоп), Стефанион (Греция, 30″ телескоп) и обсерватории Терскол (2-м и 60-см телескопы). Эффективность проведения таких наблюдений прямо зависит от быстродействия каналов обмена информацией и скорости анализа получаемых данных.

Наиболее интересным является все же постановка исследований с привлечением всех технических средств и телескопов виртуальной обсерватории. В последние годы в связи с регулярными наблюдениями Солнца из космоса происходит резкий скачок в понимании происходящих там процессов. Начинает проясняться та роль, которую играют корональные выбросы вещества. При этом возникают релятивистские солнечные протоны с энергией более 1 ГэВ, и изучение условий их генерации во вспышках представляет уникальную возможность экспериментального исследования механизмов ускорения частиц до релятивистких энергий в естественных условиях. Средняя частота таких событий составляет одно событие в год, и прояснение этой проблемы ограничено скудостью экспериментальных данных. Для комплексного исследования проблемы в рамках виртуальной обсерватории могут быть задействованы нейтронный монитор и ливневые установки БНО, подземный сцинтилляционный телескоп, горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 с пятикамерным спектрографом [4] и эшеле-спектрограф на 2-м телескопе обсерватории Терскол [2], радиотелескоп РАТАН-600 в САО. Для решения оперативных задач необходимо наряду с долговременными программами наблюдений обеспечить быстрое реагирование на происходящие события. Такие возможности должны быть подкреплены полнотой калибровочных данных и инструментальных характеристик для всех приборов, которые могут быть задействованы в наблюдениях, а также системой контроля качества полученных данных.

УПРАВЛЕНИЕ ДАННЫМИ И АРХИВ НАБЛЮДЕНИЙ

Удаленный доступ к данным и средствам наблюдений – основное в системе виртуальной обсерватории. Такой доступ может быть получен и через интернет. Система реального времени для накопления и архивизации наблюдательных данных должна обеспечивать весь цикл проведения наблюдений, который включает:

- разработку программы наблюдений (выбор объектов исследования, выбор методики и инструментальных средств, планирование наблюдательного времени и составление расписания наблюдений),
- проведение наблюдений на телескопах (управление телескопами и устройствами приема и анализа излучения, регистрация и сбор наблюдательных данных) и синхронизацию работы с телескопами других обсерваторий,
- объединение информационных потоков и обработку наблюдательного материала с архивизацией данных в локальном архиве (первичная редукция с помощью специализированного программного обеспечения, архивация в буферном и постоянном архиве, оптимизация путей доступа к данным). Разработаны программы оперативного анализа получаемых кадров для

быстропеременных объектов. Данные анализа позволяют скорректировать программу наблюдений упомянутых объектов в реальном масштабе времени. Разработана и используется система информационной поддержки наблюдений на 2-м телескопе на пике Терскол [3].

После записи файла наблюдений начинается процесс архивизации наблюдения, состоящий из трех взаимосвязанных частей: сбора данных, долговременного хранения и извлечения необходимых данных из архива. Схема архивизации данных – четырехуровневая, в которой данные переходят последовательно с одного уровня архива на другой, находясь на каждом уровне определенный период времени, кроме четвертого, где они хранятся постоянно. Архив состоит из четырех слоев или уровней хранения:

– первый уровень – буферный архив;
– второй уровень – промежуточный архив;
– третий уровень – оперативный архив;
– четвертый уровень – CD-библиотека.

Буферный архив – это область дискового пространства выделенного файл-сервера под каждый наблюдательный комплекс.

После окончания этапа наблюдательной программы наблюдения передаются в архив. Ответственный наблюдатель сам определяет потоки информации, сроки обмена между системой сбора и буферным архивом (ежесуточный, по окончанию этапа и т. д.), формат наблюдательных данных, а также дублирование файлов как на компьютере системы сбора, так и в буферном архиве.

Затем данные переносятся в оперативный архив на RAID и одновременно погружаются в среду СУБД. В оперативном архиве происходит упорядочивание данных, возможна коррекция параметров, описывающих наблюдение, сборка мусора. После коррекции информации формируется образ диска и данные переносятся на CD-диски для постоянного хранения в CD-библиотеке. Все локальные базы наблюдательных данных объединены по корпоративной сети друг с другом для поиска необходимой информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организация на Северном Кавказе прототипа региональной виртуальной обсерватории вполне осуществима при тех довольно скромных ресурсах, которыми сейчас располагают обсерватории. Усилить роль наземной астрономии и реализовать новые возможности исследований можно только в тесном сотрудничестве и при полноценном участии физиков и астрофизиков в постановке, обработке и анализе наблюдений. В процессе наблюдений и последующей передачи данных пройдут проверку работоспособность локальных ресурсов, корректность работы программного окружения, процедура удаленного обмена большими объемами данных и работа распределенной базы данных наблюдений.

Опыт сотрудничества в выполнении наблюдательных программ интересных объектов и событий показал, что они сами объединяют астрономов в активном исследовании явления, и появление возможностей быстрого и всестороннего on-line-анализа получаемой информации позволит в большой степени оптимизировать стратегию наблюдений и повысить их продуктивность. Важной частью проекта является разработка сетевой инфраструктуры, которая объединяет обсерватории скоростными каналами передачи данных между активными наблюдательными комплексами в реальном масштабе времени и формирует наборы мультиинструментальных данных наблюдений.

Проект поддержан Российским фондом фундаментальных исследований (грант 01-07-90183).

[1] http://www.eso.org/AVO/

[2] *Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А., Сергеев А. В. и др.* Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 3.–С. 282–287.

[3] *Karpov N. V., Jockers K.* Information support of observations at the 2-m telescope of Pik Terskol observatory // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.–2000.–**16**, N 4.–P. 34–37.

[4] *Andriyenko O. V., Karpov N. V., Sergeev A. V.* Characteristics and Perspectivies of the Horisontal Solar Telescope at Peak Terskol // Abs. WS EAS Solar reseaches in the south-eastern european countries: present and perspectives, April 2001, Bucharest, Rumania.

[5] *Sergeev A., Petkov V., Poddubny V., et al.* GCN GRB Observation Report 1206 // Circ.–2001.

[6] *Sergeev A., Karpov S., Petkov V., et al.* GCN GRB Observation Report 1367 // Circ.–2002.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ СИНХРОННОЙ СЕТИ ТЕЛЕСКОПОВ

Я. О. Романюк[1], **О. А. Святогоров**[1], **Б. Е. Жиляев**[1], **В. Р. Халак**[1], **А. В. Сергеев**[2]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: romaniuk@mao.kiev.ua

[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина

Описана система точного времени для сети удаленных телескопов, основанная на GPS-приемнике Acutime 2000. Приемник автоматически настраивается, следит за спутниками и определяет свое местоположение на Земле с точностью до метров, как только включено его питание. Далее он переключается на предварительно определенный временной режим и генерирует сигнал “один импульс в секунду”, синхронизированный к UTC в пределах 50 нс (одна сигма). Фотометрическая система регистрации данных синхронизирована к UTC в пределах 1 мс. Возможна регистрация времени внешнего события с точностью 320 нс.

DEVELOPMENT AND INSTALLATION OF THE SYSTEM FOR THE PRECISE TIMING AND SYNCHRONIZATION OF THE SYNCHRONOUS NETWORK OF TELESCOPES, by Romanyuk Ya. O., Svyatogorov O. A., Zhilyaev B. E., Khalack V. R., Sergeev A. V. – The system of precise timing for the network of remote telescopes based on the GPS receiver Acutime 2000 is described. Once power is applied, the receiver automatically tracks satellites and surveys its position to within meters. Then it switches to a predetermined time mode and generates a pulse-per-second output synchronized to UTC within 50 ns (one sigma). Photometric data system is synchronized to UTC within 1 ms. An external event capture is available with the resolution of 320 ns.

В процессе традиционных фотометрических измерений время накопления сигнала на один отсчет достигает нескольких секунд или десятков секунд. При этом точность привязки часов к всемирному времени (UT) с помощью радиосигналов точного времени вполне достаточна. Но когда речь идет о временах накопления на один отсчет порядка 0.1 с и менее, а также синхронной работе нескольких удаленных телескопов, то требуется и соответствующая точность синхронизации. Она должна быть как минимум на порядок выше, чем время экспозиции.

В нашем случае речь идет о синхронной работе телескопов, которые удалены друг от друга на расстояние более 1500 км и находятся в Украине, России, Греции и Болгарии [1]. В этом случае невозможен запуск всех фотометров одним стартовым сигналом. Поэтому было решено обеспечить каждый фотометрический комплекс временем, которое было бы привязано к Всемирной координированной шкале времени (UTC) с достаточной точностью.

Для астропунктов Крымской астрофизической обсерватории (Крым, Украина) и обсерватории Терскол (Северный Кавказ, Россия) в 2001–2002 гг. была разработана и внедрена система точного времени для удаленных телескопов на базе GPS-приемника Acutime 2000. Она обеспечивает точным временем фотометрические комплексы и позволяет синхронизировать их работу по отношению к UTC с точностью, не хуже чем 0.001 с. Это полностью удовлетворяет требованиям, так как время накопления сигнала на один отсчет не превышает 0.01 с. Возможен также еще один режим работы системы, когда точность синхронизации составляет 0.0001 с. Это достигается путем постоянной синхронизации системы времени фотометра сигналом 1 PPS (один отсчет в секунду), который привязан к UTC с точностью 50 нс.

Система синхронизации удаленных телескопов построена на том принципе, что Глобальная позиционная система (GPS) обеспечивает точным временем каждый GPS-приемник Acutime 2000. Его базовым элементом есть активная антенна для точного временного позиционирования и синхронизации, изготовленная фирмой Trimble. Антенна сделана как технологически и функционально законченный блок, который имеет герметичное исполнение. Внизу корпуса находится

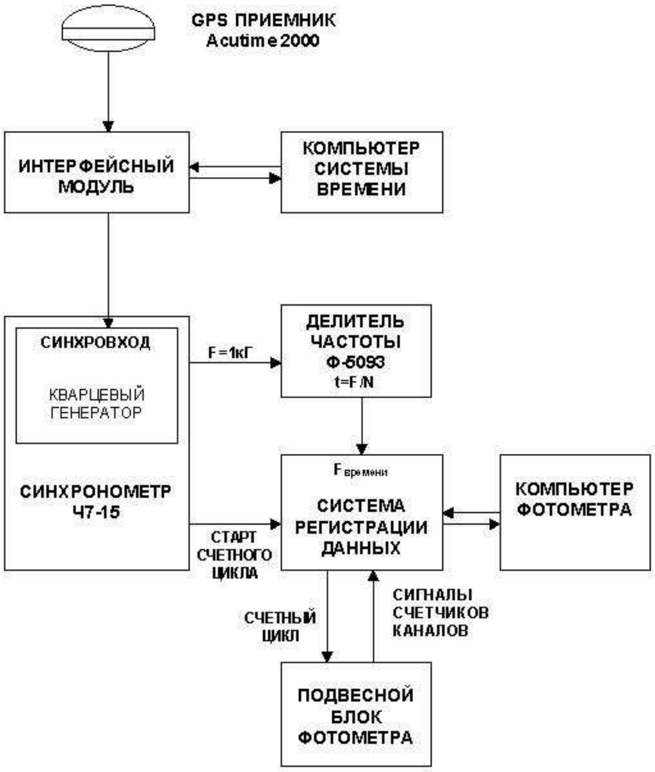


Рис. 1. Функциональная схема системы точного времени фотометра

разъем, с помощью которого она соединяется кабелем с интерфейсным блоком. Размещенный внутри микрочип самостоятельно исполняет все необходимые настройки, рабочие и контрольные действия и передает данные о своей работе по мониторингу реперных спутников в компьютер.

На его основе построена Система точного времени фотометра (рис. 1). Приемник получает питание от интерфейсного модуля и через него же обменивается служебной информацией с компьютером системы времени.

Сигнал 1 PPS поступает на синхронный вход синхронометра Ч7-15, который генерирует шкалу времени (часы, минуты, секунды). Использование синхронометра с автономным внутренним блоком питания на основе аккумулятора позволяет использовать его автономно от GPS-приемника после того, как он синхронизирован с приемником к шкале UTC. Но такой режим требует систематического контроля и точной настройки частоты внутреннего кварцевого генератора синхронометра перед каждым использованием, что делается по специальной методике. Делитель частоты Ф5093 позволяет оперативно установить необходимую продолжительность рабочего периода накопления сигнала t в диапазоне от 100 с до 0.001 с.

При прохождении сигнала 1 PPS через интерфейсный блок, синхронометр, делитель частоты, систему регистрации данных и кабели связи, задержка импульсов времени приблизительно равнозначна во всех фотометрических комплексах. Она составляет не более чем 35 мкс, то есть такая задержка не может значимо ухудшить точность привязки в 0.001 с.

Таким образом, синхронная робота нескольких телескопов, которые удалены на расстояния более 1000 км, обеспечивается тем, что каждый астропункт имеет отсчет времени в UTC с необходимой точностью, фактически от одного источника GPS.

Робота проводилась при поддержке гранта Министерства просвещения и науки Украины 2М/146-2000.

[1] *Romanyuk Ya., Zhilyaev B., Svyatogorov O., et al.* The synchronous network of optical telescopes: a new instrument for stellar photometry // Proc. 5th Conf. of the Hellenic Astron. Soc. Crete, Sept. 20–22, 2001.–http://www.astro.auth.gr/~helasmtg/2001.

Workshop A2

High-Resolution Spectroscopy

Convener: J. Krełowski

Editor: V. Leushin

ТОМОГРАФИЯ В АСТРОФИЗИКЕ

Н. Г. Бочкарев[1,2]

[1] *Международная общественная организация "Астрономическое общество"*

[2] *Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга*
Университетский просп. 13, 119992 Москва, Россия
e-mail: boch@sai.msu.ru

В последнее время термин "томография" стал широко использоваться в астрофизике. Чаще всего под этим словом подразумевается доплеровская спектральная томография тесных двойных звездных систем типа катаклизмических переменных (CVs) и рентгеновских двойных (XRBs). Исследуются аккреционные потоки и диски, а также форма оптических компонентов. Тот же термин все чаще и чаще используется для широкого класса других методов исследований, например, для обозначения реверберационного картирования (эхолокации) активных галактических ядер (AGN). В настоящее время термин томография стал применяться при исследовании линии 21 см атомарного водорода в межзвездной и межгалактической средах, галактических магнитных полей и даже при изучении внутреннего строения Солнца и Земли, просвечиваемых потоками нейтрино. В общем случае томографией можно назвать процесс восстановления распределения изучаемых характеристик объекта исследования вдоль одной из пространственных координат, для которой такое распределение не следует непосредственно из наблюдений. В астрономической практике чаще всего восстановлению подвергается распределение вдоль луча зрения. В данной статье основное внимание сосредоточено на спектральной томографии двойных звезд и AGN.

ASTROPHYSICAL TOMOGRAPHY, by Bochkarev N. G. – Lately, the notion "tomography" became widely used in astrophysics. By tomography is most often meant the Doppler spectral tomography of close binaries: both cataclysmic and X-ray binaries (research of accretion beams and disks as well as shapes of optical components). The same term is more and more often applied to a wide class of other methods of investigation, *e. g.*, it is often substituted for the term "AGN reverberation mapping". Presently, the term tomography is used in investigations of the H I 21 cm line in the interstellar and intergalactic media, galactic magnetic fields, and even in the exploration of the internal structure of the Sun and the Earth through neutrino flow, *etc.* Broadly speaking the tomography means the restoration of a searched object characteristics distribution along a space coordinate for which the allocation does not directly follow from observations. In the astronomical practice the most frequently used restoration is the determination of a distribution along the sight line. This paper focuses mostly on the spectral tomography of binary stars and active galactic nuclei.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие томографии прочно вошло в нашу жизнь в связи с широким распространением медицинских томографов. С их помощью удается из совокупности двумерных изображений объекта исследования восстанавливать его трехмерную структуру.

В широком смысле томография есть метод восстановления изображений, который успешно применяется в различных областях, далеко выходящих за пределы медицины. Томографией обычно называют процесс восстановления распределения изучаемых характеристик объекта исследования вдоль одной из пространственных координат, для которой оно не следует непосредственно из наблюдений. В астрономической практике чаще всего восстановлению подвергается распределение вдоль луча зрения.

В астрономической литературе термин "томография", по-видимому, впервые появился в 1987 г. [1] в связи в проблемой выяснения геометрических и фотометрических характеристик пятен на звездах по периодическому изменению профилей спектральных линий в процессе осевого вращения звезды. На следующий год его применили к случаю восстановления геометрических параметров тесных двойных систем (ТДС) звезд по периодической составляющей вариаций профилей наблюдаемых спектральных линий. В последние годы термин приобрел популярность и стал применяться в крайне разнообразных случаях.

Восстановление изображений – это одна из типичных задач астрономии, поскольку многие астрономические объекты настолько далеки от нас, что методом бинокулярного зрения или параллакса определить расстояние до них не удается, т. е. распределение вдоль луча зрения подлежит восстановлению. Для многих объектов (прежде всего для большинства звезд, в том числе двойных и более высокой кратности) угловая протяженность их на небесной сфере столь мала, что они наблюдаются как точечные. В этом случае восстановлению в идеале подлежит структура объекта вдоль всех трех пространственных координат.

Таким образом, томографией в широком смысле этого слова можно назвать все методы определения шкалы расстояний во Вселенной, которые не поддаются изучению методом параллаксов. Чаще всего восстановить картину происходящего помогает детальный спектральный анализ. Классическими примерами последних являются определение космологических расстояний по красному смещению и восстановление пространственного распределения различных объектов в Галактике методом кинематических расстояний.

Восстановление структуры возможно также в тех случаях, когда при периодически повторяющихся движениях структурные элементы объекта исследования изменяют свои лучевые скорости, а профили спектральных линий испытывают периодические изменения формы. В этом случае, используя модель движения, можно восстановить структуру объекта. Такой метод называют доплеровской томографией в широком смысле (доплеровская томография в узком смысле описана в следующем разделе статьи).

Термин томография стал применяться все шире и шире не только в связи с изучением перечисленных выше классов объектов, но, например, и для исследования оболочек долгопериодических переменных звезд типа Миры Кита [2], планетарных туманностей [3], квазаров [4]; магнитных полей на поверхности белых карликов [5], на Солнце (по потоку нейтрино) [6] и в Галактике [7]; нейтрального компонента межгалактической среды при больших красных смещениях по линии 21 см H I [8]; скоплений галактик и скрытой массы с помощью слабого линзирования [9, 10] и т. д. В работах [11, 12] исследуется возможность использования изотропного потока космических нейтрино в диапазоне энергий от 10 до 10 000 ТэВ для изучения внутренней структуры Земли. Это может стать независимым по отношению к применяемым сейчас сейсмическим методам изучения внутреннего строения нашей планеты с помощью частиц, пронизывающих ее насквозь.

ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

Хотя термин томография стал модным и применяется в различных областях астрономии (см. введение), наибольшее количество публикаций посвящено доплеровскому картированию ТДС. При этом для каждой из изучаемых спектральных линий на плоскости орбитальная фаза – лучевая скорость строится распределение интенсивности в данной линии. С использованием кинематической и геометрической модели системы эти данные переводятся в двумерное изображение объекта на плоскости лучевых скоростей V_x – V_y (томографическая карта) и далее – в пространственное распределение яркости излучения рассматриваемой линии (собственно доплеровская томограмма).

Доплеровская томография применяется для детального изучения аккреционных дисков в CVs [13, 14] и ТДС типа Алголя [15]. Она очень полезна при исследовании структуры поверхности диска, если он наблюдается под достаточно большим углом. Подобная техника недавно стала применяться для изучения разделенных двойных и других кратных систем [16, 17], включая кандидаты в черные дыры [18, 19].

Количество публикаций этого типа быстро растет. Если за первые шесть лет (1988–1993 гг.) применения доплеровской томографии к изучению двойных звезд было опубликовано только 10 статей, то с 1994 по 2000 гг. количество реферируемых публикаций на эту тему составляло от 9 до 19 в год [20]. Согласно [20] к сентябрю 2000 г. в рецензируемых журналах были опубликованы доплеровские карты 64 CVs и рентгеновских новых как в спокойных состояниях, так и во время вспышек. Чаще всего измерения выполнялись для линии водорода H_β. Во многих случаях они сопровождались наблюдениями в H_α и H_γ, и линиях He I и He II. Реже использовались спектральные линии C I, Na I, Mg I, Mg II, Ca II и УФ-линии C III, Si IV, N V.

В этих работах обычно применялся метод анализа наблюдательных данных (восстановления изображений), который использует набор модельных предположений, ставший стандартным. С этим набором предположений обычно связывают термин доплеровская томография в узком смысле слова. Главными среди модельных предположений являются следующие:

1. Все точки системы видны в любой момент времени.

2. Поток от любой точки, фиксированной во вращающейся системе координат, является постоянным.

3. Все движения параллельны орбитальной плоскости.

4. Все векторы скорости вращаются вместе с двойной системой.

5. Собственную ширину профилей линии в каждой точке можно считать пренебрежимо малой.

6. Все движения в системе считаются круговыми.

В рамках этих довольно общих приближений алгоритм восстановления распределения излучения в картинной плоскости по наблюдательным данным оказывается достаточно прост [20] и надежен в использовании. При этом для сглаживания шумов в доплеровских изображениях для регуляризации решения используется как метод максимума энтропии, так и FBP-метод (filtered back-projection) [20].

Поскольку доплеровская томография имеет дело с лучевыми скоростями, то результатом первого шага анализа является томографическая карта, т. е. поле скоростей в орбитальной плоскости системы. На построенных изображениях поля скоростей внешние края изображения соответствуют наибольшим скоростям движения, а внутренние – наименьшим. Таким образом, изображение аккреционного диска представляется как бы "вывернутым наизнанку": внешние части доплеровского изображения соответствуют внутреннему ободку кольца в диске, ответственному за излучение в рассматриваемой спектральной линии. И наоборот: внешней границе зоны свечения диска в этой линии соответствует внутренняя граница ее изображения на доплеровской карте. Подобные изображения часто встречаются в статьях.

Важнейшими результатами доплеровской томографии стали:

1. Обнаружение спиральных ударных волн в аккреционных дисках в CVs ([21] для карликовой новой IP Peg); получены также свидетельства существования таких волн в дисках SS Cyg, V336 Pup, EX Dra.

2. Изучение струй в полярах [22].

5. Изучение горячих пятен в карликовых новых.

4. Изучение вторичного компонента: найдена эмиссия от быстровращающихся красных карликов.

5. Отсутствие следов дисков во многих новоподобных системах.

6. Выявление струйных потоков, вытекающих из систем [23].

Перспективы доплеровской томографии связаны прежде всего с переходом от наблюдений очень короткопериодических систем, когда в одну наблюдательную ночь на одном инструменте удается провести измерения для полного орбитального цикла, к более долгопериодическим системам. В этом случае одной из важных проблем является исключение систематических ошибок, вызываемых прерыванием наблюдений от одной ночи к другой, а также с переходом от одного телескопа к другому. Меньшие лучевые скорости в долгопериодических системах требуют более высокого спектрального разрешения. Возможности метода ограничиваются тепловым уширением спектральной линии (от единиц до десятков км/с).

Принципиально новые возможности для анализа структуры и кинематики ТДС открывает сопоставление с наблюдениями результатов гидродинамического моделирования газовых течений в них [24].

Переход к более высокому спектральному разрешению предполагает одновременно уменьшение продолжительности экспозиции с тем, чтобы за время экспозиции лучевые скорости всех элементов объекта изучения изменились меньше величины, соответствующей спектральному разрешению. Одновременное требование увеличения спектрального разрешения и сокращения экспозиции с очевидностью приводит к необходимости использования самых больших телескопов (класса 6–10 м). Поэтому для 2-м телескопа на пике Терскол следует выбирать наиболее яркие объекты [25].

ТОМОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ РОША

Томография поверхности Роша [26, 27] аналогична доплеровской томографии, но использует более реалистичную для XRB модель системы. Предполагается, что оптический компонент заполняет свою полость Роша, соответствующую синхронному вращению и круговой орбите. Каждый элемент поверхности такой звезды формирует свой собственный профиль спектральной линии. Разные точки поверхности имеют разные собственные профили. Модельный профиль спектральной линии определяется интегрированием по видимой части поверхности звезды профилей линии, образуемых в каждой точке поверхности звезды с учетом факторов проекции, потемнения к краю, затмений, если они имеются, и доплеровских сдвигов, соответствующих радиальной скорости каждого элемента поверхности в рассматриваемой фазе орбитального периода. Таким образом, рассчитывается расширенный вращением профиль изучаемой спектральной линии для каждой фазы орбитального периода. В нашей стране опыт таких работ имеет группа А. М. Черепащука [24].

Эта более сложная модель, с одной стороны, может дать более реалистичные результаты, но с другой стороны – оказывается более требовательной к качеству наблюдательного материала, а также к алгоритмам, используемым для анализа наблюдательных данных. Анализ наблюдений – это решение обратной задачи, которая, вообще говоря, некорректна и требует применения методов регуляризации. Обычно используемый метод максимума энтропии имеют очень медленную сходимость итераций [28]. При этом велика опасность получения артефактов, для устранения которых требуется очень высокое качество наблюдательного материала. Из модельных расчетов видно, что если задать однородное распределение интенсивности по всей поверхности звезды с единственным пятном, покрывающим 0.8 процентов от ее поверхности, и ввести в численном эксперименте шумы на уровне 10 % сигнала, то при восстановлении изображения получатся светлые и темные пятна, покрывающие всю поверхность звезды [29].

Итак, при применении метода томографии поверхности Роша надо выполнять специальные численные тесты для определения влияния статистической погрешности наблюдательных данных и влияния погрешностей, которые могут возникнуть при реализации конкретного метода решения обратной задачи.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В данном разделе кратко рассмотрена проблема мониторинга активных ядер галактик (AGN) с целью эхокартирования. В настоящее время проводится большое количество различных программ мониторинга AGN [30]. Одна из этих программ – мониторинг с целью эхокартирования по существу является методом спектральной томографии [4]. В этом году исполнилось 20 лет с момента создания теоретической базой метода [31, 32]. В течение последних 14 лет более 100 астрономов из 55 обсерваторий 35 стран ведут наблюдения по указанной программе [33]. Причиной того, почему предпринимается столько усилий, является уникальность возможности восстановления геометрии и кинематики газа в самых внутренних частях AGN, в которых происходит основная часть энерговыделения.

Метод основан на том, что излучающий широкие линии газ нагревается и ионизуется в основном рентгеновским излучением (РИ), возникающим в самых центральных частях AGN вблизи сверхмассивной черной дыры. Поток РИ непостоянен, и переменность носит вспышечный характер. Вспышка РИ изменяет температуру и эмиссионную способность газа. В результате по среде бежит волна возмущения, которая для наблюдателя будет проявляться в изменениях профилей спектральных линий.

Проиллюстрируем качественные возможности метода: если первыми на вспышку РИ отреагируют высокоскоростные крылья профиля линии, то это означает, что высокоскоростной газ сосредоточен в наиболее внутренних частях "центральной машины" AGN. Если бы изменения были видны только в одном из двух крыльев, то это указывало бы на преобладание радиальных движений. Случаи падения и разлета газа можно различить по тому, в каком из двух крыльев возникает переменность. Задержка изменений интенсивности линий относительно континуума позволяет получить абсолютные размеры области, излучающей в рассматриваемой спектральной линии.

Таким образом, имеется принципиальная возможность по переменности профилей спектральных линий восстановить структуру излучающей области в рамках той или иной кинематической модели и сделать выбор между моделями. Как видно, это полностью подходит под понятие спектральной томографии как метода восстановления структуры вдоль еще по одного (дополнительного) пространственного измерения.

Описанным методом подробно исследовано около 10 объектов. В последнее время он стал широко применяться для определений масс центральных тел AGN (оценены массы для более чем 100 объектов).

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 00-02-16272а и ФЦНТП "Приоритеты науки и техники России 2002–2006 гг.".

[1] *Vogt S. S., Penrod G. D., Hatzes A. P.* Doppler images of rotating stars using maximum entropy image reconstruction // Astrophys. J.–1987.–**321**, N 2.–P. 496–515.

[2] *Alvarez R., Jorissen A., Plez B., et al.* Envelope tomography of long-period variable stars III. Line-doubling frequency among Mira stars // Astron. and Astrophys.–2001.–**379**.–P. 305–322; astro-ph/0109259.

[3] *Sabbadin F., Cappellaro E., Benetti S., et al.* Tomography of the low excitation planetary nabula NGC40 // Astron. and Astrophys.–2000.–**355**.–P. 688–698.

[4] *Horne K., Korista K. T., Goad M. R.* Quasar tomography: unification of echo mapping and photoionisation models // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2002.–in press; astro-ph/0210539.

[5] *Euchner F., Jordan S., Beuermann K., et al.* Zeeman tomography of magnetic white dwarfs. I. Reconstruction of the field geometry from synthetic spectra // Astron. and Astrophys.–2002.–**390**.–P. 633–647.

[6] *Pulido J.* Possible tomography of the Sun's magnetic field with solar neutrinos // Phys. Rev. D.–1998.–**57**, N 12.–P. 7108–7119.

[7] *Stepanov R., Frick P., Shukurov A., Sokoloff D.* Wavelet tomography of the Galactic magnetic field. I. The method // Astron. and Astrophys.–2002.–**391**.–P. 361–368; astro-ph/0112507.

[8] *Di Matteo T., Perna R., Abel T., Rees M. J.* Radio Foregrounds for the 21cm Tomography of the Neutral Intergalactic Medium at High Redshifts // Astrophys. J.–2002.–**564**, N 2.–P. 576–580; astro-ph/0109241.

[9] *Wittman D., Margoniner V. E., Tyson J. A., et al.* Weak lensing discovery and tomography of a cluster at $z = 0.68$ // Astrophys. J. Lett.–2002.–in press; astro-ph/0210120.

[10] *Hu W.* Dark energy and matter evolution from lensing tomography // Phys. Rev. D.–2002.–**66**, N 8.–id. 083515.

[11] *Jain P., Ralston J. P., Frichter G. M.* Neutrino absorption tomography of the Earth's interior using isotropic ultra-high energy flux // Astropart. Phys.–1999.–**12**, N 3.–P. 193–198.

[12] *Lindner M., Ohlsson T., Tomas R., Winter W.* Tomography of the Earth's core using supernova neutrinos // 2002.–hep-ph/0207238.

[13] *Marsh T. R., Horne K.* Images of accretion discs. II Doppler tomography // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1988.–**235**.–P. 269–286.

[14] *Kaitchuck R. H., Schlegel E. M., Honeycutt R. K., et al.* An atlas of Doppler emission-line tomography of cataclysmic variable stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1994.–**93**, N 2.–P. 519–530.

[15] *Albright G. E., Richards M. T.* Doppler tomography of accretion discs in Algol binaries // Astrophys. J.–1996.–**459**, N 2.–P. L99.

[16] *Simon K. P., Sturm E.* Disentangling of composite spectra // Astron. and Astrophys.–1994.–**281**, N 1.–P. 286–291.

[17] *Hadrava P.* Orbital elements of multiple spectroscopic stars // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1995.–**114**.–P. 393.

[18] *Sowers J. W., Gies D. R., Bagnuolo W. G., Jr., et al.* Tomographic analysis on H_α profiles in HDE226868 / Cygnus X–1 // Astrophys. J.–1998.–**506**.–P. 424–430.

[19] *Torres M. A. P., Casares J., Martinez-Pais I. G., Charles P. A.* Rotational broadening and Doppler tomography of the quiescent X-ray nova Centaurus X-4 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2002.–**334**, N 1.–P. 233–240.

[20] *Marsh T. R.* Doppler tomography // Astrotomography, indirect imaging methods in observational astronomy: Proceedings of the Astro-tomography workshop, Brussels / Eds H. M. J. Boffin, D. Steeghs, J. Cuypers.–Lecture Notes in Physics: Springer-Verlag, 2001.–**573**.–P. 1; astro-ph/0011020.

[21] *Steeghs D., Harlaftis E. T., Horne K.* Spiral structure in the accretion disc of the binary IP Pegasi // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1997.–**290**, N 2.–P. L28–L32.

[22] *Schwope A. D., Catalan M. S., Beuermann K., et al.* Multi-epoch Doppler tomography and polarimetry of QQ Vul // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2000.–**313**, N 3.–P. 533–546.

[23] *Hynes R. I., Charles P. A., Haswell C. A., et al.* Doppler tomography of XTE J2123–058 and other neutron star LMXBs // Astrotomography, indirect imaging methods in observational Astronomy: Proceedings of the Astro-tomography workshop, Brussels / Eds H. M. J. Boffin, D. Steeghs, J. Cuypers.–Lecture Notes in Physics: Springer-Verlag, 2001.–**573**.–P. 378; astro-ph/0008145.

[24] *Кузнецов О. А., Бисикало Д. В., Боярчук А. А. и др.* Синтетические доплеровские томограммы газовых потоков в двойной системе IP Peg // Астрон. журн.–2001.–**78**, № 1.–С. 997–1007.

[25] *Карицкая Е. А.* Оптическая доплеровская томография как метод исследования рентгеновской двойной Лебедь X–1 // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–2003.–№ 4.–С. 230–233.

[26] *Rutten R. G. M., Dhillon V. S.* Roche tomography: imaging the stars in interacting binaries // Astron. and Astrophys.–1994.–**288**.–P. 773–781.

[27] *Rutten R. G. M., Dhillon V. S.* Roche tomography of the cool star in IP Peg // Cataclysmic variables and related objects / Eds A. Evans, J. H. Wood.–Dordrecht: Kluwer, 1996.–P. 21.

[28] *Dhillon V. S., Watson C. A.* Imaging the secondary stars in cataclysmic variables // Astrotomography, indirect imaging methods in observational Astronomy: Proceedings of the Astro-tomography workshop, Brussels / Eds H. M. J. Boffin, D. Steeghs, J. Cuypers.–Lecture Notes in Physics: Springer-Verlag, 2001.–**573**.–P. 94.

[29] *Watson C. A., Dhillon V. S.* Roche tomography of cataclysmic variables – I. Artefacts and techniques // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2001.–**326**, N 1.–P. 67–77.

[30] *Бочкарев Н. Г.* Спектральный и фотометрический мониторинг AGN с целью эхокартирования: прошлое, настоящее, будущее // Nasiraddin Tusi and modern astronomy / Eds E. S. Babayev, A. S. Guliev.–Baku: Poligraf-Servis, 2002.–P. 70–112.

[31] *Blandford R. D., McKee C. F.* Reverberation mapping of the emission line regions of Seyfert galaxies and quasars // Astrophys. J.–1982.–**255**.–P. 419–439.

[32] *Бочкарев Н. Г., Антохин И. И.* Возможность быстрых изменений профилей эмиссионных линий в спектрах активных ядер галактик и квазаров // Астрон. циркуляр.–1982.–№ 1238.–С. 1–5.

[33] *Peterson B. M., Berlind P., Bertram R., Bischoff K. Bochkarev N. G., et al.* Steps toward determination of the size and structure of the broad line region in active galactic nuclei. XVI. A thirteen-year study of spectral variability in NGC 5548 // Astrophys. J.–2002.–in press; astro-ph/0208064v1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗД – ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ СОЛНЦА НА 2-м ТЕЛЕСКОПЕ ОБСЕРВАТОРИИ ТЕРСКОЛ

А. И. Галеев[1], И. Ф. Бикмаев[1], Ф. А. Мусаев[2,3], Г. А. Галазутдинов[2]

[1] *Казанский университет, кафедра астрономии*
ул. Кремлевская, 18, 420008 Казань, Россия
e-mail: almaz@ksu.ru

[2] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
пос. Нижний Архыз, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия

[3] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*

На кудэ-эшеле-спектрометре 2-м телескопа обсерватории Терскол в течение 1999–2000 гг. получены высокодисперсионные спектры звезд выборки фотометрических аналогов Солнца. По вычисленным ранее фундаментальным параметрам атмосфер звезд (T_{eff}, $\lg g$) с помощью измеренных эквивалентных ширин определены содержания 30 химических элементов от углерода до европия, а также содержания лития по профилям линии Li I 670.8 нм. Измерения лучевых скоростей звезд по спектральным линиям позволили провести анализ кинематических характеристик данных звезд.

STUDY OF PHOTOMETRIC SOLAR-ANALOG STARS FROM THE SPECTRA OBTAINED WITH THE 2-m TELESCOPE AT THE TERSKOL OBSERVATORY, by Galeev A., Bikmaev I., Musaev F., Galazutdinov G. – We obtained high-resolution spectra of a sample of solar analogs by using a coude-echelle-spectrometer of the 2-m telescope of the Terskol Observatory in 1999–2000. We derived fundamental parameters of the atmospheres (T_{eff}, $\lg g$) of these stars and determined abundances of 30 elements from carbon to europium using measured equivalent widths. Moreover, the abundance of lithium was calculated from the Li I 670.8 nm line profiles. We also analyzed kinematic characteristics of these stars based on measured radial velocities.

ВВЕДЕНИЕ

Среди звезд солнечного типа – обширной группы звезд спектральных классов от поздних F до ранних K, расположенных на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рессела или вблизи нее – выделяют так называемые звезды-аналоги Солнца. Параметры их атмосфер заключены в небольших пределах и ненамного отличаются от солнечных значений. Таких объектов немного, к примеру, в своей классической работе 1996 г. Кайрел де Стробель [1], проанализировав звезды каталога HIPPARCOS, выделила лишь 50 звезд, по температуре, светимости и металличности похожих на Солнце.

Аналоги Солнца выделяются по разным критериям – по цветовым индексам или распределению энергии в спектре (фотометрические аналоги), по температуре, по идентичности спектров, по хромосферной активности и т. д. Интересной задачей является проблема существования аналогов Солнца по химическому составу, ведь этот параметр является фундаментальным критерием и мало подвержен селективным эффектам.

Актуальной проблемой остается задача поиска полного аналога, или двойника Солнца. Двойник Солнца – звезда, все физические параметры которой – температура, светимость, масса, радиус вращение, поле скоростей, возраст, магнито-гидродинамическая структура, химический состав и т. д. – в пределах ошибок наблюдений, измерений, модели атмосферы и пр. совпадают с солнечными. Предполагается, что такие звезды должны иметь различие температур в пределах 100 K, металличность – внутри ± 0.05 dex, их возраст не должен отличаться от солнечного больше чем на 1 млрд лет и т. д. В 1997 г. Порто де Мелло и да Сильва [2] предложили в качестве наиболее вероятного кандидата в двойники Солнца звезду 18 Скорпиона (HD 146233).

В данной работе мы исследовали выборку фотометрических аналогов Солнца: определили важнейшие параметры атмосфер этих звезд и рассмотрели возможность обнаружения среди них двойника Солнца по спектрам высокого разрешения, которые были получены на кудэ-эшеле-спектрометре, установленном на 2-м телескопе обсерватории Терскол.

НАБЛЮДЕНИЕ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ

Спектры шестнадцати звезд солнечного типа, которые являются фотометрическими аналогами Солнца [3], были получены с помощью кудэ-эшеле-спектрометра [4], установленного на 2-м телескопе Zeiss-2000. В качестве детектора использовалась ПЗС-камера WI 1242×1152, с размером пиксела 22.5 × 22.5 мкм. Спектры экспонированы с разрешением 45 000 и охватывают диапазон длин волн от 350 до 1000 нм. Благодаря хорошей чувствительности камеры отношение сигнал/шум в красной части спектров данных звезд достигает 200.

14 звезд выборки наблюдались в июле–августе 1998 г., а спектры HD 213575 и HD 225239 получены в сентябре и октябре 1999 г. В каждую ночь для калибровки длин волн и отождествления спектральных линий при тех же условиях (положения спектрографа и ПЗС) снимался спектр сумеречного рассеянного солнечного света.

Изображения спектров переведены в одномерный вид, и обработаны (нормировка, калибровка длин волн, измерение эквивалентных ширин и лучевых скоростей) посредством программного пакета DECH20 [5]. В диапазоне длин волн 400–900 нм в спектрах каждой звезды и в одном из спектров Солнца измерены эквивалентные ширины нескольких сотен линий почти 40 атомов и ионов от Li I до Eu II и лучевые скорости около 150 линий сильных неблендированных линий различных элементов. Список исследованных звезд, важнейшие параметры атмосфер, определенные в данной работе, а также измеренные значения эквивалентных ширин (EW) линии K I λ 769.9 нм и Li I λ 670.8 нм, отдельно рассмотренные авторами в работах [6] и [7], и среднее значение лучевой скорости (RV) для каждой звезды приведены в таблице. В качестве примера на рис. 1 приведены участки спектров некоторых звезд в области линии K I λ 769.9 нм. На рисунке также отмечены соседние теллурические линии O_2, которые в зависимости от топоцентрической скорости звезды находятся на разном расстоянии от звездной линии.

Эффективные температуры звезд вычислялись по опубликованным фотометрическим индексам с помощью калибровок Алонсо и др. [8], основанных на методе инфракрасных потоков. Точность определения температур не хуже 100 K, и они согласуются с другими данными, к примеру, [9]. Логарифмы ускорений свободного падения найдены с использованием параллаксов, измеренным с помощью спутника "HIPPARCOS". Содержания железа и 34 других химических элементов (за исключением лития) определялись по эквивалентным ширинам нейтральных или однажды ионизованных атомов посредством программы WIDTH 6 с использованием моделей атмосфер Куруца [10]. При вычислениях использованы значения gf-факторов базы данных VALD [11]. Методом "линия–линия" получены дифференциальные значения содержаний химических элементов относительно Солнца (точнее, содержаний элементов, найденных аналогично по эквивалентным ширинам, которые были измерены в потоковом атласе Куруца).

Список исследованных звезд, их параметры и некоторые измеренные данные

Звезда HD	T_{eff}, K	$\lg g$, dex	[Fe/H], dex	EW (K I 769.9), пм	EW (Li I 670.8), пм	RV, км/с
Sun	5770	4.44	0.0	17.30	0.22	
4307	5780	3.98	–0.17	15.15	6.15	
4915	5660	4.59	–0.24	15.61	0.47	–3.1
6582	5381	4.71	–0.60	16.44	0.23	
10307	5815	4.32	0.05	17.02	2.31	2.9
34411	5800	4.20	0.08	15.85	2.83	67.0
133002	5610	3.45	–0.38	15.89	≤0.2	
141004	5870	4.18	0.05	15.41	1.89	
146233	5710	4.37	–0.01	16.61	1.18	
159222	5805	4.39	0.13	17.54	2.41	
186408	5740	4.24	0.10	17.13	0.43	–27.4
186427	5700	4.34	0.05	17.51	≤0.2	–27.6
187923	5700	4.08	–0.12	16.94	0.40	–21.0
197076	5810	4.46	–0.05	15.56	3.58	–34.9
213575	5630	4.15	0.0	17.65	2.57	21.2
222143	5720	4.41	0.10	16.92	≤0.2	0.9
225239	5650	3.79	–0.39	15.80	2.97	

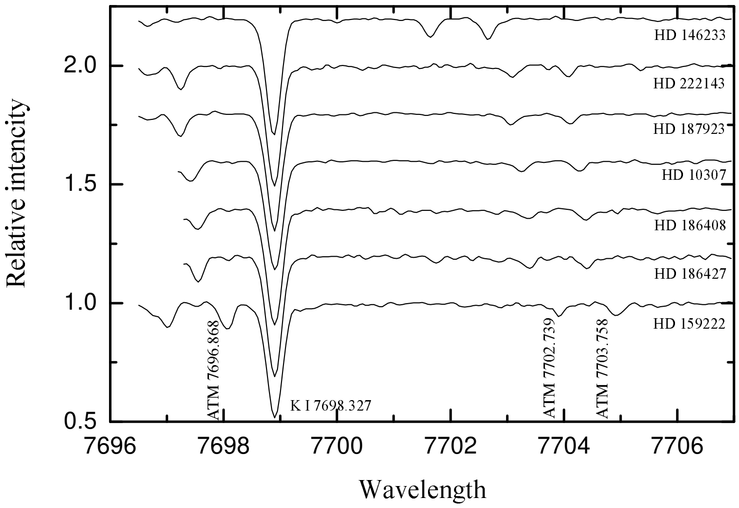


Рис. 1. Участки спектров ряда наблюдавшихся звезд в районе линии K I λ 769.9 нм. Спектры имеют последовательный сдвиг вдоль вертикальной оси на 0.2

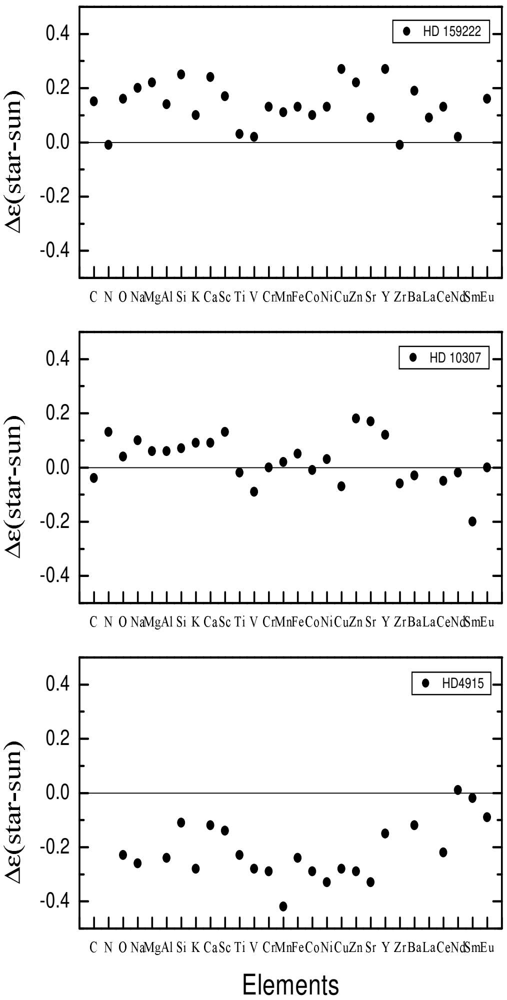


Рис. 2. Содержания химических элементов в атмосферах трех фотометрических аналогов Солнца – звезд с избытком металлов (HD 159222), солнечным химсоставом (HD 10307) и с пониженной металличностью (HD 4915)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Для шести звезд фундаментальные параметры атмосфер (таблица) получены впервые. Значения параметров других звезд согласуются с данными других исследований [12]. Анализ параметров звезд показывает, что несмотря на фотометрическую схожесть этих объектов с Солнцем, многие из них имеют значения, величины которых далеки от солнечных. Наиболее заметно это в случае известного субкарлика μ Cas (HD 6582), а также малоизученных звезд-субгигантов HD 133002 и HD 225239.

2. Оставшиеся 13 звезд по химическому составу разделяются на три группы (рис. 2): три звезды имеют пониженное содержание металлов, четыре звезды показывают повышенное содержание химических элементов относительно Солнца, и лишь шесть фотометрических аналогов Солнца имеют химический состав, близкий к солнечному. Распределение содержаний химических элементов у отдельных звезд имеет неоднородный вид (например, у HD 34411 содержание легких элементов Na, Mg, Al повышено, а содержание тяжелых, таких как Ba, Nd, Eu, совпадает с солнечным значением).

3. По содержанию лития [7] выборка исследованных звезд разбивается на две части – объекты с солнечным содержанием лития и существенно большим.

4. Из рассмотренных звезд только предложенный ранее кандидат в двойники Солнца HD 146233 удовлетворяет критериям полного аналога Солнца – не только фундаментальные параметры, но и химический состав (за исключением избытка лития) этой звезды очень близок к солнечному.

В заключение авторы выражают глубокую признательность сотрудникам МЦ АМЭИ за организацию наблюдений летом 1998 года (А. Бондарю за помощь в наблюдениях). Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку (грант 02-02-17174), а также за грант МАС 01-02-06068.

[1] *Cayrel de Strobel G.* Stars resembling the Sun // Astron. and Astrophys. Rev.–1996.–**7**.–P. 243–288.

[2] *Porto de Mello G. F., da Silva L.* HR 6060: The Closest Ever Solar Twin? // Astrophys. J.–1997.–**482**.–P. L89–L92.

[3] *Kharitonov A. V., Mironov A. V.* Selection of Solar analogues on the basis of various color indices // Solar Analogs: Characteristics and Optimum Candidates / Ed. J. Holl.–1998.–P. L149–L152.

[4] *Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А., Сергеев А. В. и др.* Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 3.–С. 282–287.

[5] *Галазутдинов Г. А.* // Препринт САО РАН.–1992.–**92**.–P. 1.

[6] *Шиманский В. В., Бикмаев И. Ф., Галеев А. И. и др.* О механизмах синтеза калия при формировании звезд галактического диска // Астрон. журн. (в печати).

[7] *Галеев А. И., Машонкина Л. И. Бикмаев И. Ф. и др.* Содержание лития в атмосферах звезд-аналогов Солнца // Астрон. журн. (в печати).

[8] *Alonso A., Arribas S., Martinez-Roger C.* Determination of effective temperatures for an extended sample of dwarfs and subdwarfs (F0–K5) // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1996.–**117**.–P. 227–254.

[9] *Furhmann K.* Nearby stars of Galactic disk and halo // Astron. and Astrophys.–1998.–**338**.–P. 161–184.

[10] *Kurucz R. L.* Atmospheric models on CD–ROMs.–1993.

[11] *Kupka F., Piskunov N., Ryabchikova T. A., et al.* VALD-2: Progress of the Vienna Atomic Line Data Base // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1999.–**138**.–P. 119–133.

[12] *Cayrel de Strobel G., Soubiran C., Ralite N.* Catalogue of [Fe/H] determinations for FGK stars: 2001 edition // Astron. and Astrophys.–2001.–**373**.–P. 159–163.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ НЕКОТОРЫХ ЗВЕЗД СОЛНЕЧНОГО ТИПА С ПЛАНЕТАМИ

Ю. Г. Кузнецова, А. П. Видьмаченко

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: juliana@mao.kiev.ua

Представлены результаты спектральных наблюдений некоторых звезд солнечного типа с открытыми возле них планетами, имеющими различные периоды обращения. Наблюдения получены с помощью кудэ-эшеле-спектрометра на 2-м зеркальном телескопе на пике Терскол. Измерены временные изменения интенсивностей некоторых сильных хромосферных линий в спектрах ряда звезд с целью выявления возможного влияния на них массивных планет.

SPECTRA ANALYSIS OF SOME SUN TYPE STARS WITH PLANETS, by Kuznietsova Yu. G., Vid'machenko A. P. – The results of spectral observations of some sun-type stars with planets which have different orbital periods are presented. The data were obtained with the coude echelle spectrometer attached to the 2-m telescope of the Terskol Observatory. To find the possible influence of massive planets on their stars we measured time variations of the intensity of some strong chromosphere lines in the star spectra.

Рядом исследователей неоднократно высказывалось предположение о возможном воздействии движения планет на длительность цикла солнечной активности. При этом особое внимание уделялось изучению взаимодействия между главными астрономическими телами в Солнечной системе, исследованию влияния изменений положений или движения планет на динамику Солнца и, как результат этого, на развитие солнечных пятен и на активность Солнца в целом. В работе [2] рассмотрены изменения орбитальных моментов импульса планет вследствие гравитационных возмущений, поскольку в Солнечной системе до 98 % момента импульса приходится на долю орбитального движения четырех планет-гигантов. В частности, 11-летний период может быть отождествлен с относительным движением наиболее массивной пары Солнечной системы Юпитер–Сатурн.

К концу 2002 г. возле 90 звезд солнечного типа открыто свыше 100 планетных тел с массами, превышающими массу Сатурна. Этот факт является потенциально подходящим для проведения многофакторного анализа возможного гравитационного влияния основных планетных составляющих на активность центральных светил, тем более что для подавляющего их большинства периоды обращения планет составляют от 3.5 земных суток до нескольких недель. То есть, в исследуемых экзопланетных системах гравитационное влияние должно было бы проявиться гораздо сильнее, чем в Солнечной системе, поскольку массивные планеты находятся там гораздо ближе к центральной звезде, чем Юпитер и Сатурн к Солнцу. Средние расстояния Юпитера и Сатурна от Солнца составляют 5.2 и 9.58 а.е. соответственно, тогда как для исследуемых систем эти расстояния следующие: τ Boo – 0.0462 а.е.; 47 UMa – 2.1 и 3.73 а.е.; 55 Cnc – 0.247, 0.118 и 6.01 а.е.; 70 Vir – 0.43 а.е.

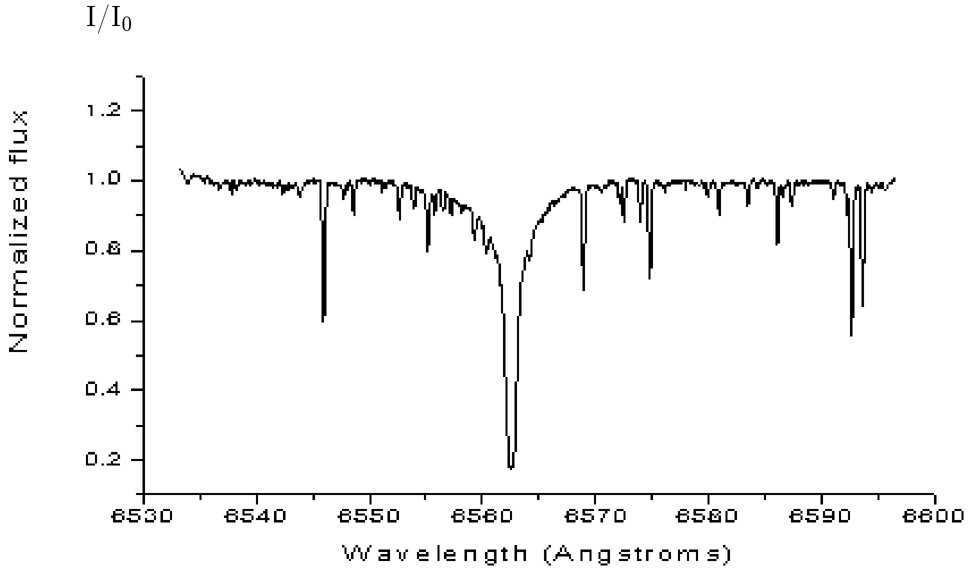
Солнечная активность может характеризоваться интенсивностями сильных хромосферных линий, таких как H_α, H_β, H и K Ca II. Поэтому мы используем эти линии для анализа полученных спектров.

В данной работе рассмотрены результаты наблюдений вышеупомянутых звезд солнечного типа с экзопланетами, полученых с помощью спектрометра кудэ-эшеле конструкции Ф. Мусаева, САО РАН [1] на 2-м зеркальном телескопе обсерватории Терскол. Наблюдения проводились с марта 2001 г. по октябрь 2002 г. Для каждого из объектов получено следующее количество спектральных сканов в диапазоне 360–860 нм: τ Boo – 3, 47 UMa – 5, 55 Cnc – 2 и 70 Vir – 3. Использовалось спектральное разрешение $R = 45\,000$ и $120\,000$. На рисунке приведен фрагмент спектра звезды 47 UMa в области линии H_α (656.3 нм).

Указанные звезды были выбраны в связи с тем, что две из них (τ Boo и 70 Vir) имеют только по одной открытой на данный момент массивной планете, что существенно облегчает выявление возможного влияния планеты на интенсивности хромосферных спектральных линий центральной звезды. Кроме того, эти планеты имеют весьма различные периоды обращения вокруг центральных светил. Такие наблюдения представляют интерес для выявления различных характеристик систем звезда–планета посредством анализа долгопериодичных временных зависимостей их излучательных характеристик.

Для проведения анализа мы выбрали объект 47 UMa, так как для него имеется наибольшее количество сканов, снятых с одинаковым разрешением (4 скана с $R = 45\,000$ и 1 – с $R = 120\,000$). Указанные четыре скана разнесены во времени на 3, 4.2 и 4.2 месяца, что составляет ощутимую долю от периодов обращения обеих планет этой звезды: 1095 и 2594 сут. Предварительный анализ нашего материала показывает наличие временных колебаний интенсивностей для хромосферных линий H_α, H_β, H и K Ca II. Для линий H_α, H_β и H Ca II обнаружена корреляция интенсивностей. Вариации интенсивностей в отдельных линиях составляют от 6 до 62 % при точности полученных спектров лучше 3 %. Эти результаты указывают на необходимость дальнейших исследований активности процессов, происходящих на звездах с планетами.

К сожалению, на данный момент для каждой из рассмотреных звезд наблюдательных данных недостаточно, к тому же они сильно разнесены во времени. В настоящее время планируется пополнение результатов наблюдений. Однако метод должен помочь ответить на вопрос о возможном гравитационном влиянии планет на активность центрального светила.



Фрагмент спектра звезды 47 UMa, полученного со спектральным разрешением $R = 45\,000$ в области линии H_α (656.3 нм)

[1] *Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А., Сергеев А. В. и др.* Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 3.–С. 282–287.

[2] *Мерс Х. Т., Шламмингер Л.* Движение планет, солнечные пятна и климат // Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормака, Т. Селиги.–М.: Мир, 1982.–С. 222–235.

Workshop A3

Solar System Bodies

Convener & Editor: D. Lupishko

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЙ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Н. С. Бахтигараев[1], **В. В. Чазов**[2]

[1] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*
e-mail: nail@inasan.rssi.ru

[2] *Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга*
Университетский просп., 13, 119992 Москва, Россия
e-mail: zov@sai.msu.ru

Предлагается методика подготовки наблюдений небесных тел, позволяющая уменьшить помехи от объектов искусственного происхождения, засоривших околоземное космическое пространство. Описывается программа, демонстрирующая небесную сферу с изображениями звезд, Солнца, Луны, больших планет, где имитируются пролеты ИСЗ. Программа и методика успешно применяются в Звенигородской обсерватории Института астрономии РАН при наблюдениях ИСЗ и малых тел Солнечной системы.

COMPUTER SIMULATIONS FOR PREPARING THE ASTRONOMICAL OBSERVATIONS, by Bakhtigaraev N., Chazov V. – We propose a computer program for preparing the astronomical observations, which allows to reduce the interferences from near-Earth space debris. The program reproduces on the display the celestial sphere: there are the Sun, the Moon, the major planets as well as the predicted positions of artificial satellites. This program is successfully applied at the Zvenigorod Observatory of the Institute of Astronomy of RAS for observations of artificial satellites and Solar System small bodies.

В последние годы при проведении оптических наблюдений ИСЗ мы начали сталкиваться с тем, что для получения хороших результатов не всегда достаточно благоприятных погодных условий, точных эфемерид, наличия квалифицированных наблюдателей и исправной аппаратуры. Одним из факторов, препятствующим успешным наблюдениям, является влияние засорения околоземного пространства объектами искусственного происхождения. Топоцентрические положения Солнца, Луны и ярких планет на моменты наблюдений вместе с условиями видимости самих объектов обычно учитываются при планировании и подготовке к оптическим наблюдениям ИСЗ. Влияние других небесных тел (яркие ИСЗ и звезды) на наблюдения рассматривается как случайный, мешающий работе фактор. Объекты искусственного происхождения, которых отслеживается более 8000, случайно и регулярно попадают в поле зрения измерительной аппаратуры. Яркие объекты приводят к засветке и "ослеплению" приемника излучения. При этом не только уменьшается количество измерений, но и может прекратиться сам процесс наблюдений. Схожесть траектории наблюдаемого ИСЗ с траекториями "посторонних объектов" приводит к тому, что в поле зрения инструмента могут одновременно попасть несколько ИСЗ, и наблюдатель проведет измерения другого объекта.

Развитие вычислительной техники и информационных технологий привели к тому, что стало возможным планировать наблюдения с учетом влияния космического мусора. Для повышения эффективности проведения наблюдений ИСЗ была сделана программа визуализации наблюдений с большим набором управляющих кнопок и всплывающих подсказок на основе теории движения ИСЗ и соответствующих программ, созданных в ГАИШ МГУ [1]. Эта программа выводит на экран монитора картину звездного неба над пунктом наблюдения. На картинке изображаются звёзды и попавшие в эту область небесные объекты: планеты, Луна, Солнце, искусственные спутники, которые на экране выделяются стрелками. Щелкнув мышкой над любым изображением, можно получить координатную и фотометрическую информацию об этих объектах (рис. 1). Небесные тела и космические объекты, находящиеся в данный момент над горизонтом пункта наблюдений, могут стать центром новой картинки на экране следующим образом: нажатием клавиши **C** или щелчком на кнопке **C** и выбором объекта из раскрывающегося списка (рис. 2). Клавиши и соответствующие кнопки + и − служат для перемещения на один шаг вперёд или

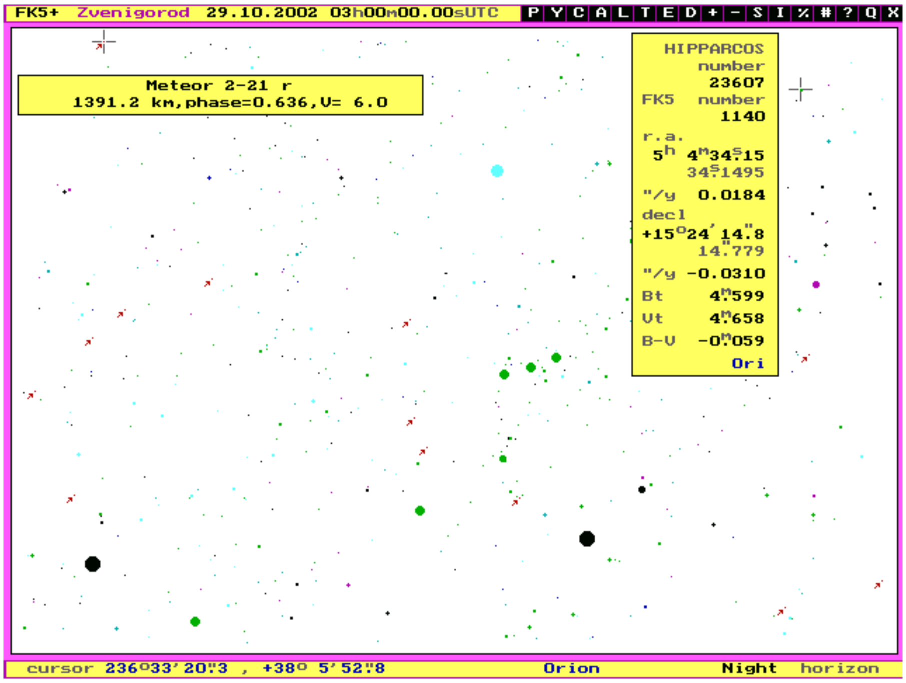


Рис. 1. Программное окно со всплывшими информационными окнами выбранных ИСЗ и звезды

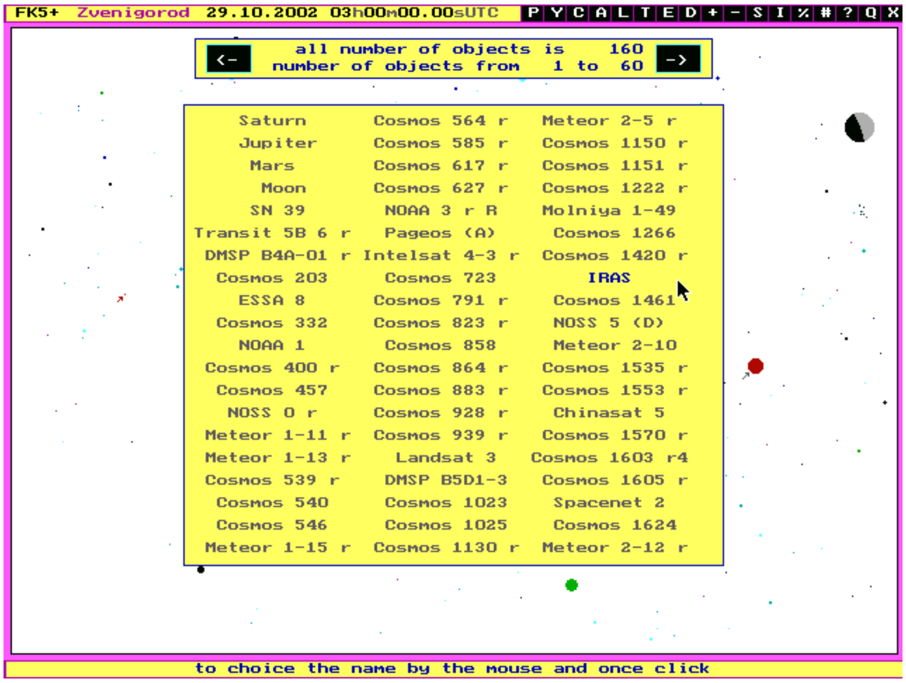


Рис. 2. Программное окно со всплывшим информационным окном с названиями 60 из 160 объектов, находившихся над горизонтом Звенигорода в 3 часа всемирного времени 29 октября 2002 г.

назад по времени. Величину шага можно выбрать при помощи клавиши или кнопки **S**.

Моделирование наблюдений ИСЗ с помощью этой программы осуществляется следующим образом. В меню при помощи управляющих кнопок выбираются:

- пункт наблюдений кнопкой **P**,
- дата и время кнопками + и −, при выбранной кнопкой **S** величине шага,
- файл с каталогом элементов орбит ИСЗ (основной источник – двустрочные элементы НАСА, но программа может работать и с каталогом СККП России),
- объект наблюдений, который можно выбрать во всплывающем окне при нажатии кнопки **C**, при помощи мышки, как на рис. 1, или кнопкой **D** из файла с заранее вычисленными эфемеридами,
- каталог звезд (FK–5 и HIPPARCOS, TRC1) в зависимости от яркости наблюдаемого объекта,
- система топоцентрических координат (горизонтальная, экваториальная, эклиптическая),
- угловые размеры отображаемого участка неба (от 40 градусов до нескольких угловых минут).

Далее программа показывает выбранный объект или область в центре картинки с попадающими в выбранное поле зрения звездами, большими планетами, Луной и другими ИСЗ как мультипликацию с любым выбранным шагом от 0.1 с до 10 лет.

Таким образом, наблюдатель может заранее выбирать удобное время наблюдений, предотвращать проведение ошибочных наблюдения случайных ИСЗ с похожими траекториями, а также избежать "ослепления" приемника при попадании ярких объектов в поле зрения. При этом сильно облегчается процесс планирования наблюдений и повышается эффективность работы.

Хотя программа создавалась для наблюдений ИСЗ, она может быть полезна и при астрофизических исследованиях, особенно при наблюдениях слабых небесных тел с большими экспозициями.

[1] *Чазов В. В.* Основные алгоритмы численно-аналитической теории движения искусственных спутников Земли // Тр. гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.–2000.–**68**.–С. 5–22.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕРАХ

А. П. Видьмаченко[1], **Ю. Г. Кузнецова**[1,2], **В. Н. Крушевская**[1]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: vida@mao.kiev.ua

[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина

Рассмотрены основные принципы образования нелинейных эффектов в планетной атмосфере. Для анализа поведения оптического электрона, участвующего в элементарном акте излучения и/или поглощения фотона, в качестве нулевого приближения используется модель идеального гармонического осциллятора. Обсуждается возможность образования второй гармоники основных характеристических частот метанового поглощения в атмосферах Юпитера и Сатурна.

NONLINEAR OPTICAL EFFECTS IN PLANETARY ATMOSPHERES, by Vid'machenko A. P., Kuznietsova Yu. G., Krushevskaya V. N. – The paper is concerned with the basic principles of the nonlinear optical effects generation in planetary atmospheres. To analyse the behaviour of an optical electron by emitting and/or absorbing photon a model of the ideal harmonic oscillator was used as the zeroth-order approximation. The possibility of the second-harmonic generation of the methane absorption in the atmospheres of Jupiter and Saturn is discussed.

НЕЛИНЕЙНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ОПТИКА

Нелинейная атмосферная оптика объединяет круг явлений, обусловленных зависимостью оптических параметров среды от интенсивности света. Довольно быстрое развитие нелинейной оптики как отдельной дисциплины началось вскоре после создания лазеров в начале 1960-х гг. А применение ее законов к исследованию атмосферных характеристик получило распространение после накопления определенного опыта и осмысления первых лидарных исследований в атмосфере Земли [2, 7]. Лидарные эксперименты показали, что после прохождения мощного лазерного излучения через земную атмосферу на трассе луча возникал ряд интересных эффектов, необъяснимых в рамках представлений классической атмосферной оптики [1]. Их обоснование и тщательное изучение привело в 1990-е гг. к появлению нескольких интересных работ и к разработке ряда научно-исследовательских тем по созданию нового научного направления – нелинейной атмосферной оптики [3].

Согласно класическим представлениям [1] такие оптические характеристики среды, как показатель преломления и коэффициент поглощения, не зависят от интенсивности света при условии, что реакция среды на электрическое поле световой волны $\mathbf{E}$ описывается линейным уравнением

$$\mathbf{P} = \varepsilon k \mathbf{E}. \tag{1}$$

То есть, поляризованность $\mathbf{P}$ пропорциональна напряженности электрического поля и значению диэлектрической проницаемости ε, а коэффициент пропорциональности – восприимчивость k – зависит только от свойств среды. Однако это уравнение справедливо лишь при напряженностях $\mathbf{E}$ электрического поля внешней световой волны, малых по сравнению с напряженностями E_a внутриатомных электрических полей. Для оценки E_a обычно считают, что по порядку величины

$$E_a \sim \frac{e}{4\pi\varepsilon a^2}, \tag{2}$$

где a – размер атома. Так как $a \sim 10^{-10}$ м, то $E_a \sim 10^{10}$ В/м. Чем сложнее молекула, тем ее линейные размеры больше. А следовательно, уменьшается напряженность внутримолекулярных электрических полей. В связи с этим для сложных многоатомных атмосферных составляющих (аммиак, метан и т. п.) следует ожидать более значимых проявлений нелинейных оптических эффектов, по сравнению с традиционно рассматриваемыми химически простейшими водородно-гелиевыми атмосферами планет-гигантов. В интенсивных электрических полях модель идеального гармонического осциллятора для описания поведения оптического электрона атома (т. е. электрона, участвующего в элементарном акте излучения и/или поглощения фотона) становится уже ограниченно пригодной, приводя к существенным нелинейным добавкам, вследствие чего связь поляризованности среды с напряженностью поля падающей световой волны становится нелинейной. В результате возникает зависимость оптических характеристик среды от интенсивности излучения, которая приводит не к каким-либо малым поправкам, а к принципиально новым эффектам, не существующим в линейной оптике. Так, в области оптической прозрачности среды в результате многофотонного поглощения интенсивный падающий свет может поглощаться гораздо сильнее, чем слабый. То есть, в непрерывном спектре и в сильных полосах поглощения могут иметь место довольно заметные различия образующихся в атмосфере нелинейных оптических эффектов. При достаточно больших плотностях излучения молекулярная система с некоторыми уровнями энергии ε_1 и ε_2 может поглотить в элементарном акте два фотона с такими частотами ω_1 и ω_2, что $\hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ (в частном случае $\omega_1 = \omega_2 = {}^1\!/_2\,(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/\hbar$). Вероятность поглощения двух фотонов будет пропорциональна произведению интенсивностей волн с частотами ω_1 и ω_2 или квадрату интенсивности при равенстве частот $\omega_1{=}\omega_2$.

ОБРАЗОВАНИЕ КРАТНЫХ ЧАСТОТ

Действующее на молекулу атмосферы электрическое поле падающей световой волны вызывает деформацию электронного облака. Это приводит к появлению у молекулы индуцированного дипольного момента, пропорционального напряженности поля волны при ее малых значениях. Но при некоторой интенсивности световой волны напряженность электрического поля уже нельзя считать пренебрежимо малой по сравнению с внутримолекулярными электрическими полями. При этом и связь индуцированного дипольного момента с напряженностью поля уже не будет линейной. Для рассмотрения нелинейной поляризуемости молекулы обычно исходят [1] из самой простой модели, лежащей в основе классической электронной теории дисперсии. Согласно этой модели смещение $x(t)$ оптического электрона из положения равновесия под воздействием поля световой волны $E(t)$ описывается уравнением

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = eE(t) + F, \tag{3}$$

где F – сила, удерживающая электрон с массой m в положении равновесия. В первом приближении (соответствующем линейной оптике) предполагается квазиупругий характер этой силы, т. е. ее пропорциональность смещению из равновесия $F = -kx$, что отвечает квадратичной зависимости потенциальной энергии электрона от его смещения $U(x) = (1/2)kx^2$. В следующих приближениях необходимо учитывать члены более высокой степени при разложении $U(x)$ в ряд по степеням смещения из равновесия:

$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2 - \frac{1}{3}m\beta x^3 - \frac{1}{4}m\delta x^4 + \ldots. \tag{4}$$

Здесь коэффициенты β и δ, как и k, определяются строением молекулы, причем нечетные степени в разложении $U(x)$ характерны только для молекулярных систем без центра симметрии. Пренебрегая затуханием, перепишем уравнение движения электрона (3) для некоторой модифицированной модели в виде

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \omega_0^2 x = (e/m)E(t) + \beta x^2 + \delta x^3 + ..., \tag{5}$$

где $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ – частота собственных гармонических колебаний при небольших амплитудах. В случаях, когда ангармонические члены βx^2, $\delta x^3, \ldots$ имеют характер небольших поправок, уравнение (5) можно решать методом последовательных приближений. В нулевом приближении ангармонические члены отбрасываются, и (5) сводится к основному уравнению классической теории дисперсии линейной оптики. В монохроматическом световом поле вида

$$E(t) = E_0 \cos \omega t \tag{6}$$

решение этого уравнения имеет вид

$$x_0(t) = \frac{e}{m} \cdot \frac{E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t. \tag{7}$$

Такое решение дает обычное выражение для линейной поляризуемости:

$$\alpha_0 = \left(\frac{e^2}{m\varepsilon_0} \right) \Big/ (\omega_0^2 - \omega^2). \tag{8}$$

На следующем шаге решение нулевого приближения $x_0(t)$ используется для подстановки в ангармонические члены уравнения (5) вместо $x(t)$ и решается линейное уравнение, в котором его правая часть, играющая роль вынуждающей силы, содержит, кроме $\cos \omega t$, еще и гармонические слагаемые на удвоенной, утроенной и т. д. частотах:

$$\begin{aligned} \cos^2 \omega t &= \tfrac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t), \\ \cos^3 \omega t &= \tfrac{3}{4} \cos \omega t + \tfrac{1}{4} \cos 3\omega t). \end{aligned} \tag{9}$$

Поэтому и частное решение неоднородного уравнения, описывающее установившиеся вынужденные колебания, кроме слагаемого $x_0(t)$ на основной частоте ω, содержит также слагаемые с частотами 2ω, 3ω, ...:

$$\begin{aligned} x(t) = \ & \frac{e/m}{\omega_0^2 - \omega^2} E_0 \cos \omega t + \frac{\beta}{2} \left[\frac{(e/m)E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right]^2 \left[\frac{1}{\omega_0^2} + \frac{\cos 2\omega t}{\omega_0^2 - (2\omega)^2} \right] + \\ & + \frac{\delta}{4} \left[\frac{(e/m)E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right]^3 \left[\frac{3 \cos \omega t}{\omega_0^2 - \omega^2} + \frac{\cos 3\omega t}{\omega_0^2 - (3\omega)^2} \right] + \ldots . \end{aligned} \tag{10}$$

Таким образом, совершающий некоторые колебания оптический электрон становится источником вторичных волн. То есть, вынужденные под действием падающей волны колебания электрона на удвоенной и утроенной частотах приводят к генерации в среде световых волн с частотами, кратными частоте падающей на среду волны. Это значит, что в сильных оптических полях нарушается принцип линейной оптики, заключающийся в неизменности частоты света при переходе из одной среды в другую. При выполнении определенных условий даже небольшой ангармонизм оптических электронов в прозрачной среде позволяет получить удвоение собственных частот проходящего света. Объединяя в (10) члены с $\cos \omega t$, находим, что результирующая поляризуемость равна

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_2 E_0^2, \qquad \alpha_0 = \frac{e^2/m\varepsilon_0}{\omega_0^2 - \omega^2}, \qquad \alpha_2 = \frac{3}{4} \delta \alpha_0 \frac{(e/m)^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^3}. \tag{11}$$

Следовательно, в выражении для поляризуемости молекулы появляется член, пропорциональный интенсивности световой волны. Он приводит к зависимости показателя преломления от интенсивности волны, проявляющейся в эффектах самовоздействия.

Таким образом, вынужденное движение электронов среды в поле световой волны макроскопически проявляется в возникновении поляризованности среды, которая складывается из индуцированных электрическим полем волны дипольных моментов отдельных молекул. Из-за ангармонических членов в потенциальной энергии электрона (4) эти дипольные моменты, помимо линейного члена, пропорционального напряженности электрического поля световой волны, содержат члены, пропорциональные более высоким степеням напряженности поля. Поэтому в сильных световых полях материальное уравнение, связывающее поляризованность среды с напряженностью электрического поля, становится нелинейным.

УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

Для удобства рассмотрения, как и в [1], выберем ось OZ вдоль направления входящей в нелинейную среду интенсивной волны частотой ω. На границе среды (при $z = 0$) амплитуда второй гармоники по определению равна нулю. Чтобы удовлетворить этому условию, к найденному выше частному решению нужно прибавить общее решение однородной системы известных уравнений Максвелла. Такое решение представляет собой свободно распространяющуюся в атмосфере волну $\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = \mathbf{E}_2\cos(\mathbf{k}_2\mathbf{r} - \omega_2 t)$ с частотой $\omega_2 = 2\omega$ и волновым вектором $\mathbf{k}_2$, удовлетворяющим соотношению $k_2^2 = \varepsilon(\omega_2)\omega_2^2/c^2$. Ее направление распространения и амплитуду $\mathbf{E}_2$ обычно выбирают так, чтобы на всей плоскости $z=0$ суммарная напряженность поля вынужденной и свободной волн частоты 2ω обращалась в нуль. В результате для второй гармоники получаем выражение

$$\mathbf{E}(z,t) = \frac{\frac{1}{2}k_2 E_0 \mathbf{E}_0}{\varepsilon(\omega) - \varepsilon(2\omega)}[\cos(2kz - 2\omega t) - \cos(k_2 z - 2\omega t)]. \tag{12}$$

Здесь первое слагаемое представляет собой вынужденную волну, фазовая скорость которой совпадает со скоростью распространения поляризованности, т. е. со скоростью v_1 исходной волны частотой ω: $v_1 = c/n(\omega)$. Второе слагаемое описывает свободное распространение в среде вторичных волн с частотой 2ω, которое происходит с фазовой скоростью $v_2 = c/n(2\omega)$. Сложение волн одинаковой частоты 2ω, но распространяющихся с различными фазовыми скоростями, дает волну (12), амплитуда напряженности которой периодически зависит от z, т. е. от глубины проникновения в нелинейную среду:

$$\mathbf{E}(z,t) = \frac{\frac{1}{2}k_2 E_0 \mathbf{E}_0}{\varepsilon(\omega) - \varepsilon(2\omega)} \sin\left(\frac{k_2 - 2k}{2}z\right) \sin\left(\frac{k_2 + 2k}{2}z - 2\omega t\right). \tag{13}$$

Интенсивность обратится в нуль при $(k_2/2 - k)/z = m\pi$, где m – целое число. В таких точках вторичные волны частотой 2ω, испущенные разными точками среды, погасят друг друга в результате интерференции. Так как $k_2/2 - k = [n(2\omega) - n(\omega)]\omega/c$, то это условие можно записать в виде $z = 2ml_{kog}$, где расстояние $l_{kog} = (\lambda/4)/[n(2\omega) - n(\omega)]$ называют когерентной длиной. На интервале от 0 до l_{kog} фазовые соотношения таковы, что энергия от исходной волны передается второй гармонике. А на интервале от l_{kog} до $2l_{kog}$ – возвращается в исходную волну. Этот процесс периодически повторяется по мере распространения исходной волны в нелинейной среде. Когда показатели преломления на частотах ω и 2ω одинаковы, когерентная длина l_{kog} обращается в бесконечность. В этом случае на протяжении всего пути в нелинейной среде наблюдается переход энергии от исходной волны ко второй гармонике. Так происходит потому, что при $n(2\omega) = n(\omega)$, т. е. $k_2 = 2k$, исходная волна, создающая нелинейную поляризованность среды на частоте 2ω, и испускаемые средой на этой частоте вторичные волны распространяются с одинаковой фазовой скоростью, и фазовые соотношения между ними всюду одинаковы. Вся нелинейная среда действует как объемная сфазированная решетка элементарных диполей с максимумом излучения в направлении распространения. Условие $n(2\omega) = n(\omega)$ или $\varepsilon(2\omega) = \varepsilon(\omega)$ называется фазовым или пространственным синхронизмом исходной волны и ее второй гармоники. При его выполнении выражения (12), (13) становятся неопределенными. Чтобы раскрыть неопределенность при $\varepsilon(2\omega) = \varepsilon(\omega)$, преобразуем в нем знаменатель:

$$\varepsilon(2\omega) - \varepsilon(\omega) = n^2(2\omega) - n^2(\omega) = [n(2\omega) + n(\omega)] \cdot [n(2\omega) - n(\omega)]. \tag{14}$$

Учитывая, что $(k_2 - 2k)/2 = \Delta n\omega/c$, получим из (13) следующее выражение для интенсивности второй гармоники:

$$I_2 \sim k_2^2 I_0^2 z_0^2 \left(\frac{\sin u}{u}\right)^2, \qquad u = \frac{\Delta n\omega z}{c}. \tag{15}$$

При выполнении условия фазового синхронизма $u \to 0$ для всех z отношение $(\sin u)/u$ принимает максимальное значение, равное 1. При этом произойдет пространственное накопление эффекта обмена энергией, а интенсивность второй гармоники будет пропорциональна квадрату толщины нелинейной среды. Конечно, ее энергия черпается из исходной волны, и формула (15) верна лишь для тех z, пока $I_2 \leq I_0$. В противном случае метод последовательных приближений, которым она получена, становится неприменимым, так как в нем интенсивность исходной волны полагается заданной и неизменной. Но вывод о том, что для эффективного преобразования энергии исходной волны в энергию второй гармоники необходимо выполнение условия фазового синхронизма, остается в силе.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В СПЕКТРАХ ЮПИТЕРА И САТУРНА

При наблюдениях очень узких перекрывающихся, часто не разрешенных спектральных линий, – получив несколько регистрограмм спектров и усреднив их, – мы будем наблюдать значимое возрастание отличия каждого отдельного измерения от его среднего значения. Это вызвано тем, что мы регистрируем колебательно-вращательные линии в довольно широких молекулярных полосах (например, полосы метана CH_4 в спектрах планет-гигантов), и в каждый следующий момент времени будут получены спектры вращательно-колебательных переходов между немного отличающимися расщепленными энергетическими уровнями. Причина этого в том, что полученный спектр атмосферных составляющих формируется на разных высотах при существенно отличающихся физических характеристиках атмосферы. А поскольку к тому же атмосфера очень динамичное образование с многокомпонентным химическим составом и довольно сложными молекулами, то колебательные и вращательные энергетические уровни представляют собой очень сильно переменное во времени явление. Таким образом, получив несколько планетных спектров с высоким отношением “сигнал/шум”, усреднив их и посчитав для каждого отклонение от среднего, мы должны наблюдать заметное возрастание величины отклонения в тех участках спектра, где есть молекулярные линии (даже не разрешенные). Поскольку планетная атмосфера облучается довольно сильным посторонним источником электромагнитных волн, каким является Солнце, то в спектрах планетных атмосфер возможно проявление нелинейных оптических эффектов взаимодействия солнечного электромагнитного излучения с веществом атмосферы планеты. А именно: 1) генерация второй гармоники, 2) вынужденное комбинационное рассеяние, 3) однородное и неоднородное уширение линий и т. п. Эффекты 2) и 3) на сегодня довольно хорошо известны [4, 6]. Эффект 1) хорошо изучен и разработан только для высококогерентного лазерного излучения, взаимодействующего с некоторыми кристаллами и с земной атмосферой [3, 7]. Наши предварительные исследования спектров Юпитера и Сатурна указывают на реальную возможность регистрации в спектральном диапазоне 350–500 нм вторых гармоник мощных полос поглощения метана и аммиака. Детали такого изучения будут подробно опубликованы позже.

[1] *Бутиков Е. И.* Оптика.–М.: Высшая школа, 1986.–512 с.

[2] *Делоне Н. Б., Крайнов В. П.* Основы нелинейной оптики атомарных газов.–М.: Наука, 1986.–181 с.

[3] *Зуев В. Е., Землянов А. А., Копытин Ю. Д.* Нелинейная оптика атмосферы.–Л.: Гидрометеоиздат, 1989.–256 с.

[4] *Мороженко А. В.* Комбинационное рассеяние в атмосферах планет-гигантов и оптические свойства атмосферного аэрозоля // Кинематика и физика небес. тел.–1997.–**13**, № 4.–С. 22–33.

[5] *Gubler U., Bosshard C.* Optical third-harmonic generation of fused silica in gas atmosphere: Absolute value of the third-order nonlinear optical susceptibility $\chi^{(3)}$ // Phys. Rev. B (Condensed Matter and Materials Physics).–2000.–**61**, N 16.–P. 10702–10710.

[6] *Karkoschka E.* Methane, Ammonia and Temperature Measurements of the Jovian Planets and Titan from CCD-Spectrophotometry // Icarus.–1998.–**133**, N 1.–P. 134–146.

[7] *Zuev V. E., Zemlianov A. A., Kopytin Yu. D., et al.* High-power laser radiation in atmospheric aerosols: Nonlinear optics of aerodispersed media.–Dordrecht: Reidel, 1985.–303 p.

МОДЕЛИ НИЗКОСКОРОСТНЫХ СБЛИЖЕНИЙ КОМЕТ С ЮПИТЕРОМ

Н. Ю. Емельяненко

Южно-Уральский университет
пр. Ленина, 78, Челябинск, Россия
e-mail: emel@termeh.susu.ac.ru

В рамках парной задачи двух тел (Солнце–Юпитер, Солнце–комета) моделируются низкоскоростные сближения короткопериодических комет и Юпитера. Предлагается кинематический механизм возникновения сближения, сопровождающегося известными особенностями. Рассматриваются модели низкоскоростных сближений, приводящие к кратным минимумам функции йовицентрического расстояния кометы и ее временному спутниковому захвату в смысле Эверхарта. Модельные кометы имеют на своих орбитах точки низкоскоростного касания с орбитой Юпитера, при прохождении которых оскулирующая орбита малого тела становится эллиптической. Выделены модели сближений, которые сопровождаются колебаниями йовицентрического расстояния, которые обычно называются кратными минимумами.

MODELS FOR LOW-VELOCITY ENCOUNTERS OF COMETS WITH JUPITER, by Emel'yanenko N. – Short-period comets such as Gehrels 3, Shoemaker-Levy 9, Helin-Roman-Crockett have low-velocity encounters with Jupiter (it is known that about 50 similar objects exist). For most of them this phenomenon is accompanied by the number of peculiarities. The most remarkable are temporary satellitic capture (TSC) and multiple minima (MM) of the jovicentric-distance function of comets. The evolution of many objects was studied in order to investigate this phenomenon.The detailed analysis of close encounters for observed comets has shown the importance of such orbit parameters as size, form and mutual location of a comet and Jupiter during the revolution of the comet. The kinematics of six models for low-velocity encounters was investigated. These models describe the mechanism of TSC and MM of observed comets. The region of orbits with peculiarities of close encounters is found. It is shown that observed comets are located in this region.

ВВЕДЕНИЕ

Около 50 наблюдаемых короткопериодических комет с высоким значением постоянной Тиссерана испытывают сближения с Юпитером, сопровождающиеся целым рядом особенностей. В течение нескольких лет или даже нескольких десятков лет комета находится вблизи Юпитера. Йовицентрическая траектория таких объектов описывает замысловатые петли относительно Юпитера, часто эти петли по форме напоминают спутниковые орбиты. Но наиболее интересными особенностями являются временный спутниковый захват (ВСЗ) в смысле Эверхарта (оскулирующая йовицентрическая орбита кометы становится эллиптической [3] и кратные минимумы (ММ) функции йовицентрического расстояния, установленные в работах Казимирчак-Полонской [4], Карузи, Валсекки [5], Емельяненко [1].

Для исследования этого феномена численным интегрированием уравнений движения малого тела получена эволюция орбит 57 наблюдаемых комет. Тщательный анализ обнаруженных тесных сближений с особенностями показал важность взаимного расположения кометы и Юпитера на периоде обращения, отмеченном минимумом, а также влияние размеров и формы орбиты кометы на появление той или иной особенности. В работе Емельяненко [3] рассмотрена кинематика сближения кометы и Юпитера. В этой работе в рамках парной задачи двух тел (Солнце – круговой Юпитер, Солнце – комета) на орбитах кометы и Юпитера вводятся точки низкоскоростного касания, в которых векторы гелиоцентрических скоростей кометы и Юпитера равны. Сами точки расположены на афелийной или перигелийной части орбиты и удалены не более чем на 1 а. е. от орбиты Юпитера по радиусу-вектору.

ЗАДАЧИ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная задача этой работы – показать возможность появления особенностей (ВСЗ и ММ), не связанных с гравитационным возмущением планеты, на примере моделей низкоскоростных сближений кометы и Юпитера.

Пусть круговая радиуса a_j орбита Юпитера и эллиптическая орбита кометы расположены в одной плоскости. Такое предположение вполне допустимо для исследованных комет (в работе Емельяненко [2] было показано, что их орбиты имеют стабильно низкий наклон на 800-летнем промежутке времени). Пусть a, b, e, q, Q – большая и малая полуоси, эксцентриситет, перигелийное и афелийное расстояния кометы, r – ее радиус-вектор, E, V – эксцентрическая и истинная аномалии, p – параметр эллиптической орбиты кометы, Δ_j^* – расстояние кометы от орбиты Юпитера по радиусу-вектору, Δ_j – йовицентрическое расстояние кометы, α – угол между направлением на комету и Юпитер в произвольный момент времени.

Введем на эллиптической орбите кометы опорные точки: Q, q, b, P, F (см. рисунок). Из сравнения величин гелиоцентрических скоростей кометы и Юпитера находим радиус-вектор точки низкоскоростного касания орбит (точки M):

$$r_M = \frac{2aa_j}{a + a_j}.$$

Рассмотрим шесть моделей низкоскоростных сближений. Совмещаем точки M и Q – получаем модель A_1; точки M и q – модель P_1; точки M и P – модели A_2 и P_2. Орбиты моделей A_3 и P_3 касаются орбиты Юпитера своими апсидальными точками (для них точки M расположены между соответствующей апсидальной и P точками).

Пусть в момент времени t_0 комета находится в верхней апсидальной точке и расположена на одном радиусе-векторе с Юпитером, угол $\alpha = 0$. Кинематика малого тела симметрична относительно начальной апсидальной точки. Для удобства рассмотрим движение кометы между апсидальными точками левой части орбиты (см. рисунок). В произвольный момент времены t угол α находим из законов Кеплера, записанных для кометы и Юпитера:

$$\alpha = (E \pm e \sin E) \left(\frac{a}{a_j}\right)^{3/2} - V.$$

Вычисляем угол α в опорных точках для всех эксцентриситетов каждой модели орбиты. Углы E и V определяем из уравнения траектории, записанного соответственно для E и V, и значений радиуса-вектора кометы в опорных точках. Линейной интерполяцией находим значение угла α между опорными точками, последовательно увеличивая истинную аномалию V кометы на 10° от 0° до 180°. Вычисляем радиус-вектор кометы и йовицентрическое расстояние для всех значений угла α, полученных выше, по формулам уравнения траектории и теореме косинусов. Строим графики Δ_j (вертикальная ось) против V (горизонтальная ось).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ. МОДЕЛЬ A_2

Исследования моделей по предложенной схеме показало, что все шесть моделей сближений допускают низкоскоростные касательные участки в области сближения кометы и Юпитера (радиус низкоскоростного сближения принимается равным 2 а. е.). Длительность ВСЗ обратно пропорциональна значению эксцентриситета орбиты кометы. Кратные минимумы функции йовицентрического расстояния обнаружены только у моделей A_2 и P_2.

Модель A_2 (невозмущенная орбита до и после сближения). Это кометы, орбиты которых удовлетворяют условию [3]

$$e = \sqrt{\frac{a_j - a}{a_j + a}}, \qquad 3.52 \le a \le 5.2043 \text{ а. е.}$$

В дальнейшем изложении все эти кометы называются кометами A_2. Для кометы A_2 выполнено равенство

$$SP = r_M = a(1 + e^2) = \frac{2aa_j}{a + a_j},$$

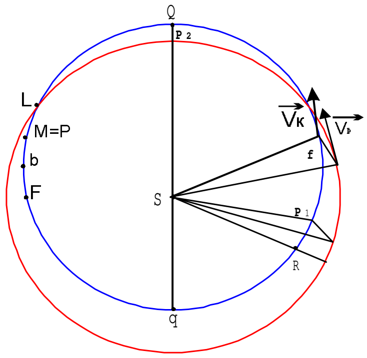
т. е. на орбите этой кометы имеются две точки M_1 и M_2 низкоскоростного касания орбит. M_1M_2 – хорда мнимого фокуса, перпендикулярная к линии апсид.

Основные сведения о комете A_2 приведены на рисунке.

В верхней левой части рисунка дана иллюстрация парной задачи двух тел: Солнце (точка S) – круговая орбита Юпитера; Солнце – эллиптическая орбита кометы A_2. На левую часть орбиты кометы нанесены опорные точки. На правой части орбиты схематично показаны четыре взаимных положения кометы и Юпитера: 1) комета находится в положении R, на одном радиусе-векторе с Юпитером; 2) комета проходит первый минимум ρ_1, находящийся на угловом расстоянии от точки R, не превышающем 10° (по истинной аномалии V); 3) комета удаляется от Юпитера на максимальное расстояние f (оно достигается в окрестности точки низкоскоростного касания орбит); 4) в точке афелия Q комета проходит второй минимум ρ_2. Для невозмущенной орбиты

Область ω.

Комета А2 (M≡P)



Орбита кометы А2 с наибольшим афелийным расстоянием
a=4,77 а.е.; e=0,2068

$$\alpha=(E+e\cdot\sin E)\cdot\left(\frac{1-e^2}{1+e^2}\right)^{\frac{3}{2}}-V \qquad e=\sqrt{\frac{a_{ю}-a}{a_{ю}+a}}$$

$$\alpha\geq 0$$

$$r=\frac{(1-e)^2}{1-e\cdot\cos V}\cdot a_{ю} \qquad b=\frac{(1-e^2)^{\frac{3}{2}}}{1+e^2}\cdot a_{ю}$$

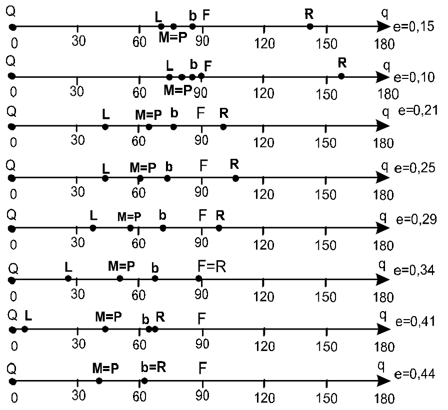
$$Q=\frac{1+e-e^2-e^3}{1+e^2}\cdot a_{ю} \qquad a=\frac{1-e^2}{1+e^2}\cdot a_{ю}$$

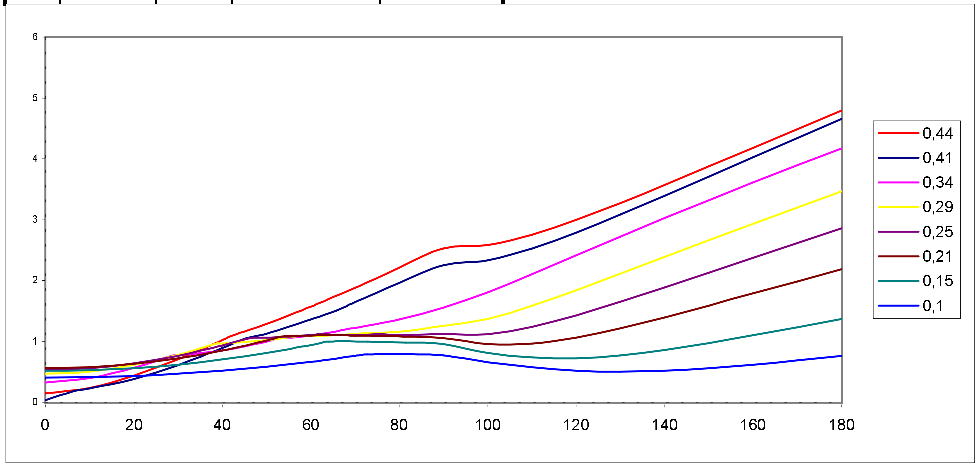
$$q=\frac{1-e-e^2+e^3}{1+e^2}\cdot a_{ю} \qquad p=\frac{(1-e^2)^2}{1+e^2}\,a_{ю}$$

$$\Delta^2_{ю}=4r\sin^2\frac{\alpha}{2}a_{ю}+(\Delta^*_{ю})^2$$

$$\alpha_Q=0 \qquad \alpha_R=0 \qquad \Delta^*_{ю}=\left|r-a_{ю}\right|$$

о.т	Cos V	Cos E	r, a.e.	$\Delta^*_{ю}$, à.å
Q	1	1	$\frac{(1-e^2)(1+e)}{1+e^2}a_{ю}$	$\frac{1-2e-e^2}{1+e^2}\cdot ea_{ю}$
L	$\frac{e(3-e^2)}{1+e^2}$	$\frac{2\cdot e}{1-e^2}$	$a_{ю}$	0
M=P	$\frac{2\cdot e}{1+e^2}$	e	$(1-e^2)\cdot a_{ю}$	$e^2a_{ю}$
b	e	0	$\frac{1-e^2}{1+e^2}\cdot a_{ю}$	$\frac{2}{1+e^2}e^2a_{ю}$
F	0	-e	$\frac{(1-e^2)^2}{1+e^2}\cdot a_{ю}$	$\frac{3-e^2}{1+e^2}e^2a_{ю}$
q	-1	-1	$\frac{(1-e)(1-e^2)}{1+e^2}\cdot a_{ю}$	$\frac{1+2e-e^2}{1+e^2}e\,a_{ю}$





кометы левая и правая части орбиты симметричны. Поэтому комета A_2 пройдет второй максимум f_2 в окрестности точки M, третий минимум ρ_3, симметричный первому минимуму и еще одну точку R, расположенную до перигелия.

Возмущения Юпитера приводят к трансформации орбиты реальной кометы в первом же минимуме, и картина симметрии нарушается. Но имеются сближения наблюдаемых комет с двумя-тремя минимумами функции йовицентрического расстояния, которые вполне укладываются в предложенную схему. Например, это сближение 1929–1945 гг. кометы Ашбрук–Джексон, сближение 1936–1946 гг. кометы Шайн–Шальдек.

В правой верхней части рисунка приводятся формулы для угла α и элементов, характеризующих размеры орбиты кометы A_2, выраженные через эксцентриситет e и радиус круговой орбиты

Юпитера a_j. Исследование функций $a = a(e)$, $Q = Q(e)$, $q = q(e)$, $b = b(e)$, $p = p(e)$ показало, что элементы орбиты a, b, q, p непрерывно убывают от значений, совпадающих с величиной a_j ($e = 0$), до значений, указанных для кометы A_2^{min} ($e = 0.44$). Элемент орбиты Q сначала возрастает до значения $Q = 5.76$ а. е. (точка афелия вышла за пределы орбиты Юпитера), а затем убывает до значения $Q = 5.06$ а. е. Элементы орбиты A_2^{min} и A_2^{max} (орбита кометы A_2 с наибольшим афелийным расстоянием) приводятся ниже:

A_2^{min}	A_2^{max}
$a = 3.52$ а. е.	$a = 4.77$ а. е.
$b = 3.16$ а. е.	$b = 4.67$ а. е.
$Q = 5.06$ а. е.	$Q = 5.76$ а. е.
$q = 1.98$ а. е.	$q = 3.79$ а. е.
$p = 2.84$ а. е.	$p = 4.56$ а. е.
$e = 0.44$	$e = 0.21$

В таблице отдельной рамочкой выделена формула йовицентрического расстояния как функция угла α и величины Δ_j^*. Эта формула помогает сделать предварительные заключения о возможности кратных минимумов (ММ) для каждой рассмотренной модели. Так, для кометы A_2 повышенный интерес вызывают точки R, Q ($\alpha = 0$), точка L ($\Delta_j^* = 0$).

В средней левой части рисунка приводится таблица опорных точек (О. Т.) на орбите кометы и значений косинусов углов V, E, радиусов-векторов и величины Δ_j^* в этих точках. Анализ последнего столбца таблицы приводит к выводу о возможности ММ у кометы A_2.

В средней правой части рисунка приводятся положения опорных точек на орбите кометы A_2 (спрямленной и вытянутой вдоль горизонтальной оси от афелия до перигелия) при различных значениях эксцентриситета. Напомним, что на левой части орбиты также находится точка R. Хорошо видно последовательное смещение всех опорных точек к афелию (естественно, кроме точки F). Точка R (а значит, первый и третий минимумы) быстро смещается влево от положения, весьма близкого к перигелию, до точки b.

В нижней части рисунка приводятся графики функций йовицентрического расстояния кометы A_2 на участке орбиты от афелия до перигелия: вертикальная ось – Δ_j, а. е., горизонтальная ось – V, градусы. Эксцентриситет увеличивается снизу вверх от значения $e = 0.1$ до $e = 0.44$. Комета A_2 имеет ММ, если эксцентриситет ее орбиты не превышает значения $e = 0.25$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере моделей низкоскоростных сближений кометы и Юпитера показана возможность появления временного спутникового захвата в смысле Эверхарта и кратных минимумов функции йовицентрического расстояния, не связанных с гравитационным возмущением планеты. Имеется хорошее согласие рассмотренных моделей и тесных сближений наблюдаемых комет с явлениями ВСЗ и ММ.

Работа поддержана грантом РФФИ 01-02-16006.

[1] *Емельяненко Н. Ю.* Тесные сближения комет с Юпитером // Комет. циркуляр.–1984.–№ 331.–С. 3–4.

[2] *Емельяненко Н. Ю.* Короткопериодические кометы с высоким значением постоянной Тиссерана. 1. Орбитальная эволюция // Астрон. вестн.–1997.–**31**.–С. 257–267.

[3] *Емельяненко Н. Ю.* Кинематика низкоскоростных сближений кометы с Юпитером // Кометы, астероиды, метеоры, метеориты, астроблемы, кратеры: Тр. первой междунар. конф. КАММАК 99.– Винница, 2000.–С. 35–40.

[4] *Казимирчак-Полонская Е. И.* Захват комет Юпитером и некоторые закономерности в вековой эволюции кометных орбит // Проблемы исслед. Вселенной. Астрометрия и небесная механика.–1978.– Вып. 7.–С. 340–383.

[5] *Carusi A., Valsecchi G. B.* Temporary Satellite Captyres of comets by Jupiter // Astron. and Astrophys.– 1981.–**94**.–P. 226–228.

[6] *Everhart E.* Horseshoe and Trojan orbits associated with Jupiter and Saturn // Astron. J.–1973.–**78**.– P. 316–328.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА КАМЕРЕ SBG АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ УРАЛЬСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Г. Т. Кайзер, Э. Д. Кузнецов, Г. С. Ромашин,
Д. В. Гламазда, Ю. З. Вибе, В. Э. Берланд, Г. П. Хремли

Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета
620083 Екатеринбург, Россия
e-mail: galina.kajzer@usu.ru, Eduard.Kuznetsov@usu.ru

В Астрономической обсерватории Уральского госуниверситета проводятся фотографические наблюдения геостационарных спутников (ГСС) на камере SBG ($F = 777$ мм, $d = 420$ мм) фирмы "Карл Цейс". Получено более 15 000 точных положений и около 1000 орбит ГСС, которые оформлены в виде электронных каталогов. Разработана методика отождествления орбит ГСС на различных интервалах времени и произведено отождествление ряда спутников, зарегистрированных во время обзорных наблюдений 1984–2002 гг. По результатам наблюдений на интервалах времени 7, 11 и 15 лет исследована эволюция орбит геостационарных спутников 85010B, 73013A и 85102A, для пассивных объектов определены либрационные параметры.

RESULTS OF THE OBSERVATIONS OF GEOSYNCHRONOUS SATELLITES WITH THE SBG CAMERA OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE URAL STATE UNIVERSITY, by Kaiser G. T., Kuznetsov E. D., Romashin G. S., Glamazda D. V., Wiebe J. Z., Berland V. E., Khremli G. P. – Photographic observations of geosynchronous satellites (GSS) have been made with the Zeiss SBG Camera ($F = 777$ mm, $d = 420$ mm) at the Kourovka Astronomical Observatory of the Ural State University. We have obtained more than 15000 exact positions and about 1000 orbits of GSS, which are formed as computer catalogues. A special technique for the identification of GSS orbits was developed for various time scales. The identification of various satellites recorded during the sky surveys in 1984–2002 was performed. From the observation data for time intervals of 7, 11 and 15 years the evolution of the orbits of geosynchronous satellites 85010B, 73013A and 85102A was investigated, for passive objects the libration parameters were determined.

ВВЕДЕНИЕ

В Астрономической обсерватории Уральского государственного университета (АО УрГУ) фотографические наблюдения геостационарных спутников (ГСС) проводятся по двум программам: регулярные наблюдения пассивных геосинхронных спутников для фундаментальных исследований и обзорные наблюдения геостационарной области для решения прикладных задач. Создано необходимое методическое и программное обеспечение для получения точных положений и орбит ГСС, разработана методика отождествления наблюдений и орбит ГСС на различных интервалах времени. В результате наблюдений получено более 15 000 точных положений различных ГСС и элементы орбит на 985 эпох, которые оформлены в виде электронных каталогов. Исследована эволюция орбит ГСС на интервалах времени до 12 лет, определены периоды и амплитуды либрационного движения пассивных спутников, уточнена долгота точки либрации.

В настоящей работе приводятся результаты анализа обзорных наблюдений и эволюция элементов орбит отдельных геосинхронных спутников, полученная на основе этого материала.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ГСС

Наблюдения ГСС в АО УрГУ в Коуровке проводятся на камере SBG фирмы "Карл Цейс", которая была введена в действие в 1974 году. Камера имеет четырехосную монтировку, оптику системы Шмидта с выравненным полем ($F = 777$ мм, $D = 420$ мм), позволяющую на пластинку размером 9×12 см фотографировать область неба $6.3° \times 8.2°$. Первоначально телескоп был предназначен в основном для наблюдений быстродвижущихся ИСЗ. За прошедшее время его инфраструктура претерпела ряд изменений. В частности, в связи с тем, что на камере наблюдаются преимущественно геостационарные спутники, а электронная регулирующая часть привода по 3-й оси устарела, был установлен привод пластиночной каретки на шаговом двигателе. Для регистрации моментов экспозиций звезд и спутников создана новая регистрирующая аппаратура, состоящая из двухканальных часов, программируемого таймера экспозиций и компьютера. Опорные частоты 10 кГц и 1 Гц поступают от стандарта частоты и времени Ч1-69 (рубидиевый атомный стандарт). Это позволило вести наблюдения в процессе диалога с компьютером. Для компенсации температурной расфокусировки оптической системы было создано полуавтоматическое устройство фокусирования с шаговым двигателем в качестве исполнительного механизма. Для управления процессом фотографирования, ведения журнала наблюдений, регистрации и частичной обработки результатов наблюдений создан комплекс программ, написанных на языке Turbo Pascal.

В настоящее время рассматривается вопрос о переводе SBG на новый светоприемник – камеру с ПЗС-матрицей.

АСТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Астрометрическая обработка выполняется с использованием программы обработки снимков СБГ, адаптированной для персонального компьютера. Программа позволяет обрабатывать как снимки с одиночными изображениями звезд, так и спутникограммы, а также выполняет перевод координат из системы B1950.0 в систему J2000.0 и обратно.

Алгоритм программы описан в работе [1] и предусматривает вычисление видимых координат опорных звезд с учетом их собственных движений и дифференциальной рефракции, редукция измеренных и тангенциальных координат осуществляется обобщенным методом Тернера с использованием линейной модели редукции и полного квадратичного полинома. Программа позволяет получать экваториальные топоцентрические координаты спутника в системе опорного каталога PPM. В координаты спутника вводятся поправки за годичную аберрацию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТ И ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ГСС

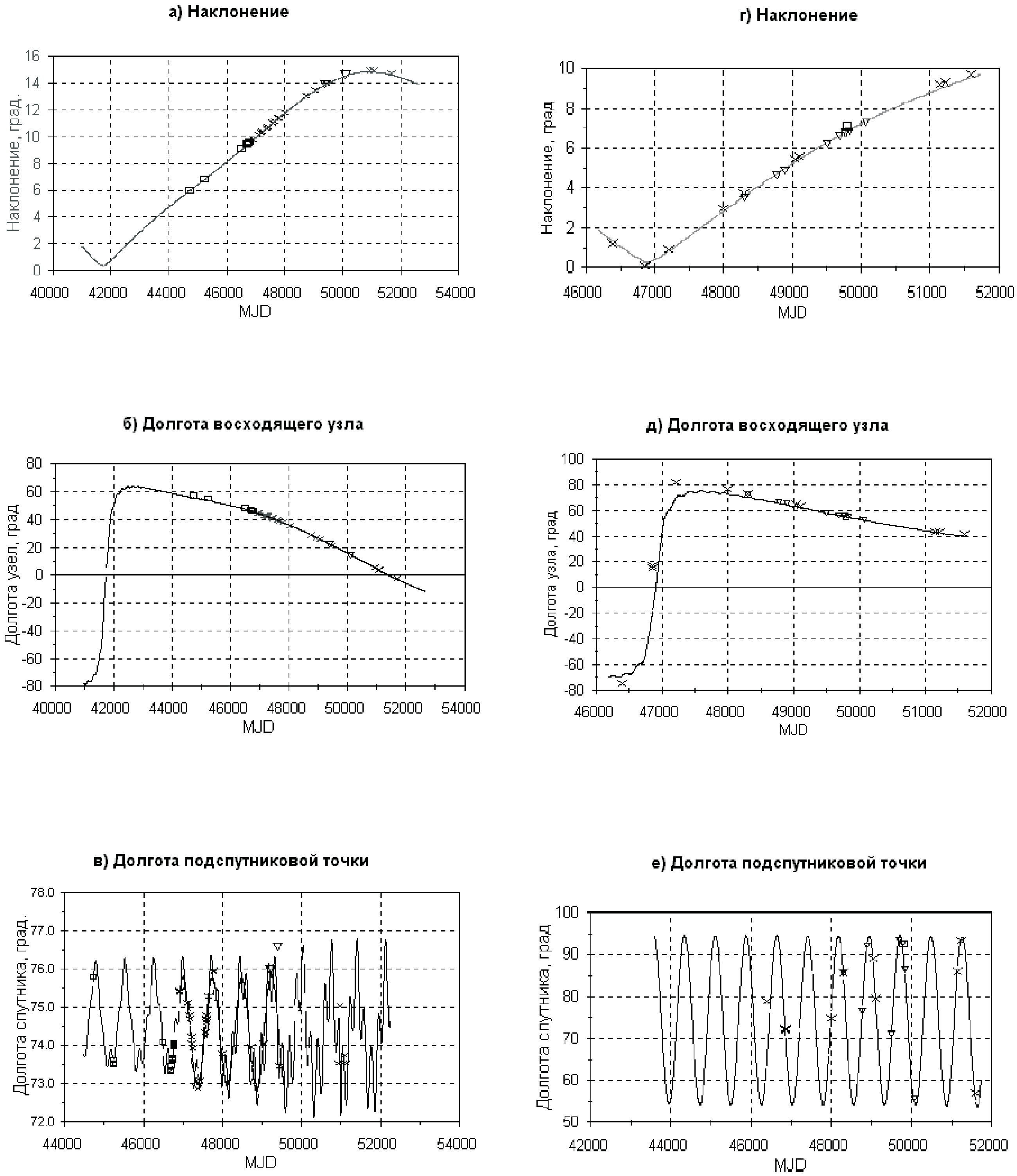
Элементы предварительных орбит ГСС определяются методом Лапласа с дифференциальной коррекцией Лейшнера. Отождествление наблюдений (сортировка по объектам) внутри одного сеанса осуществляется визуально и с помощью компьютерной программы, алгоритм которой предполагает сравнение элементов орбит (наклонения, долготы восходящего узла и долготы подспутниковой точки) [4]. Критерии отождествления выбираются по ошибкам определения элементов предварительных орбит [3] и ориентированы на точность определения положений ГСС, равную $1'' – 2''$.

Для отождествления спутников, зарегистрированных во время различных сеансов наблюдений, и их идентификации с объектами опорного каталога ГСС используется методика, изложенная в нашей работе [5]. Ее идея довольно проста. Считается, что две орбиты G1 и G2 относятся к одному объекту, если для каждого сравниваемого элемента выполняется условие

$$|O - C| \leq 3K,$$

где O – элемент орбиты G1, полученный по наблюдениям на момент T_j, C – элемент орбиты G2, полученный путем прогноза движения спутника от начальной эпохи на эпоху отождествления T_j. Под $3K$ понимается критерий отождествления, составляющими которого являются величины случайных ошибок определения соответствующих элементов орбит обеих групп (σ_O) и (σ_C). При этом сравниваются наклонение и долгота восходящего узла. Прогнозирование движения ГСС на исследуемом интервале осуществляется с помощью программы “Численная модель движения ИСЗ” [2].

По этой методике были частично обработаны обзорные наблюдения, выполненные в АО УрГУ в 1984–2002 гг. В результате получено 510 предварительных орбит и выявлено 4 пассивных ГСС, которые отождествляются в пределах указанного периода. Выделены наблюдения, определены и отождествлены орбиты ГСС 85102A (“Космос-1700”) и наблюдавшихся ранее спутников с условными номерами Sp1 и Sp3. Отождествление этих объектов выполнялось также со спутниками, зарегистрированными во время обзоров в Звенигородской АО [7]. С помощью Зонального каталога ГСС АФИ АН Казахстана [6] определены их международные номера: Sp1 – 85010B, Sp3 – 73013A.



Эволюция элементов ГСС. В первой колонке приведены графики (а, б, в), относящиеся к ГСС 73013А; во второй (г, д, е) – к ГСС 85102А. Наклонным крестом обозначены данные, полученные в АО УрГУ; прямоугольником – в Звенигородской АО; треугольником – в АФИ АН Казахстана; сплошной линией – результаты численного моделирования движения ГСС

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТЫ ГСС

В работе [5] приведены результаты исследования эволюции элементов орбиты ГСС Sp1 (85010B) и Sp3 (73013A) по наблюдениям, выполненным в АО УрГУ в период с 1987 по 1998 гг. Улучшенные элементы орбиты представлены результатами численного моделирования. В результате были определены период и амплитуда либрационного движения Sp3 (754.58 сут и 1.48° соответственно) и установлено также, что орбита Sp1 корректируется.

При выполнении настоящей работы эти результаты были дополнены элементами орбит, вычисленными по обзорным наблюдениям АО УрГУ, Звенигородской АО [7] и АФИ АН Казахстана [6]. Кроме того, по наблюдениям различных станций за период 1985–2002 гг. были получены эволюционные изменения элементов ГСС "Космос-1700" (85102A).

На рисунке приведены графики изменений наклонения, долготы восходящего узла и долготы подспутниковой точки спутников 73013A и 85102A, полученные по наблюдениям и путем численного моделирования движения ГСС. При моделировании за начальные параметры были приняты элементы, вычисленные по наблюдениям в АО УрГУ (ГСС 73013A) и АФИ АН Казахстана (85102A) [6].

По изменению долготы подспутниковой точки определено, что период либрационного движения "Космос-1700" составляет 775 дней, а амплитуда равняется примерно 20°, установлено также, что амплитуда либрации ГСС 73013A со временем увеличивается, ее максимальное значение достигает 2.35°.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что элементы орбит геосинхронных спутников, полученные по результатам наблюдений и путем моделирования движения ГСС на длительном интервале времени с помощью программы "Численная модель движения ИСЗ" [2], в основном хорошо согласуются между собой. Существенные расхождения в долготе восходящего узла ГСС 85102A вблизи эпохи $\mathrm{MJD} = 4700$ объясняются большими ошибками определения этого элемента при малых углах наклона орбиты спутника к экватору. Для получения более точных результатов в этом случае необходимо использование большого числа позиционных наблюдений.

Проведенное исследование показывает также, что результаты обзорных наблюдений области геостационарных спутников, полученные на различных обсерваториях, могут успешно использоваться для решения научных задач, в частности для исследования орбитального движения ГСС. В дальнейшем в АО УрГУ планируется изучение общих закономерностей эволюции орбит небесных тел на длительных интервалах времени с использованием этого материала и поиск условий перехода регулярного движения ИНТ в стохастическое.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра по фундаментальному естествознанию Министерства образования РФ (проект E00-11.0-33).

[1] *Василевский А. Е.* Алгоритм и программа астрометрической обработки снимков искусственных спутников Земли // Методы астрономо-геодезических исследований.–Свердловск: УрГУ, 1984.–С. 85–93.

[2] *Бордовицына Т. В., Шарковский Н. А., Яндульский Г. И. и др.* Численная модель движения ИСЗ // Наблюдения ИНТ.–М.: Астросовет АН СССР, 1988.–**84**, ч. 1.–С. 70–74.

[3] *Бордовицына Т. В., Кайзер Г. Т., Тэаро А. Р., Яндульский Г. И.* Численное прогнозирование движения геосинхронного спутника // Астрономия и геодезия.–1989.–Вып. **15**.–С. 105–121.

[4] *Кайзер Г. Т., Кузнецов Э. Д. и др.* Об отождествлении геостационарных спутников // Физика космоса: Тез. докл. и сообщ. студен. научн. конф.–Екатеринбург, 1995.–С. 23.

[5] *Кайзер Г. Т., Кузнецов Э. Д.* Численное моделирование долговременной эволюции орбит геосинхронных спутников по фотографическим наблюдениям // Вестник СПбГУ. Сер. 1.– 2000.–**2**, № 8.– С. 110–121.

[6] *Демченко Б. И., Диденко А. В., Усольцева Л. А. и др.* Зональный каталог геостационарных спутников.–Алматы: Гылым, 1996.–88 с.

[7] *Бахтигараев Н. С.* Фотографические наблюдения искусственных небесных тел и возможности их каталогизации // Проблема загрязнения космоса (Космический мусор).–М.: Космосинформ, 1993.– С. 47–58.

ПОДЗЕМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТЕНИ ЛУНЫ

С. Н. Карпов, В. Н. Закидышев

Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН
пос. Нейтрино, Эльбрусский р-н, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: karpov@neutr.novoch.ru

Выполнено наблюдение эффекта затенения космических лучей Луной по данным регистрации одиночных мюонов на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ). Обнаружен статистически значимый (3 сигма) дефицит интенсивности мюонов в направлении на Луну. Проведено сравнение результатов эксперимента и моделирования эффекта затенения для условий наблюдения на БПСТ. Получена экспериментальная оценка углового разрешения БПСТ при регистрации одиночных мюонов. Доказано отсутствие систематических погрешностей в астрономической привязке телескопа и в определении направлений прихода мюонов с точностью до углового разрешения БПСТ. Обоснована возможность изучения эволюции крупномасштабной структуры межпланетного магнитного поля по наблюдениям на БПСТ тени Солнца в потоке галактических космических лучей.

UNDERGROUND OBSERVATIONS OF THE MOON SHADOW, by Karpov S. N., Zakidyshev V. N. – Observations of the Moon's shadowing effect on the cosmic ray flux were made by the single muon registration at the Baksan Underground Scintillation Telescope (BUST). A statistically significant deficit of muons (3 st.dev.) was found in the Moon direction. The experimental results were compared with the shadowing effect simulation for the BUST observation conditions. An experimental estimate of the angular resolution of the BUST for the single muon detection was obtained. The absence of systematic errors in the absolute position of the telescope and in the muon arrival direction measurement was proved with an accuracy of the BUST angular resolution. It is substantiated that the evolution of the large-scale structure of the interplanetary magnetic field can be studied using the observations of the Sun shadow in the galactic cosmic ray flux.

ВВЕДЕНИЕ

В 1957 г. Кларк [1] предложил использовать эффект затенения Луной и Солнцем потока космических лучей (КЛ) для оценки углового разрешения детекторов КЛ и систематических ошибок при определении углов прихода частиц. Суть эффекта в следующем. Луну и Солнце можно рассматривать как экран в виде диска с угловым диаметром около 0.5° на пути почти изотропного потока КЛ. В результате поглощения Луной и Солнцем должно наблюдаться уменьшение интенсивности КЛ в направлении этих космических тел. Уменьшение будет тем больше, чем выше угловое разрешение детектора, вплоть до 100 % при разрешении много меньше 0.5°. Из-за искривления траекторий заряженных частиц в геомагнитном и межпланетном магнитном поле (ММП) положение тени Луны и Солнца будет сдвинуто относительно истинного положения светил. Величина сдвига будет тем больше, чем ниже энергия регистрируемых частиц.

Первое экспериментальное наблюдение эффекта было выполнено значительно позже [2]. Оно было связано с появлением детекторов широких атмосферных ливней (ШАЛ) с угловым разрешением $\leq 1^\circ$, ориентированных на поиск гамма-источников сверхвысоких энергий (10–100 ТэВ). Луна и Солнце являются, как бы антиисточниками КЛ, удобными для калибровки таких детекторов. На установке CYGNUS (ШАЛ, 50 ТэВ) впервые наблюдался суммарный эффект затенения КЛ Луной и Солнцем на уровне 4.9 стандартных отклонений (сигма) за 3.5 года наблюдений [2]. Было экспериментально подтверждено высокое угловое разрешение установки (0.75°), а также отсутствие систематических ошибок в определении направлений прихода ШАЛ. Несколько позже аналогичные результаты были получены группой CASA-MIA (ШАЛ, 100 ТэВ, 5σ, 1 год) [3] и HEGRA (ШАЛ, 50 ТэВ, 4σ, 1.7 года) [4]. Отклонение частиц с энергией 50 и 100 ТэВ от прямолинейного движения в геомагнитном поле пренебрежимо мало, а в ММП составляет 0.15° и 0.08° соответственно, что много меньше углового разрешения детекторов.

Позже группа TIBET (ШАЛ, 10 ТэВ) выполнила первое раздельное наблюдение тени Луны (7.1σ) и Солнца (4.6σ) [5]. Благодаря более низкой энергии регистрируемых частиц и лучшей статистической точности был обнаружен сдвиг центра тени Луны на 0.16° к западу от истинного положения тела. Кроме того, был обнаружен сдвиг тени Солнца на 0.7° к западу и на 0.4° к югу от положения светила. Это вполне согласуется с отклонением частиц в геомагнитном поле и ММП. Используя данные за два разных интервала наблюдения, впервые удалось наблюдать изменение положения тени Солнца на 0.34° вследствие изменения секторной структуры ММП.

Первое наблюдение тени Луны под землей по мюонам космических лучей выполнено на детекторе MACRO (мюоны, 10–15 ТэВ, 3.6σ, 7.4 года наблюдений) [6]. Мюоны, регистрируемые подземными детекторами, являются вторичными сильно проникающими частицами в составе ШАЛ. Первое наблюдение тени Солнца по мюонам выполнено на детекторе Soudan 2 [7].

Целью наблюдения тени Луны на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ) также является экспериментальная проверка углового разрешения и отсутствия систематических ошибок. В дальнейшем предполагается использовать тот же метод и полученные результаты при наблюдении тени Солнца. В последнем случае можно ожидать получения интересной физической информации о крупномасштабной структуре ММП. Энергия первичных протонов, порождающих регистрируемые БПСТ мюоны, значительно меньше, чем у всех вышеперечисленных детекторов, и составляет 1–2 ТэВ. В силу этого эффект отклонения их в ММП будет сильнее ($\approx 5°$). Это обстоятельство осложняет поиск тени Солнца, но по величине и направлению отклонения позволит изучать динамику ММП в течение солнечного цикла (величина и направление ММП, секторная структура на орбите Земли и т. п.).

БАКСАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ТЕЛЕСКОП (БПСТ)

Телескоп расположен на Северном Кавказе на высоте 1700 м над уровнем моря в скальной выработке под склоном горы Андырчи на глубине 850 м водного эквивалента (300 м скального грунта). Географические координаты: 43.28° с. ш. и 42.69° в. д. БПСТ представляет собой параллелепипед высотой 11 м и основанием 17×17 м^2. Все его грани сплошь покрыты стандартными счетчиками размером 70×70×30 см^3 на основе жидкого сцинтиллятора. Внутри телескопа имеется еще два горизонтальных слоя счетчиков, расположенные с интервалом по высоте 3.6 м. Общее число счетчиков – 3150. Более подробное описание телескопа можно найти в работе [8]. Ячеистая структура БПСТ позволяет восстанавливать траектории регистрируемых мюонов. Угловое разрешение определяется в первую очередь отношением размеров счетчика и телескопа, а также длиной траектории мюона. Величина углового разрешения определялась как моделированием методом Монте-Карло, так и экспериментально по разнице измеренных углов у параллельных двоек мюонов [9]. В обоих случаях угловое разрешение составило 1.6° для области углов, покрываемых траекторией Луны. Следует заметить, что оба метода не являются прямым измерением углового разрешения. Кроме того, наблюдение тени Луны – единственный прямой метод экспериментальной проверки возможных систематических погрешностей в астрономической привязке телескопа и в определении направлений прихода мюонов.

ОСОБЕННОСТИ ВЫХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ БПСТ

В выходном потоке информации с БПСТ отсутствуют данные по углам регистрации и времени прихода каждого мюона. Вместо записи каждого события набирается гистограмма темпа счета мюонов с различных направлений с длинной траектории в телескопе не меньше 7 м. Гистограмма накапливается в течение 15 минут, а затем записывается. Шаг гистограммы по зенитному углу – 2.5° и переменный шаг по азимуту от 3.75° вблизи горизонта до 360° в зените так, чтобы телесный угол ячеек гистограммы отличался не более чем в два раза. Отсутствие индивидуальных значений времени и углов регистрации мюонов является главной методической трудностью при изучении эффекта затенения космических лучей Луной. Из-за разбиения на фиксированные угловые ячейки большого размера величина эффекта определяется не столько угловым разрешением телескопа, сколько отношением величины телесного угла Ω_{Moon}, под которым видна Луна, к телесному углу Ω_{cell} ячейки гистограммы. Величина эффекта в среднем составляет

$$R(\%) = \Omega_{Moon} / \ \overline{\Omega_{cell}} = 2.5\,\%. \tag{1}$$

Угловое разрешение БПСТ еще уменьшает эту величину примерно на 30 %. Крупный шаг гистограммы, суммирование за 15 минут и движение Луны относительно ячеек гистограммы создают дополнительные ошибки в определении углов регистрации мюонов. Уменьшается также статистическая обеспеченность за счет ухода мюонов в соседние ячейки гистограммы. Луна за

15 минут "посещает" в среднем 2–3 ячейки гистограммы, что приводит к уменьшению статистической обеспеченности эффекта в среднем в 2.5 раза и, как следствие, к увеличению необходимого времени наблюдения. В результате перечисленных и ряда других трудностей время, необходимое для наблюдения эффекта на БПСТ на уровне трех стандартных отклонений, возрастает с 1.5–2 лет (по отдельным траекториям) до 10–12 лет набора информации (при использовании гистограммы).

Дискретная структура телескопа, составленного из крупных счетчиков, приводит к фиксированному дискретному набору направлений регистрации мюонов, а не к континууму направлений. Наложение гистограммы с переменным шагом на такой дискретный набор направлений приводит к появлению дополнительных угловых ошибок и к дальнейшему уменьшению статистической обеспеченности эффекта из-за систематической "перекачки" части мюонов в соседние ячейки гистограммы. Корректно учесть эти дополнительные угловые ошибки не представляется возможным.

МЕТОД АНАЛИЗА НАБЛЮДЕНИЙ

Для получения тени Луны были использованы данные регистрации одиночных мюонов на БПСТ за 1987–1998 гг. При этом гистограмма темпа счета мюонов преобразовывалась в квазиточечное пространственное распределение, где каждой точке приписывались значения зенитного и азимутального углов центра соответствующей ячейки гистограммы и количество отсчетов ячейки. Такое преобразование не увеличивает ошибку в определении угла прихода мюонов, возникающую после разбиения на ячейки гистограммы, $\sigma_a = 1.7^\circ$. Положение Луны вычислялось для середины 15-минутного интервала накопления гистограммы. В результате ошибка в определении углов, возникающая из-за движения Луны по ячейке за 15 минут, минимизируется и равна $\sigma_t = 1.05^\circ$. Положение Луны вычисляется в геоцентрической системе координат, а затем вводится поправка на параллакс для географических координат БПСТ. Ошибки вычислений при этом пренебрежимо малы по сравнению с точностью определения углов на БПСТ.

Прямоугольное окно размером $21^\circ \times 21^\circ$, разбитое на ячейки $1^\circ \times 1^\circ$, накладывается на полученное квазиточечное пространственное распределение мюонов так, чтобы Луна находилась в центре окна. Все точки распределения, попавшие в окно, суммируются в соответствующие ячейки размером $1^\circ \times 1^\circ$. Такая процедура повторяется для каждой 15-минутной гистограммы набора БПСТ. Для получения фона используется тот же самый метод, но берутся четыре окна $21^\circ \times 21^\circ$, центр каждого из которых ориентируется на положение, где Луна была 15 и 30 минут назад и где она будет через 15 и 30 минут соответственно. Впоследствии "фоновые окна" суммируются, и получается средняя величина фона для каждой ячейки $1^\circ \times 1^\circ$. Несмотря на то, что окна взаимно перекрываются, данные являются статистически независимыми, так как суммируются ячейки $1^\circ \times 1^\circ$, находящиеся в разных точках каждого окна.

В результате такой обработки за 12 календарных лет (1987–1998) использовано 10.6 лет "живого" времени набора и число мюонов, накопленных в каждом из пяти окон размером $21^\circ \times 21^\circ$, составляет $7.6 \cdot 10^6$. Остаточная неравномерность, связанная с тем, что разбиение окна меньше шага гистограммы, составляет при этом не более 0.1σ.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

После суммирования информации описанным выше методом, вычислялось отклонение от фона темпа счета каждой ячейки размером $1^\circ \times 1^\circ$ в стандартных отклонениях с использованием Ли–Ма-статистики [10]. Она позволяет для пуассоновского потока получать отклонения от фона в стандартных отклонениях σ распределения Гаусса.

Контурная карта окна $20^\circ \times 20^\circ$ представлена на рис. 1. Контурные линии нарисованы через 0.5σ. В центре окна, то есть в точке положения Луны, дефицит мюонов максимален, и отклонение от фона равно 3σ.

Эффект затенения был смоделирован с учетом условий наблюдения на БПСТ и с использованием того же алгоритма обработки, что и в эксперименте. Величина эффекта затенения задавалась с учетом только геометрических факторов и дискретной структуры выходной информации БПСТ. Такой подход умышленно не учитывает потерь сигнала из-за углового разрешения телескопа. Наблюдается неплохое согласие эксперимента и моделирования. Ширина экспериментально полученной тени Луны лишь незначительно превышает расчетную. Это подтверждает, что ошибка, вносимая использованием гистограммы, значительно превышает угловое разрешение телескопа.

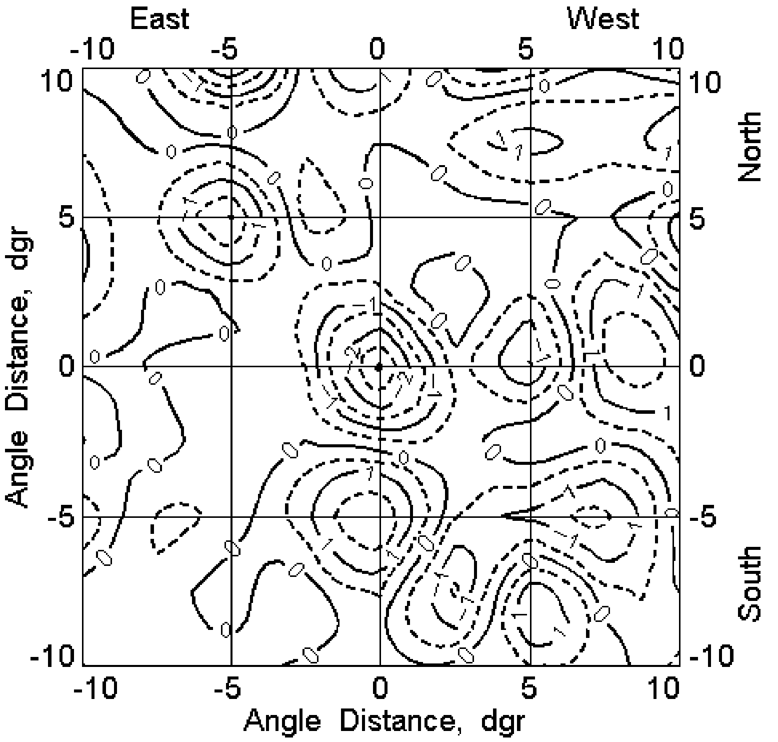


Рис. 1. Контурная карта отклонений темпа счета мюонов от фона. Отклонения выражены в сигмах распределения Гаусса. Луна находится в центре окна

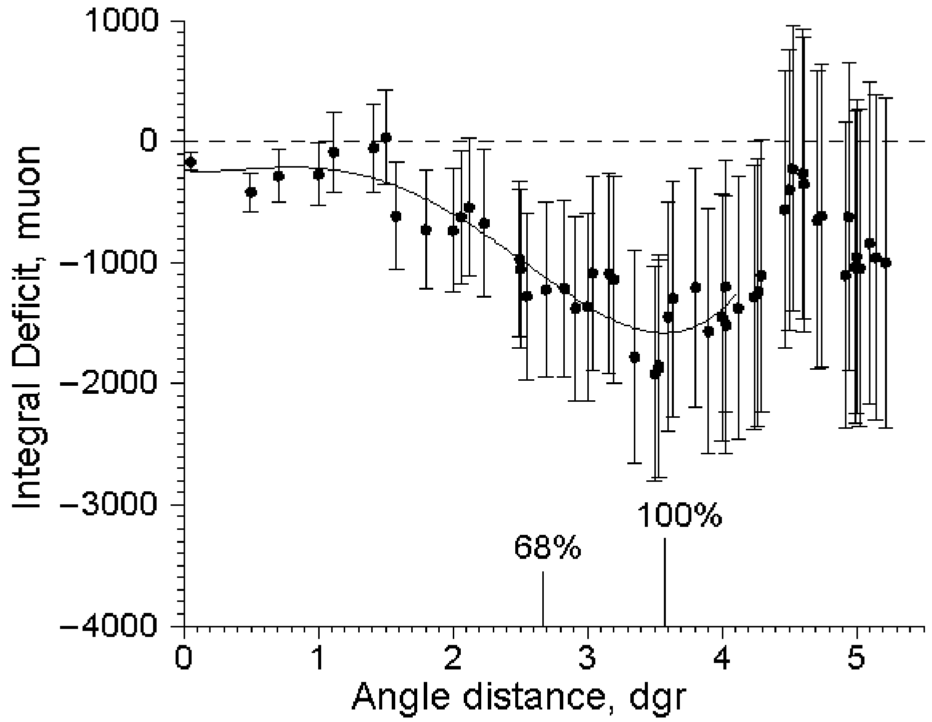


Рис. 2. Величина интегрального дефицита D мюонов в зависимости от углового расстояния R до центра Луны. В области радиусом 3.6° сосредоточено 100 % дефицита мюонов. 68 % дефицита наблюдается в области с радиусом 2.7°, что соответствует суммарной угловой ошибке телескопа и метода сбора и анализа информации

Процедура обработки была полностью повторена также для трех “ложных Лун”. А именно, анализировалась информация для точек, сдвинутых относительно истинной Луны по ее траектории на 12, 6 и +6 часов (антилунное направление и направления на восток и запад от Луны). Это необходимо для проверки того, что полученный дефицит мюонов не может быть имитирован достаточно сложным алгоритмом обработки или его интерференцией с дискретной структурой выходной информации БПСТ, и что результат не содержит систематических ошибок. Дефицит мюонов отсутствует в каждом из трех случаев, как и должно быть для чисто фоновых участков неба.

ОЦЕНКА УГЛОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ БПСТ

Для оценки углового разрешения БПСТ была получена функция интегрального дефицита D мюонов, представленная на рис. 2, в зависимости от углового расстояния до центра Луны. Для повышения точности оценки обработка данных была проведена с более мелким шагом разбиения по угловым координатам ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$). При этом не произошло качественных изменений величины эффекта и формы кривой дефицита, что говорит об устойчивости эффекта и метода обработки.

Как видно из рис. 2, интегральный дефицит D непрерывно увеличивается до 3.6° от центра Луны, а затем начинает уменьшаться. Это означает, что весь дефицит мюонов (100 %), связанный с затенением космических лучей Луной, сосредоточен в круге радиусом 3.6°. В круге радиусом 2.7° сосредоточено 68 % дефицита мюонов. Эта величина $\sigma_{res} = 2.7^\circ$ является суммарной ошибкой, включающей в себя угловое разрешение БПСТ, ошибки метода обработки и ошибки, связанные с использованием гистограммы. Вычтя ошибку, связанную с дискретной структурой по угловым координатам $\sigma_a = 1.7^\circ$, и ошибку, связанную с суммированием данных за 15 минут $\sigma_t = 1.05^\circ$, получим:

$$\sigma_{TEL} = \sqrt{\sigma_{res}^2 - \sigma_a^2 - \sigma_t^2} = 1.8^\circ. \tag{2}$$

Полученное значение не противоречит ранее сделанной расчетной оценке – 1.6° [9]. Небольшое отличие связано с тем, что не поддаются корректному учету ошибки, вызванные систематической “перекачкой” мюонов в соседние ячейки. Поэтому приведенная величина является экспериментальной верхней границей углового разрешения БПСТ по одиночной мюонной составляющей для зенитных углов в диапазоне 20° – 80° (полоса, покрываемая движением Луны в условиях наблюдения на БПСТ).

ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наблюдение статистически значимого эффекта затенения космических лучей Луной на БПСТ позволило экспериментально подтвердить расчетную величину углового разрешения телескопа $\sigma_{TEL} \leq 1.8^\circ$. Доказано отсутствие систематических ошибок в измерении направлений прихода мюонов на БПСТ и правильность астрономической привязки детектора. Это важно для совместной работы установок “Андырчи” и БПСТ по поиску локальных источников и изучению анизотропии и вариаций КЛ, а также для наблюдений на БПСТ тени Солнца.

Для наблюдения тени Солнца невозможно использовать уже накопленные данные за 1981–2000 гг. Из-за отклонения частиц в ММП тень Солнца будет смещена относительно самого Солнца на угол $\approx 5^\circ$ для энергий регистрации на БПСТ. Кроме того, ее положение изменяется в течение цикла активности, и за 10–12 лет сигнал распределится по широкой области с радиусом $\approx 5^\circ$, что не оставляет надежды выделить его из фона. Для выполнения таких наблюдений была изменена структура выходной информации БПСТ так, чтобы сохранялись данные о времени регистрации и углах прихода каждого мюона. Теперь наблюдение эффекта можно вести с угловым разрешением не хуже 1.8°, а время, необходимое для наблюдения эффекта значимостью 3σ, уменьшается до 1.5–2 лет набора информации. Это позволит наблюдать изменение положения тени Солнца в течение солнечного цикла активности, и тем самым наблюдать эволюцию крупномасштабной структуры ММП.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 01-02-16947.

[1] *Clark G. W.* Arrival directions of cosmic-ray air showers from the northern sky // Phys. Rev.–1957.–**108**.–P. 450–457.

[2] *Alexandreas D. E., Allen R. C., Berley D., et al.* Observation of shadowing of ultrahigh-energy cosmic rays by the Moon and the Sun // Phys. Rev. D.–1991.–**43**, N 5.–P. 1735–1738.

[3] *Fick B. E., Borione A., Covault C. E., et al.* UMC: A sensitive new detector for UHE gamma-ray astronomy // Proc. 22nd Intern. Cosmic Ray Conf.–1991.–**2**.–P. 728–731.

[4] *Karle A., Merck M., Bott-Bodenhausen M., et al.* Observation of the Shadowing of Cosmic Rays by the Moon and the Sun // Proc. 22nd Intern. Cosmic Ray Conf.–1991.–**4**.–P. 460–463.

[5] *Amenomori M., Cao Z., Ding L. K., et al.* Direct evidence of the interplanetary magnetic field effect on the cosmic-ray shadow by the Sun // Astroph. J.–1993.–**415**.–P. L147–L150.

[6] *Ambrosio M., Antolini R., Aramo C., et al.* Observation of the shadowing of cosmic rays by the Moon using a deep underground detector // Phys. Rev. D.–1998.–**59**, N 1.–P. 012003-1–012003-7.

[7] *Allison W. W. M. et al. (The Soudan 2 Collaboration)* Cosmic Ray Sun Shadow in Soudan 2 Underground Muon Flux // Proc. 26th Intern. Cosmic Ray Conf.–SH 3.2.41.–1999.

[8] *Alexeyev E. N., Alexeyenko V. V., Andreyev Yu. M., et al.* Baksan underground scintillation telescope // Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf.–1979.–**10**.–P. 276–281.

[9] *Андреев Ю. М., Гуренцов В. И., Когай И. М. и др.* Угловое разрешение Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа ИЯИ АН СССР.–М.: Препринт ИЯИ, 1989.

[10] *Li Ti-pei, Ma Yu-qian.* Analysis methods for results in gamma-ray astronomy // Astroph. J.–1983.–**272**.–P. 317–324.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВА ОБЪЕКТА НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ

Э. Д. Кузнецов

Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета
620083 Екатеринбург, Россия
e-mail: Eduard.Kuznetsov@usu.ru

Построена модель сферически-симметричного взрыва объекта на геостационарной орбите. С помощью численной модели движения ИСЗ исследована эволюция облака фрагментов. Определены максимальные и минимальные скорости фрагментов в облаке. Вычислены скорости соударения фрагментов с геостационарными спутниками и энергия соударений.

MODELLING THE EFFECTS OF OBJECT EXPLOSION ON A GEOSTATIONARY ORBIT, by Kuznetsov E. – The model of a spherically symmetric explosion of a geostationary object is constructed. The evolution of the cloud of fragments was investigated with the aid of the numerical model of artificial satellite motion. The maximal and minimal initial velocities are determined for fragments in the cloud. The collision velocities of the fragments with the satellites and the collision energy are calculated.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое увеличение группировки спутников на геостационарной орбите сопровождается бурным ростом числа частиц космического мусора в геостационарной области. Одним из источников частиц техногенного происхождения в области геостационарной орбиты являются взрывы космических объектов. К настоящему времени в геостационарной области зафиксировано несколько случайных взрывов спутников и верхних ступеней ракет-носителей [5, 6, 4]. В настоящей работе исследуются кинематические и динамические характеристики облака фрагментов, образующегося в результате взрыва малой мощности.

МОДЕЛЬ ВЗРЫВА

Модель сферически-симметричного взрыва объекта на геостационарной орбите строится на основе результатов, изложенных в работах [2, 3, 7].

Входные параметры модели: элементы орбиты спутника (a, e, i, Ω, g, M_0 – большая полуось, эксцентриситет, наклон, долгота восходящего узла, аргумент перицентра, средняя аномалия), масса спутника m_{sp}, отношение миделева сечения спутника A к его массе $\gamma = A/m_{sp}$, минимальная и максимальная массы фрагментов взрыва $m_{\min}$, $m_{\max}$.

Выходные параметры модели: число образовавшихся фрагментов N, для каждого фрагмента даются масса m_n, парусность γ_n, компоненты скорости v_{x_n}, v_{y_n}, v_{z_n}, элементы орбиты (a_n, e_n, i_n, Ω_n, g_n, M_{0_n}).

Моделирование разрушения спутника выполняется следующим образом.

По заданным элементам орбиты спутника вычисляются координаты x_0, y_0, z_0 точки взрыва и компоненты геоцентрической скорости спутника w_{0x}, w_{0y}, w_{0z} в момент взрыва.

По заданной минимальной массе фрагментов $m_{\min}$ вычисляется число образующихся частиц $N(m)$ с массами меньшими m

$$N(m) = \begin{cases} 1.17 \cdot 10^{-4} m_{sp} \exp(-0.02056\sqrt{m}), & m \geq 1936 \text{ г}, \\ 8.69 \cdot 10^{-4} m_{sp} \exp(-0.05756\sqrt{m}), & m < 1936 \text{ г}. \end{cases}$$

Здесь массы выражены в граммах.

Функция распределения масс фрагментов

$$F(m) = \frac{\eta^{1-s}}{\eta_{\max}^{1-s} - 1}, \quad \eta = \frac{m}{m_{\min}}, \quad s = 0.83.$$

Процедура генерации масс фрагментов по заданному граничному значению массы выполняется несколько раз. Сначала – для граничного значения 100 г, затем – на порядок меньшего и т. д., пока не будет достигнута масса $m_{\min}$, а суммарная масса фрагментов не станет равной m_{sp}.

Размеры фрагментов определяются по следующим формулам:

$$d = \begin{cases} \left(2.119 \cdot 10^{-2} m\right)^{1/2.26}, & m > m_0, \\ \left(7.076 \cdot 10^{-4} m\right)^{1/3}, & m \le m_0, \end{cases}$$

$$m_0 = 1403.193 \left(\frac{2c_1\rho}{3}\right)^{\frac{3}{c_2-1}}, \quad r = 2699 \text{ кг/м}^3, \quad c_1 = 0.01664, \quad c_2 = 0.26.$$

Здесь массы выражены в килограммах, размеры в метрах.

Площади миделевых сечений фрагментов находятся в предположении их сферической формы

$$A = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – диаметр частицы. Отсюда парусность

$$\gamma = \frac{A}{m}.$$

Среднее значение модуля приращения скорости $\overline{\Delta v}$ (в км/с) вычисляется по формуле

$$\lg \overline{\Delta v} = -0.676 \lg^2 d - 0.804 \lg d - 1.514,$$

Здесь d – в метрах.

Модуль приращения скорости Δv находится из треугольного распределения. Функция распределения имеет вид

$$G(x) = \begin{cases} \frac{5}{7}(5x^2 - x + 0.05), & 0.1 \le x \le 1, \\ \\ \frac{5}{27}(-15x^2 + 39x - 19.95), & 1 < x \le 1.3, \end{cases} \qquad x = \Delta v \left(\overline{\Delta v}\right)^{-1}.$$

Предполагается, что векторы скоростей ориентированы изотропно, и их направления задаются углами Φ и T, функции распределения которых определяются соотношениями

$$F(\Phi) = \frac{\Phi}{2\pi}, \quad F(T) = \frac{1 - \cos T}{2}.$$

Компоненты относительной скорости фрагмента в прямоугольной системе координат, связанной с родительским объектом, Δv_x, Δv_y, Δv_z определяются формулами:

$$\Delta v_x = \Delta v \cos T, \quad \Delta v_y = \Delta v \cos\Phi \sin T, \quad \Delta v_z = \Delta v \sin\Phi \sin T.$$

Компоненты геоцентрической скорости находятся следующим образом:

$$w_x = w_{0x} + \Delta v_x, \quad w_y = w_{0y} + \Delta v_y, \quad w_z = w_{0z} + \Delta v_z.$$

Элементы орбит фрагментов вычисляются по начальному положению x_0, y_0, z_0 и скорости w_x, w_y, w_z.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБЛАКА ФРАГМЕНТОВ

С помощью модели сферически-симметричного взрыва объекта на геостационарной орбите исследованы кинематические и динамические характеристики облака фрагментов. Начальные элементы орбиты взрывающегося объекта были выбраны следующими: большая полуось – 40 000 км, эксцентриситет – 0, наклон – 0°, 10°, 20°. Входные параметры модели варьировались в следующих пределах: начальная масса объекта – 1000, 2000 кг, минимально возможная масса фрагментов – 1 г.

Рассматривались два типа взрывов малой мощности. При взрывах первого типа образуется один фрагмент большой массы $0.2 - 0.3\,m_{sp}$ и небольшое количество фрагментов (от 9 до 26) малой массы. Взрывы второго типа дают бо́льшее число фрагментов (от 230 до 310), причем масса самого крупного фрагмента не превосходит $0.02\,m_{sp}$. В табл. 1 приведены основные параметры фрагментов, образующихся в результате взрывов обоих типов. Максимальные скорости соответствуют частицам с минимальными массами.

Таблица 1. Параметры фрагментов взрыва

Название	Взрыв первого типа	Взрыв второго типа
Минимальная масса фрагментов, г	100 – 700	100 – 110
Диаметры фрагментов, м	0.07 – 0.9	0.07 – 3
Отношение миделева сечения к массе, $м^2/кг$	0.13 – 0.33	0.17 – 0.33
Начальная скорость, м/с	3 – 60	4 – 69

С помощью численной модели движения ИСЗ [1] для 23 модельных взрывов проведено моделирование движения фрагментов взрыва и 48 геостационарных объектов (большая полуось – 42 165 км; эксцентриситет – 0, 0.01; наклон – 0°, 15°; долгота восходящего узла – 0°, 250°; аргумент перицентра – 0°, 270°; средняя аномалия – 0°; масса – 500, 1000, 1500 кг) на интервале времени 100 сут.

Результаты моделирования показывают, что скорость соударения существенно зависит от взаимного наклона орбит I фрагмента и геостационарного спутника. В табл. 2 приведены максимальные значения скорости соударения $V_{\max}$ и соответствующие им массы ударника m_{lim} в зависимости от угла взаимного наклона орбит I для геостационарного спутника с массой 1500 кг. В этом случае максимальные изменения большой полуоси Δa геостационарного спутника составляют 400 км. Масса m_{lim} соответствует максимальной массе ударника, при которой столкновение не является катастрофическим. В случае, если удельная энергия S, приходящаяся на единицу массы спутника, превышает 45 кДж/кг, столкновение считается катастрофическим, то есть ведет к разрушению спутника [7].

Таблица 2. Зависимость максимальных значений скорости соударения $V_{\max}$ и соответствующих им масс ударника m_{lim} от угла I взаимного наклона орбит для геостационарного спутника с массой 1500 кг

I	$V_{\max}$, м/с	m_{lim}, кг
15°	800	200
25°	1330	70
35°	1850	30

Таким образом, соударения геостационарных объектов с фрагментами, образовавшимися в результате взрыва малой мощности, как правило, не приводят к разрушению объектов. В случае взрывов первого типа возможно образование небольшого числа фрагментов фрагментов, столкновение с которыми может иметь катастрофические последствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование кинематических и динамических свойств облака фрагментов, образующегося при взрыве космического объекта, показало, что число фрагментов и их массы могут изменяться в широком диапазоне. Несмотря на то, что начальные приращения скорости фрагментов при взрыве малой мощности не превосходят нескольких десятков м/с, скорости соударения с объектами на орбитах с большими взаимными наклонами могут превышать 1 км/с. В некоторых случаях соударения с массивными фрагментами могут приводить к катастрофическим последствиям.

Работа выполнена при поддержке Министерства промышленности, науки и технологий Российской Федерации (Контракт № 40.022.1.1.1108).

[1] *Бордовицына Т. В., Шарковский Н. А., Яндульский Г. И. и др.* Численная модель движения ИСЗ // Наблюдения искусственных небес. тел.–1988.–**84**, ч. 1.–С. 70–74.

[2] *Бордовицына Т. В., Дружинина И. В.* Математическое моделирование динамических параметров потока частиц, образовавшихся в результате распада космического аппарата на околоземной орбите // Околоземная астрономия.–М.: Космосинформ, 1998.–С. 102–117.

[3] *Бордовицына Т. В., Дружинина И. В.* Комплекс программ для определения динамических параметров потока частиц, образовавшихся в результате распада объекта на орбите // Астрономия и геодезия.–1998.–**16**.–С. 58–67.

[4] *Вершков А. Н., Григорьев К. В., Киладзе Р. И., Сочилина А. С.* Моделирование взрывов на геостационарной орбите и анализ орбитальных элементов // Околоземная астрономия XXI века.–М.: ГЕОС, 2001.–С. 107–116.

[5] *Касименко Т. В., Микиша А. М., Рыхлова Л. В., Смирнов М. А.* Взрывы на геостационарной орбите // Столкновения в околоземном пространстве.–М.: Космосинформ, 1995.–С. 159–168.

[6] *Смирнов М. А., Микиша А. М., Касименко Т. В., Рыхлова Л. В.* Космический мусор и взрывы на околоземных орбитах // Околоземная астрономия XXI века.–М.: ГЕОС, 2001.–С. 98–106.

[7] *Pardini C., Anselmo L., Rossi A., et al.* AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Monterey, CA, USA, Feb. 9–11, 1998 // http://apollo.cnuce.cnr.it/~rossi/publications/codrm97/AAS98-173.html.

УТОЧНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВТОРОЙ СЕКТОРИАЛЬНОЙ ГАРМОНИКИ ГЕОПОТЕНЦИАЛА ПО ПОЗИЦИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ГЕОСИНХРОННЫХ СПУТНИКОВ

Э. Д. Кузнецов, Г. Т. Кайзер

Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета
620083 Екатеринбург, Россия
e-mail: Eduard.Kuznetsov@usu.ru, Galina.Kajzer@usu.ru

Работа посвящена уточнению коэффициентов C_{22}, S_{22} второй секториальной гармоники геопотенциала по результатам позиционных наблюдений геосинхронный спутников в Коуровской астрономической обсерватории. Определены поправки ΔC_{22}, ΔS_{22} в коэффициенты C_{22}, S_{22} для модели геопотенциала JGM-3: $\Delta C_{22} = (-2.6 \pm 1.4) \cdot 10^{-10}$, $\Delta S_{22} = (-3.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-10}$.

DETERMINATION OF THE SECOND SECTORIAL HARMONIC PARAMETERS OF THE GEOPOTENTIAL USING THE POSITIONAL OBSERVATIONS OF THE GEOSYNCHRONOUS SATELLITES, by Kuznetsov E., Kaiser G. – The paper is concerned with the determination of the second sectorial harmonic parameters of geopotential using the positional observations of the geosynchronous satellites at the Kourovka Astronomical Observatory. The calculated corrections ΔC_{22} and ΔS_{22} for the geopotential model JGM-3 are equal to $\Delta C_{22} = (-2.6 \pm 1.4) \cdot 10^{-10}$, $\Delta S_{22} = (-3.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-10}$.

ВВЕДЕНИЕ

Есть несколько подходов к уточнению коэффициентов второй секториальной гармоники гравитационного поля Земли [2, 7, 3, 8, 5, 4]. Большинство методов основано на использовании наблюдений геосинхронных спутников. В настоящей работе выполнена модификация алгоритма [6], проведено его тестирование, получены оценки поправок ΔC_{22}, ΔS_{22} коэффициентов C_{22}, S_{22} второй секториальной гармоники для модели геопотенциала JGM-3 по результатам позиционных наблюдений геосинхронного спутника 1985-102A "Космос-1700" в Астрономической обсерватории Уральского государственного университета (АО УрГУ). Для уточнения коэффициентов также использовались наборы элементов орбит спутника "Космос-1700", полученные Группой орбитальной информации НАСА.

РЕЗУЛЬТАТЫ УТОЧНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Уточнение коэффициентов гармоник основано на анализе улучшенных элементов орбит геосинхронных спутников. Условные уравнения для нахождения поправок ΔC_{22}, ΔS_{22} коэффициентов второй секториальной гармоники C_{22}, S_{22} запишем в следующем виде

$$(O - C) = \Delta T_O - \Delta T_C = \frac{\partial \Delta T}{\partial C_{22}} \Delta C_{22} + \frac{\partial \Delta T}{\partial S_{22}} \Delta S_{22}.$$

Здесь ΔT – интервал времени между прохождениями спутником точек с долготами λ_1 и λ_2; ΔT_O, ΔT_C – интервалы времени, полученные из наблюдений и вычислений соответственно.

Прогнозирование движения геосинхронного спутника выполняем с помощью численной модели движения ИСЗ [1], разработанной в НИИ ПММ при ТГУ. В модель сил были включены следующие возмущающие факторы: модель гравитационного поля Земли JGM-3 до 20 порядка и степени, притяжение Луны и Солнца, световое давление, лунно-солнечные приливы. Частные производные $\partial \Delta T / \partial C_{22}$, $\partial \Delta T / \partial S_{22}$ вычисляются численно методом вариаций.

Для определения поправок ΔC_{22}, ΔS_{22} использовались наблюдения геосинхронного спутника 1985-102A "Космос-1700", выполненные в Коуровской астрономической обсерватории. 37 наборов улучшенных элементов орбит были распределены на интервале 21.02.1993 – 14.04.2002. Также использовались данные Группы орбитальной информации НАСА об элементах орбиты для объекта

"Космос-1700" на этом же интервале. Система условных уравнений решалась методом наименьших квадратов. Получены следующие оценки поправок ΔC_{22} и ΔS_{22} для модели геопотенциала JGM-3:

$$\Delta C_{22} = (-2.6 \pm 1.4) \cdot 10^{-10}, \qquad \Delta S_{22} = (-3.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-10}.$$

Относительная погрешность поправок коэффициентов

$$\left| \frac{\Delta C_{22}}{C_{22}} \right| = 1.1 \cdot 10^{-4}, \qquad \left| \frac{\Delta S_{22}}{S_{22}} \right| = 2.2 \cdot 10^{-4}$$

на порядок превышает соответствующие относительные ошибки $1.5 \cdot 10^{-5}$ и $2.6 \cdot 10^{-5}$ определения коэффициентов C_{22} и S_{22} в модели геопотенциала JGM-3. Можно дать следующие оценки коэффициентов второй секториальной гармоники

$$C_{22} = (2.43900 \pm 0.00014) \cdot 10^{-6}, \qquad S_{22} = (-1.40058 \pm 0.00009) \cdot 10^{-6}.$$

Результаты показывают, что формальные ошибки определения коэффициентов C_{22} и S_{22} резонансных гармоник геопотенциала можно улучшить на порядок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтверждает возможность уточнения коэффициентов второй секториальной гармоники по результатам позиционных наблюдений геосинхронных спутников, проводимых в Коуровской астрономической обсерватории УрГУ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 00-02-16226).

[1] *Бордовицына Т. В., Шарковский Н. А., Яндульский Г. И. и др.* Численная модель движения ИСЗ // Наблюдения искусственных небес. тел.–1988.–**84**, ч. 1.–С. 70–74.

[2] *Anselmo L., Bertotti B., Farinella P., et al.* High precision tracking of synchronous satellites for geophysical purposes // Comp. Study Planets: Proc. NATO Adv. Study Inst., Vulcano, Sept. 14–25, 1981.–Dordrecht e.a., 1982.–P. 195–202.

[3] *Catalano S., McCrosky R., Milani A., Nobili A. M.* Optical tracking of synchronous Earth's satel-lites for geophysical purposes // J. Geophys. Res.–1983.–**88**.–P. 669–676.

[4] *Hugentobler U., Schildknecht T., Beutler G.* Determination of resonanse terms using optical observations of two Meteosat satellites // Dynamics and Astrometry of Natural and Artificial Celestial Bodies: Proc. IAU Coll. 165, Poznan, Poland, July 1–5, 1996.–Kluwer Acad. Publ., 1997.–P. 355–360.

[5] *Klokocnik J., Kostelecky J.* Earth gravity field and high satellite orbits // Bull. Astron. Inst. Czechosl.–1987.–**38**.–P. 334–344.

[6] *Kuznetsov E. D., Kaiser G. T.* Determination of second sectoral harmonic parameters of the geopotential using the improved orbit elements of geosynchronous satellites // AstroKazan–2001: Proc. Intern. Conf., Sept. 24–29, 2001.–Kazan State University: ДАС, 2001.–P. 194–196.

[7] *Nobili A. M.* An international compaign for optical observations satellites (COGEOS). Scientific aims and organization // CSTG Bulletin.–1982.–**9**.–P. 19–30.

[8] *Sochilina A. S.* The use of geosynchronous satellites for determining parameters of the geopotential // Наблюдения искусственных спутников Земли.–1984.–**23**.–P. 211–231.

Workshop A4

The Sun

Convener: T. Pinter

Editor: R. Kostik

POLARIZATION MEASUREMENTS IN THE LINE OF Fe XIV 530.3 nm DURING THE TOTAL SOLAR ECLIPSE ON JUNE 21, 2001

T. Pintér[1], **M. Rybanský**[2]

[1] *Slovak Central Observatory, P.O.Box 42, 94701 Hurbanovo, Slovak Republic*
e-mail: pinter@suh.sk

[2] *Astronomical Institute, Slovak Academy of Sciences*
SK-05960 Tatranská Lomnica, Slovak Republic

ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛИНИИ Fe XIV 530.3 нм ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 21 ИЮНЯ 2001 г., Пинтер Т., Рыбански М. – Выполнены измерения степени и направления поляризации коронарной линии поглощения 530.3 нм во время полного солнечного затмения 21 июня 2001 г. Для наблюдений были использованы 180/1700-мм телескоп, узкополосный фильтр для линии 530.3 нм, поляризационный фильтр в трех позициях и камера. Степень поляризации составляла 0 – 0.24, а направления поляризации были преимущественно радиальные.

The measurements of the degree and the direction of polarization of the 530.3 nm coronal emission line during the total solar eclipse on June 21, 2001 are described. We used for observation a telescope of 180/1700 mm, a narrow-band filter for the line of 530.3 nm, a polarizing filter in three positions, and a photographic camera. The degree of polarization was between 0 and 0.24 and the directions of polarization were mostly radial.

INTRODUCTION

The majority of the scientific community, engaged in the research of the solar corona, is convinced that motions in the corona are conditioned and controlled by an interaction of the magnetic field and the plasma. There is a problem of the interpretation of observations because it is very difficult to determine the size and the direction of the magnetic induction in the corona. The measurement of the linear polarization in some coronal emission lines provides a possibility at least to estimate the direction of polarization [5]. According to some theoretical works (see, *e.g.*, [2]), the degree of polarization should be largest for the lines of Fe XIII and Ca XV ions. Unfortunately, the Ca XV lines occur sporadically during periods of enhanced solar activity, and Fe XIII lines are outside the visual spectrum and, for their detection, a better technical equipment would be needed, usually not available to us. The most of eclipse measurements of the polarization are used the brightest emission coronal line, the 530.3 nm of Fe XIV. Theoretically, according to the paper cited the degree of polarization might reach the value of 40 % in this investigation. We could then determine quite reliably the direction of the polarizing plane, which determines the direction of magnetic lines of force as well.

The results of measurements carried out so far are controversial. The latest and most complete of uncertainties was described by Badalyan [1].

An attempt to determine the polarization in the green corona during the total solar eclipse on June 21, 2001, using a photographic method and preliminary results of the measurements of images is described in this contribution.

THE SITE, INSTRUMENTS AND OBSERVATION

The observational site was located in the area of the Petrol Institute near the city of Sumbe in Angola. The geographical coordinates were $11^\circ\,07'\,29''$ S and $13^\circ\,55'\,52''$ E. The second and the third contacts occurred at $12^h\,36^m\,34^s$ UT and $12^h\,41^m\,10^s$ UT, respectively. An objective with D/F of 120/1500 mm connected with a camera PENTACON SIX 6×6 cm was used for observation. Images were photographed on the film ILFORD HPS PLUS. Thermostated filter for the line of 530.3 nm with $FWHM$ of 0.15 nm and a polarizing filter with an option to adjust the polarizing plane in three positions with a gap of 60° was mounted in front of the camera. Fig. 1 shows the characteristics of the filter.

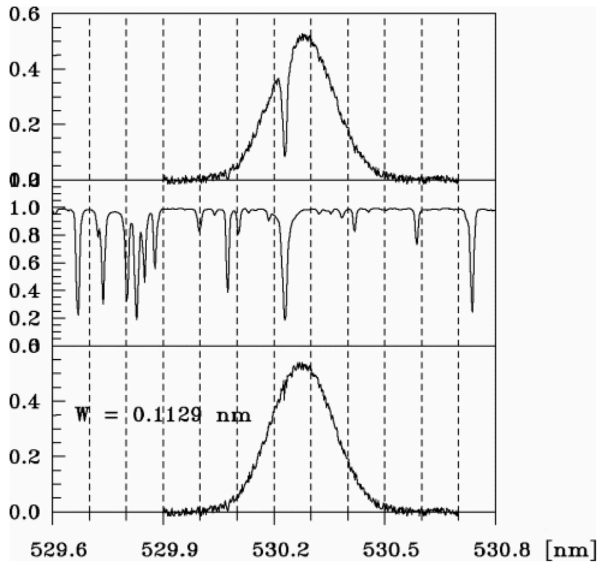


Figure 1. Characteristics of the narrow-band filter

The polarizing filter was tested using a polarizing analyzer. We succeeded in performing three non-complete series of images with the exposure time of 10 s for each position of the filter. The calibration was done to the centre of the solar disc using a neutral filter and an aperture diaphragm with various diameters. The technical breakdown of the eyepiece part of the telescope immediately before the eclipse made it impossible to focus the camera precisely. That is why the pictures obtained have a limited resolution. According to our estimation it is $30''$ and, therefore, an adequate measuring slit was used in the photometry of the film.

MEASUREMENT AND CALCULATION METHODS

The frames obtained were measured using a self-recording digital microphotometer. The width of the measuring slit was 3×10 mm, which by a twenty-fold magnification, corresponds to 0.15×0.5 mm on the film. The gradation curve was constructed according to [6] using an equation in the form: $I = a(T_0/T - 1)^{1/3}$, where T_0 is the transmittance at non-exposed position of the film and T is transmittance at the measured position. The constant a equals of 3.024 and the intensities I are estimated in millionths of the intensity of the centre of the solar disc in the corresponding position in the spectrum.

Fig. 2 contains resultant intensities, reduced by a contribution of K + F corona.

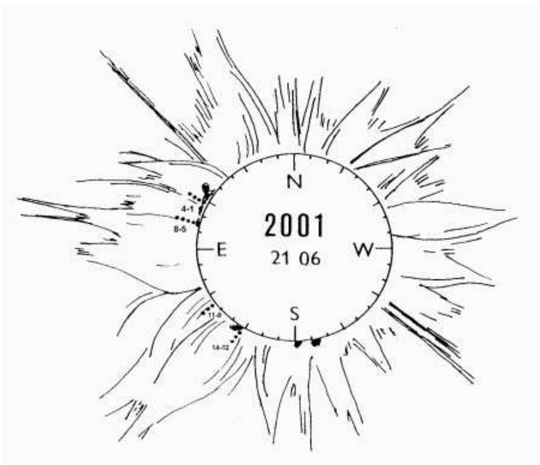


Figure 2. Structure of the solar corona on June 21, 2001

The results of measurement of polarization in the selected points. Here ρ is a distance from the centre of the solar disc; φ is a positional angle where the polarization was measured; I_{K+F} means the intensity of the white-light corona; I_1, I_2 and I_3 are intensities of the corona in three positions of the polarizing filter; I is a sum of these intensities; p[%] is the degree of polarization and $\varphi\ p_{max}$ is a positional angle where the polarization was maximal

N	ρ	φ	I_{K+F}	I_1	I_2	I_3	I	p, %	$\varphi\ p_{max}$
1	1.074	62.4°	1.40	7.0	11.3	14.7	33.0	41	331.5°
2	1.124	62.5	0.55	11.3	11.0	13.4	35.8	13	296.3
3	1.152	62.8	0.25	9.6	12.7	12.0	34.3	16	351.4
4	1.247	61.5	0.13	8.3	8.3	6.1	22.6	20	303.7
5	1.107	73.5	0.15	9.4	13.8	13.0	36.3	23	349.8
6	1.127	73.6	0.81	12.7	13.4	13.0	39.1	3	0.9
7	1.155	73.6	0.55	11.3	12.0	12.3	35.6	5	334.9
8	1.214	73.7	1.40	10.4	11.3	8.9	30.7	14	271.1
9	1.118	126.9	0.40	6.5	7.2	5.5	19.2	15	267.1
10	1.159	126.6	0.15	6.3	6.5	5.2	18.0	14	296.2
11	1.198	125.7	0.12	5.8	3.4	2.4	11.5	53	336.4
12	1.125	148.3	0.32	6.2	6.5	7.5	20.2	12	316.9
13	1.154	148.2	0.41	5.3	7.0	6.5	18.8	16	353.1
14	1.192	148.3	0.10	3.3	4.3	4.3	11.9	17	345.0

The intensities of the K + F corona were obtained from the photographic photometry of another experiment. In the process of reduction, the polarization of this component of the coronal emission according to tables of [3] for the corresponding inclination of the polarizing plane of the filter was considered. The direction of the polarization of the K corona are assumed to be tangential, F corona contributing to the total intensity as it follows from the tables [3], the radiation being non-polarized. Consequently, we only calculate pure radiation of the emission corona of 530.3 nm. The data were averaged before calculation of the degree and the direction of polarization so as to have only one value for a square of $30'' \times 30''$. The polarization was estimated only for the intensities exceeding the value of $3 \cdot 10^{-7}$ of the intensity of the centre of the solar disc, because, according to [4], the accuracy of the estimation of the polarization depends on the photometric precision and the respective value is a limit for reliability. The degree of polarization was determined according to the formula:

$$p = 2\frac{\sqrt{(I_1 - I_2)I_1 + (I_2 - I_3)I_2 + (I_3 - I_1)I_3}}{I_1 + I_2 + I_3}, \qquad (1)$$

and the direction of the polarizing plane according to the formula:

$$\tan 2\alpha = \sqrt{3}\frac{I_2 - I_1}{2I_1 - I_2 - I_3}. \qquad (2)$$

The results listed in Table show that the degree of polarization varies between 3 and 53 %.

[1] *Badalyan O. G.* Some comments on the direction of polarization in the coronal green line // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.–2002.–**32**.–P. 39.

[2] *House L. L.* Coronal emission line polarization // Solar Phys.–1972.–**23**.–P. 103.

[3] *van de Hulst H. C.* The electron density of the solar corona // Bull. Astron. Inst. Neth.–1950.–**11**.–P. 135.

[4] *Rušin V., Rybanský M., Utrobin V. G.* On the polarization of the coronal emission line Fe XIV – 530.3 nm // Bull. Astron. Inst. Czech.–1981.–**32**.–P. 61.

[5] *Sahal-Bréchot S.* The Hanle effect applied to magnetic field diagnostics // Space Sci. Rev.–1981.–**29**.–P. 391.

[6] *de Vacouleurs G.* Standardization of the characteristic curve // Appl. Optics.–1968.–**7**.–P. 1513.

CENTER-TO-LIMB VARIATION OF THE Mn I 539.5 nm AND THE Mn I 543.2 nm LINE PROFILES

I. Vince[1], O. Andriyenko[2], O. Vince[1]

[1] *Astronomical Observatory in Belgrade*
Volgina 7, 11160 Belgrade, Yugoslavia
e-mail: ivince@aob.bg.ac.yu

[2] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: olexa@mao.kiev.ua

ВАРИАЦИИ ПРОФИЛЕЙ ЛИНИЙ Mn I 539.5 нм И Mn I 543.3 нм ОТ ЦЕНТРА К КРАЮ ДИСКА СОЛНЦА, Винче И., Андриенко О., Винче О. – Для того чтобы найти влияние различных атмосферных слоев и грануляции на профили линий Mn I 539.5/543.3 нм, мы провели наблюдения этих линий на различных гелиоцентрических углах θ ($\cos\theta = 1.0$, 0.82, 0.6, 0.4, 0.2). Наблюдения проводились на солнечном телескопе обсерватории Терскол. Были измерены полуширина, эквивалентная ширина и центральная глубина профилей линий. *EW* и *FWHM* обоих линий увеличиваются с гелиоцентрическим углом, в то время как центральная глубина уменьшается для линии Mn 543.3 нм и несколько увеличивается возле лимба для линии Mn 539.5 нм. Для этих линий были вычислены модельные профили в ЛТР-приближении с учетом сверхтонкой структуры, было проведено их сравнение с наблюдениями.

In order to find the influence of different atmospheric layers and the granulation on profiles of Mn I 539.5/543.3 nm lines we observed them at different heliocentric angles, θ ($\cos\theta = 1.0$, 0.82, 0.6, 0.4, 0.2). Observations were carried out on the solar telescope at the Terskol Observatory. Full width at half maximum (*FWHM*), equivalent width (*EW*) and central intensity of line profiles were measured. *EW* and *FWHM* of both lines increase with heliocentric angle, while the *CI* decrease for the Mn 543.3 nm line and slightly increase near the limb for the Mn 539.5 nm line. Synthetic profiles of these lines were calculated under LTE assumption taking into account the hyperfine structure and compared with observed data.

INTRODUCTION

It is an observational fact that the equivalent width of the Mn I 539.5 nm line, measured for the full solar disk, shows activity cycle variability about 2 % [1]. As the Mn I 543.2 nm line has the same lower energy level of transition as the Mn I 539.5 nm line, it is interesting to examine its variability too. For explanation of this variability we used several hypotheses [2] and tested them by various observations and synthetic line profile calculations.

We investigated theoretically (see, *e.g.*, [3]) and experimentally (see, *e.g.*, [4]) the temperature sensitivity of the Mn I 539.5 nm line and concluded that it is rather high but not enough for explanation of the activity cycle variation of line parameters. We have supposed that this variation is caused by the influence of plages and other atmospheric features. Our synthetic line profile calculations, using models of quite sun, plages and bright network elements, did not support that hypothesis. However, recently it has been established that the cyclic variations of the Mn I 539.5/543.2 nm lines are mostly due to the influence of plage variability during the activity cycle. Namely, these lines are sensitive to optical pumping in a transition which overlaps with the Mg II k line [5] and this pumping is very enhanced in plages. It has been also experimentally shown that there are differences in behavior of line profiles in plages between the Mn I 539.5 nm line and the Mn I 542.04 nm line, the latter line has another lower energy level than the Mn I 539.5/543.2 nm lines [6].

The results mentioned above clearly indicate that for understanding the behavior of the Mn I 539.5/543.2 nm lines it is necessary to study them from different aspects. Our goal is to clarify the influence of different atmospheric layers on the profile of Mn I 539.5/543.2 nm lines, so we observed them at different heliocentric angles, θ, ($\cos\,\theta = 1.0$, 0.82, 0.6, 0.4, 0.2). Full width at half maximum (*FWHM*), equivalent width (*EW*) and central intensity (*CI*) of the line profile were measured.

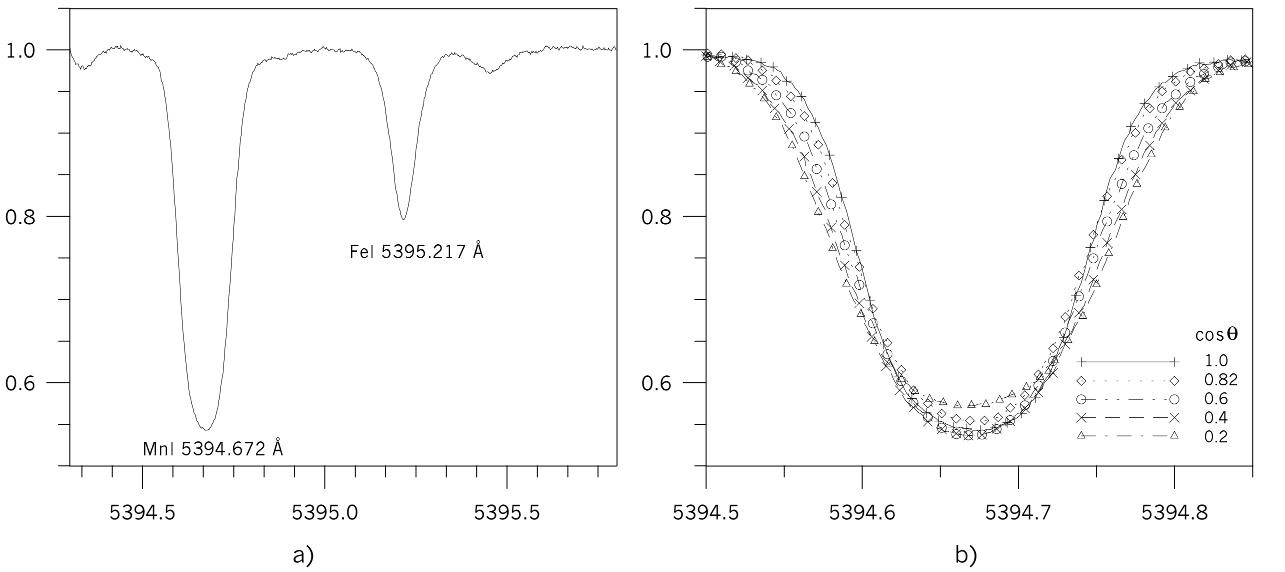


Figure 1. The average over solar disk spectrum near the Mn I 539.5 nm spectral line (a) and the Mn I 539.5 nm spectral line profiles for different heliocentric angles (b)

Synthetic profiles of these lines were calculated under LTE assumption and taking into account the hyperfine structure. We computed the line profiles without hyperfine structure as well. Computed line profile parameters (*EW*, *FWHM*, and *CI*) were compared with observed ones.

OBSERVATIONS AND REDUCTIONS

Observations were carried out on the solar telescope of Terskol Observatory. Focal length and diameter of the telescope main mirror are 1775 cm and 65 cm, respectively. The collimator and the camera mirrors of the spectrograph are 30 cm in diameter and have 800 cm focal lengths. The grating has 600 lines/mm with grooved area of 25×20 cm^2. Observations were made in the fifth spectral order with 25 μm width of the entrance slit. The spectra were taken by a CCD camera with 765×510 array and 9×9 μm^2 pixel size. Procedure of taking images was the same for both lines (Mn I 539.5/543.2 nm). For each position on the solar disk (heliocentric angle $\cos\theta = 1.0, 0.82, 0.6, 0.4, 0.2$) ten images were taken with 55 s time gap between them. Each image was reduced for dark current and scattered light and then averaging along the slit direction was performed. In such a way we obtained 10 spectral records for each heliocentric angle. The records were combined into one 765×10 array for every value of cos θ. Further treatment was made in Belgrade. The arrays were averaged along short (temporal) dimension with help of the IRAF program package. Thus we obtained spatially and temporally averaged line profiles. Normalization to the local continuum and wavelength calibration were performed with the SPE program package. Measuring of the line parameters (*EW*, *FWHM*, and *CI*) was also performed with SPE.

Averaged profiles of the Mn I 539.5/543.2 nm lines are shown in Fig. 1 and Fig. 2 (after averaging in IRAF and normalization and calibration in SPE). From the enlarged parts of the spectra it is obvious that shape of the line profiles vary with cos θ.

Calculations of synthetic spectra were performed using SPECTRUM (PC-based Stellar Spectral Synthesis Program) program package made by R. O. Gray. The hyperfine structure of the manganese lines was taken into account. In order to make a good fit with the observed spectra (which were taken from High Resolution Solar Spectrum Atlas) the relative intensity, *i.e.*, gf-factors of six hyperfine structure components were taken from [7] and [8]. For microturbulence velocity we took 1.5 km/s value.

RESULTS AND CONCLUSION

The center-to-limb variations of observed and calculated (with and without hyperfine components) parameters (*EW*, *FWHM*, and *CI*) for the Mn I 539.5 nm and Mn I 543.2 nm lines are shown in Fig. 3 and Fig. 4. One can see that the observed *EW* and its variation with $\cos\theta$ agree well with calculated

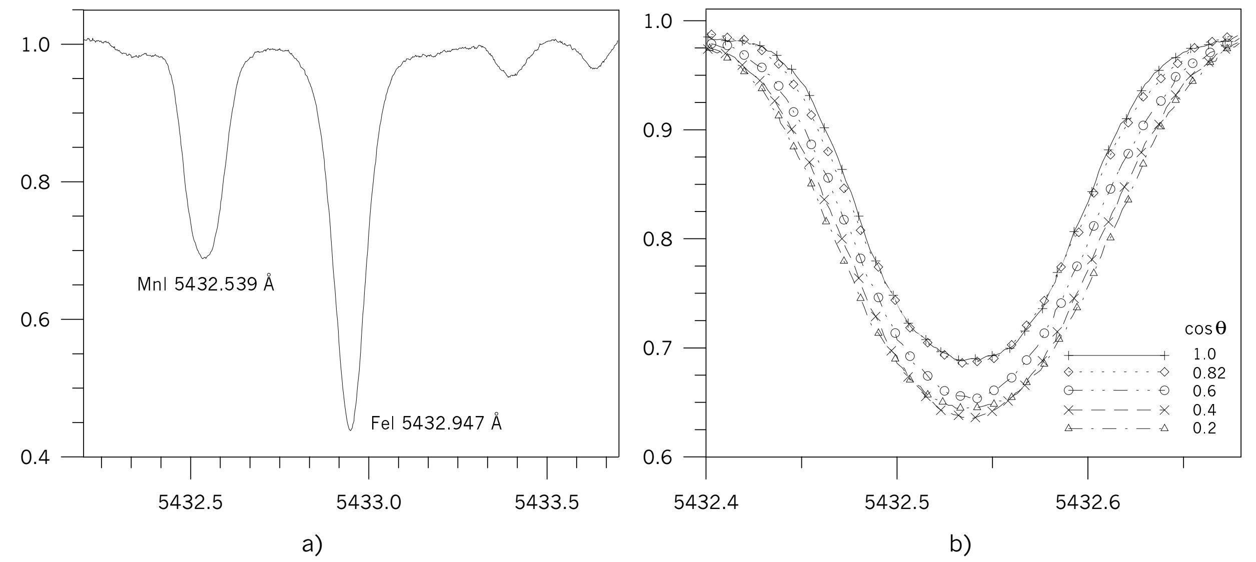


Figure 2. The average over solar disk spectrum near the Mn I 543.2 nm spectral line (a) and the Mn I 543.2 nm spectral line profiles for different heliocentric angles (b)

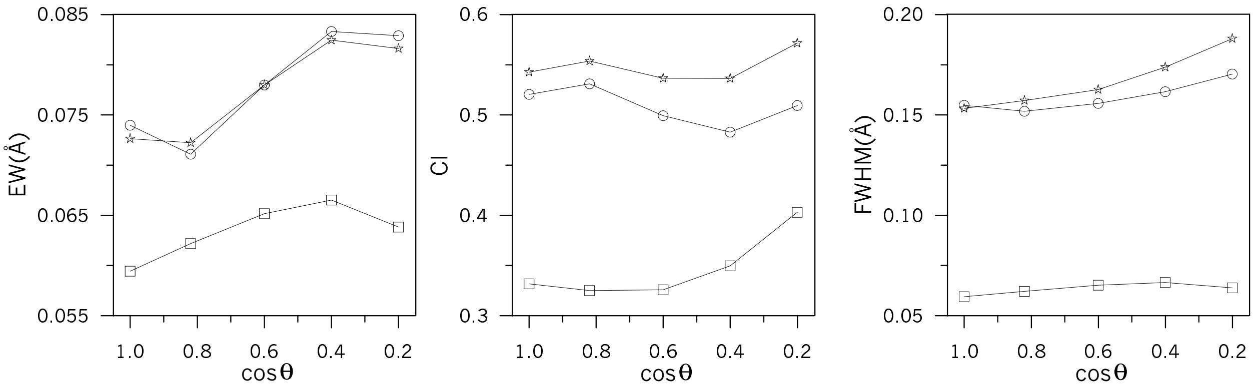


Figure 3. Center-to-limb variation of the observed (asterisks) and calculated (circles – with hyperfine components, squares – without hyperfine components) parameters of the Mn I 539.5 nm spectral line

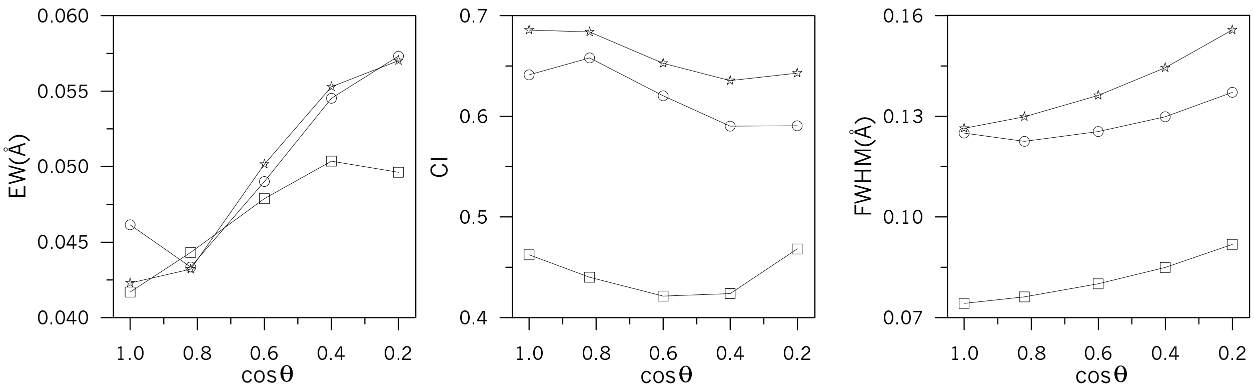


Figure 4. Center-to-limb variation of the observed and calculated (circles – with hyperfine components, squares – without hyperfine components) parameters of the Mn I 543.2 nm spectral line

ones if the hyperfine components are taken into account. There is systematic difference between calculated and observed *CI* and *FWHM*, but the variations of these parameters with the heliocentric angle are very similar. The differences are probably (partly) due to the influence of the instrumental profile, since the observed profiles are not corrected for it. On the other hand, the line profile parameters calculated without hyperfine components differ considerables from observed ones, and their changes with heliocentric angle behave very differently too. Therefore, we can conclude that the hyperfine structure essentially influence not only the shape of line profiles, but also its center-to-limb variation. The slight decrease of *EW* from $\cos\theta = 1$ to $\cos\theta = 0.82$ probably indicates that these lines are formed rather in deep than in high photospheric layers as it was found, *e.g.*, by Gurtovenko and Kostik (about 240 km, [9]). The hyperfine components could significantly influence on determination of manganese abundance. To confirm these conjectures further center-to-limb observations and calculations are planned to perform for these spectral lines.

Acknowledgements. Ministry of Science, Technology and Development of Serbia (contract N 1951) supported this work. One of the authors (I. Vince) acknowledges the support of the "Arany János Közalapítvány".

[1] *Livingston W.* Observations of Solar Spectral Irradiance Variations at Visible Wavelengths // Proceedings of the Workshop an the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22 / Ed. R. F. Donnelly.–1992.–P. 11–19.

[2] *Vince I., Erkapić S.* On the Chromospheric Behaviour of Photospheric Mn 539.47 nm Spectral Line // Int. Astron. Union Symp.–1998.–N 185.–P. 469–470.

[3] *Vince I., Erkapić S.* Influence of Temperature Gradient Changes on Solar Spectral Line Profile Parameters // Publ. Obs. Astron. Belgrade.–1993.–**44**.–P. 29–32.

[4] *Vince I., Vince O.* Temperature Sensitivity Determination of the Mn 539.47 nm Line from Solar-like Star Spectra Taken at Rozhen Observatory // Solar Researches in the South-Eastern European Countries: Present and Perspectives: Proc. Regional Meet. on Solar Physics / Eds G. Maris, M. Messerotti.–Éditions de l'Académie Roumaine.–2002.–P. 143–146.

[5] *Doyle J. G., Jevremović D., Short C. I., et al.* Solar Mn I 5432/5395 A line formation explained // Astron. and Astrophys.–2001.–**369**.–P. L13–L16.

[6] *Vince I., Gopasyuk O., Gopasyuk S., Vince O.* The observed Mn I 542.04 nm line profiles in solar plages // XXI Summer School and Intern. Symp. on the Physics of Ionized Gases / Eds M. K. Radović, M. S. Jovanović.–2002.–P. 562–565.

[7] *Vitas. N., Vince I., Vince O.* The Hyperfine Profile of the Mn I 539.47 nm Solar Spectral Line // Solar Researches in the South-Eastern European Countries: Present and Perspectives: Proc. Regional Meet. on Solar Physics / Eds G. Maris, M. Messerotti.–Éditions de l'Académie Roumaine.–2002.–P. 147–151.

[8] *Vitas. N., Vince I., Vince O.* The influence of Hyperfine Structure on the Mn I 543.25 nm Line Profile in Solar Spectrum // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl. Ser.–2003.–N 4.–P. 142.

[9] *Гуртовенко Э. А., Костык Р. И.* Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов.–Киев: Наук. думка, 1989.

THE INFLUENCE OF HYPERFINE STRUCTURE ON THE SOLAR Mn I 543.25 nm LINE PROFILE

N. Vitas[1], **O. Vince**[2], **I. Vince**[1,2]

[1] *Dept. of Astronomy, Faculty of Mathematics, Belgrade, Yugoslavia*
e-mail: nikola@matf.bg.ac.yu

[2] *Astronomical Observatory, Belgrade, Yugoslavia*

ВЛИЯНИЕ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРОФИЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ЛИНИИ Mn I 543.25 нм, Витас Н., Винче О., Винче И. – Спектральная линия Mn I 543.25 нм имеет необычно широкий профиль, обусловленный сверхтонкой структурой. В этой работе мы представляем результаты расчетов в приближении ЛТР модельных профилей линии Mn I 543.25 нм. Мы использовали Оксфордские данные для сил осцилляторов как первое приближение для сверхтонкой структуры. Наблюдательные данные были взяты из Льежского атласа солнечного спектра. Относительные интенсивности шести компонентов сверхтонкой структуры варьировались, чтобы получить хорошее согласование с наблюдательными данными.

The Mn I 543.25 nm spectral line has unusually broad line profile due to its hyperfine structure. Here we present the results of LTE calculation of the synthetical profile of the Mn I 543.25 nm line in the solar spectrum. We used the Oxford total absorption oscillator strength measurements as the first approximation for hyperfine structure. The observed spectrum was taken from the High Resolution Solar Spectrum Atlas. The relative intensities of six hyperfine components were varied to obtain a good fit with the observed line profile.

INTRODUCTION

The Mn I 543.25 nm spectral line is formed in transition between ground state ^6S and excited state $^8P^0$, together with the Mn I 539.47 nm line and thus one can suppose that their behavior are very similar. Observations of the Mn I 539.47 nm line on the sun as a star showed its activity cycle variation of about 2 % [3]. For explanation of this unusually high degree of variation it was introduced several hypotheses [4]. Recently, this behavior, qualitatively explained by depopulation of the ground state of the manganese atom by photons of the Mg II k lines [5]. According to this paper, the Mn I 543.25 nm line has to behave very similarly to the Mn I 539.47 nm line. Obviously, these two lines could be used as an optical replacement for the measurement of the UV Mg II k line flux (Mg II k – index), but this requires a knowledge of their behavior in detail. It has been already shown some similarity on behavior of these two lines (*e.g.*, the sensitivity to temperature changes in solar photosphere [6]). On the other hand, the influence of another parameters of the solar atmosphere has been examined only for the Mn I 539.47 nm. Our observations have shown, for instance, that the intensity of the Mn I 539.47 nm line in plages strongly depends on strength of magnetic field [7]. However, it to take into account the hyperfine structure of the Mn I 539.47 nm line, we have found theoretically that the influence of magnetic field has not an important role in variation of intensity of this line in plages [8]. We concluded that the intensity variation of this line in plages was not due directly to changes of magnetic field strength, but to changes of other physical parameters in plages. It is interesting to study the influence of the same features on the Mn I 5543.25 nm line profile. The goal of this paper is to study the influence of hyperfine structure and magnetic field on the solar Mn I 543.25 nm line profile and to compare the results with corresponding ones obtained for the Mn I 539.47 nm line.

METHOD OF CALCULATIONS

The synthetic spectrum near Mn I 543.25 nm line is calculated by using R.O. Gray's program package SPECTRUM (PC–based Stellar Spectral Synthesis Program). Obtained results are compared with the observed spectrum taken from High Resolution Solar Spectrum Atlas [2]. We calculated the synthetic spectrum neglecting hyperfine structure and compared it with the observed in Fig. 1. There is an obvious difference between two spectra.

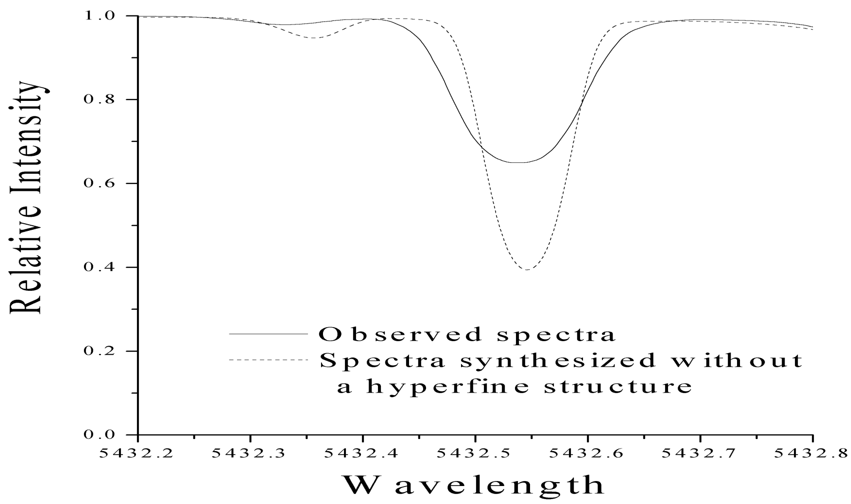


Figure 1. The Mn I 543.25 nm line: Observed spectrum and spectrum synthesized neglecting a hyperfine structure

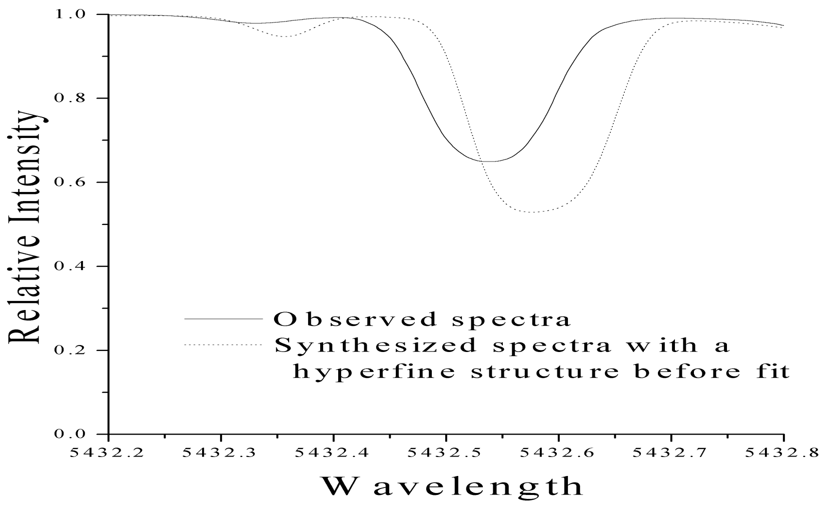


Figure 2. The Mn I 543.25 nm line: Observed spectrum and spectrum synthesized taking into account a hyperfine structure (data from Oxford total absorption oscillator strength measurements are used as the first approximation)

Table 1. Hyperfine components of Mn I 543.25 nm

λ (nm)	$\lg(gf)$
5432.501	–4.455
5432.534	–4.608
5432.557	–4.710
5432.570	–4.840
5432.582	–5.100
5432.610	–5.260

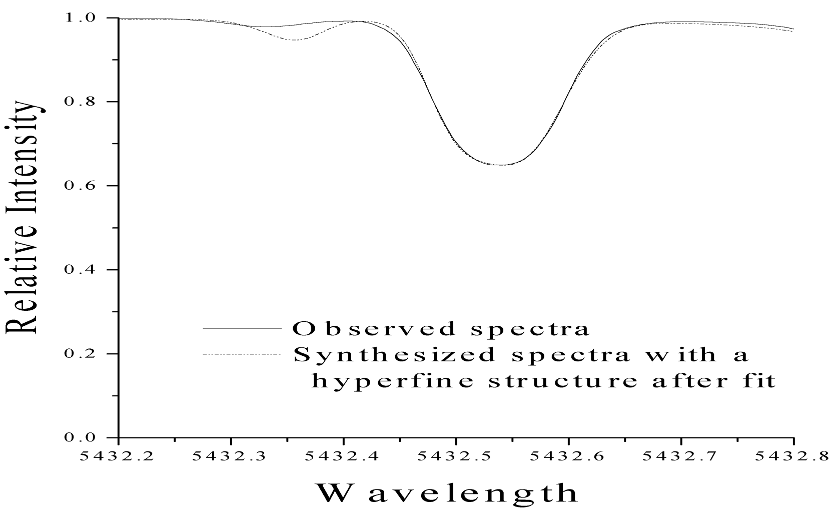


Figure 3. The Mn I 543.25 nm line: Observed spectrum and spectrum synthesized with a hyperfine structure parameters fitted

We have used Oxford total absorption oscillator strength measurements [1] as the first approximation of the hyperfine structure data (relative intensities and wavelengths). Then we calculated the spectrum with these data (the result of synthesis is shown in Fig. 2).

The relative intensities, *i.e.*, gf-factors and wavelengths of six components of hyperfine structure have been changed and the spectrum is calculated again to obtain good fit of the observed one. The final values for final manganese abundance of 6.65 and microturbulence velocity of 1.5 km/s are represented in Table 1. The data from this table had been used for the synthesis shown in Fig. 3.

In the presence of the magnetic field the spectral lines (observed perpendicular to the direction of magnetic field) is splitted in two components. Their wavelength splitting $\Delta\lambda$ (in nm) could be determined according to the well-known formula:

$$\Delta\lambda = \pm 4.668 \cdot 10^5 \cdot \lambda^2 \cdot H,$$

where g is the Gaunt factor (for the line Mn I 543.25 nm, $g = 1.86$), λ is the wavelength in m, and H is the magnetic field strength expressed in Gauss. The components of hyperfine structure of the spectral lines split in the same way according to the same formulae. The oscillator strengths of components decrease by a half. To illustrate this effect in the presence of magnetic field strength $H = 1000$ G we calculated profiles of 12 component lines that together compose the profile of Mn I 543.25 nm line.

Similar procedure was repeated for different values of magnetic field in the range from 100 to 1000 G. The obtained results for three values of H (100 G, 500 G, 1000 G) are shown in Table 2 and in Fig. 4.

Table 2. Calculated wavelength splitting $\Delta\lambda$ of hyperfine structure components for different values of magnetic field

λ (nm)	$\Delta\lambda$, pm		
	$H = 100$ G	$H = 500$ G	$H = 1000$ G
543.2501 543.2534 543.2557 543.2570 543.2582 543.2610	± 0.26	± 1.28	± 2.56

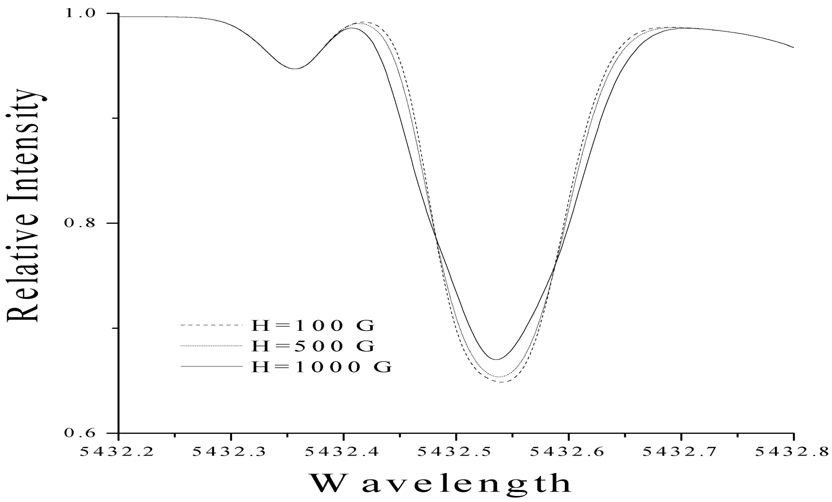


Figure 4. Profiles of 543.25 nm line synthesized for different magnetic field strength (H = 100 G, 500 G, 1000 G)

Table 3. Line parameters of the synthesized Mn I 543.25 nm line for different values of magnetic field strength H

H (G)	EW (nm)	LD	$FWHM$ (nm)
100	0.04537	0.64628	0.12451
200	0.04545	0.64860	0.12549
300	0.04557	0.64860	0.12598
400	0.04568	0.64860	0.12695
500	0.04588	0.65093	0.12891
600	0.04603	0.65325	0.12988
700	0.04628	0.65558	0.13232
800	0.04653	0.65791	0.13477
900	0.04678	0.66256	0.13818
1000	0.04709	0.66954	0.14355

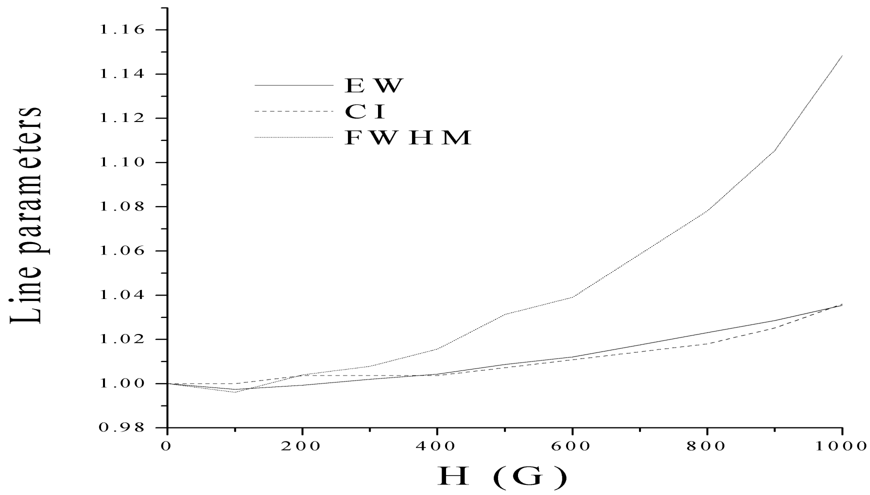


Figure 5. Dependence of line parameters of the synthesized Mn I 543.25 nm line on magnetic field strength H

The line parameters, namely, equivalent width EW, line depth LD and $FWHM$, of the synthesized Mn I 543.25 nm line are represented in Table 3 and are shown in Fig. 5.

CONCLUSION

This paper presents the results of analysis of the Mn I 543.25 nm line parameters (equivalent width EW, line depth LD, and $FWHM$). The analysis took into consideration the hyperfine structure and followed the change of the profile with the change of magnetic field strength. It is evident that the observed parameters do not manifest strong change, such as, for example, the one observed by Vince *et al.* [7] in the other manganese line, Mn I 539.47 nm. On the other hand, the values for Mn I 543.25 nm calculated in this way manifest similar behavior to the values of the mentioned Mn I 539.47 nm line when they are calculated in the same way. It is necessary to carry out measurements of parameters of Mn I 543.25 nm line for different values of H, which is our intention to do in future.

Acknowledgements. Ministry of Science, Technology and Development of the Republic of Serbia (Contract N 1951) supported our work. One of the authors (I. Vince) acknowledges the support of the "Arany János Közalpítvány".

[1] *Booth A. J., Shallis M. J., Wells M.* Hyperfine Structure Measurements for Lines of Astrophysical Interest in Mn I // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1983.–**205**.–P. 191.

[2] *Delbouille L., Roland G., Neven L.* Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3000 to λ 10000.– Liege: Institute d'Astrophysique de l'Universite de Liege, 1973.

[3] *Livingston W.* Observations of Solar Spectral Irradiance Variations at Visible Wavelengths // Proc. on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22, US Department of Commerce / Ed. R. F. Donnelly.–1992.–P. 11.

[4] *Vince I., Erkapić S.* On the Chromospheric Behaviour of Photospheric Mn I 539.47 nm Spectral Line // Int. Astron. Union Symp.–1998.–N 185.–P.469.

[5] *Doyle J. G., Jevremović D., Short C. I., et al.* Solar Mn I 5432/5395 A Line Formation Explained // Astron. and Astrophys.–2001.–**369**.–P. L13.

[6] *Erkapić S., Vince I.* Influence of Photospheric Parameters on Solar Spectral Line Parameters // Publ. Obs. Astron. Belgrade.–1995.–**49**.–P. 159.

[7] *Vince I., Gopasyuk O., Gopasyuk S., Vince O.* The Observed Mn I 539.47nm Line Profiles in Solar Plages // SPIG 20th / Eds Z. Petrović, M. Kuraica, G. Malović.–Belgrade: Institute of Physics, 2000.– P. 507.

[8] *Vitas N., Vince I., Vince O.* The Hyperfine Profile of the Mn I 539.47 nm Solar Spectral Line // Solar Researches in the South-Eastern European Countries: Present and Perspectives: Proc. Regional Meet. on Solar Physics / Eds G. Maris, M. Messerotti.–Éditions de l'Académie Roumaine, 2002.–P. 147–151.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЦА НА ПИКЕ ТЕРСКОЛ

К. А. Бурлов-Васильев, И. Э. Васильева

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
улю Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: vasil@mao.kiev.ua

На протяжении 1980–1990 гг. на пике Терскол на телескопах СЭФ-1 и АЦУ-26 велись регулярные наблюдения спектра солнечного диска и активных солнечных образований. Исследования на телескопе СЭФ-1 проводились в рамках программы “Распределение энергии в спектре Солнца в абсолютных энергетических единицах”. На телескопе АЦУ-26 проводились параллельные наблюдения для уточнения тонкой структуры теллурических линий и исследовалась вспышечная активность. В работе описана процедура наблюдений, приведены результаты исследований, распределение энергии в спектре центра диска Солнца в абсолютных энергетических единицах.

SOLAR INVESTIGATION AT TERSKOL PEAK, Burlov-Vasiljev K. A., Vasiljeva I. E. – During 1980–1990 regular observations of the solar disk spectrum and active solar structures were carried out with SEF-1 and ATsU-26 telescopes at Terskol Peak in the framework of the program “Energy distribution in the solar spectrum in absolute energy units”. In order to refine the fine structure of telluric lines, observations with ATsU-26 telescope were carried out in parallel. This telescope was also used for the investigation of the solar active structures. In this paper the observational technique is described. The obtained results and energy distribution in the solar disk center in absolute energy units are presented.

ВВЕДЕНИЕ

Пик Терскол на Северном Кавказе, на котором расположена обсерватория МЦ АМЭИ (до 1992 г. – высокогорная наблюдательная база ГАО НАН Украины), представляет собой плоский лавовый гребень на одном из южных склонов горы Эльбрус. Его средняя высота над уровнем моря равна 3100 м. Регулярные астрономические и астроклиматические измерения (как дневные, так и ночные) проводятся здесь с 1972 г. Было установлено, что низкая относительная влажность воздуха над пиком Терскол позволяет эффективно проводить исследования в достаточно широком диапазоне спектра [10]. Кроме того, при удовлетворительном количестве солнечных дней (16–18 за месяц в летний и осенний периоды) на пике Терскол часто наблюдаются дни с исключительно высокой прозрачностью, стабильной в течение первой половины дня [7, 15, 20, 29, 30]. Дрожание изображения при апертуре инструмента позволяет вести регулярные наблюдения с пространственным разрешением не хуже $5''$. Закрытие горизонта в западном и восточном направлении не превышает 8°, что дает возможность наблюдать Солнце вплоть до 7 воздушных масс. Это и позволило в начале 1980-х годов начать на пике Терскол планомерные исследования по распределению энергии в спектре Солнца в абсолютных энергетических единицах.

До сих пор наиболее широко цитируются данные об абсолютном распределении энергии в спектре Солнца, опубликованные Неккелем и Лабсом [8] и основанные на наземных измерениях, полученных в 1962–1964 гг. [1]. Результаты Неккеля и Лабса считаются наиболее надежными, несмотря на то, что уже в 1967 г. практически все последующие измерения были вынесены в верхние слои атмосферы. Была осуществлена программа измерений с борта исследовательского самолета в эксперименте “Галилео” Арвезеном [2] и одновременно группой Текекары [3, 4] на высоте 11.6–12.5 км. Позднее измерения проводились с баллонов и ракет на высоте около 30 км (Шоу и Фрелих [5], Шоу [6] и Верли [19]). В этом случае авторы использовали упрощенную схему измерений при помощи узкополосных фильтровых фотометров. Таким образом, им удалось добиться повышения надежности измерений, пожертвовав спектральным разрешением. Первая попытка измерений абсолютного спектра Солнца с борта космического аппарата “Spacelab-1”, предпринятая в 1983 г., оказалась неудачной из-за неконтролируемого изменения пропускания оптики во время полета [11]. Авторы приводят данные лишь для ультрафиолета ($\lambda\lambda$ 200–358 нм), где погрешность результата, по их оценке, не превысила 5 %. В монографии Макаровой, Харитонова и Казачевской [17] представлен сводный ряд данных ($\lambda\lambda$ 340–1060 нм), полученный по наиболее надежным измерениям, причем в качестве критерия надежности были привлечены результаты фотометрии звезд – солнечных аналогов в Аризонской 13-цветной системе Джонсона и Митчелла. Авторы выделили три "лучших" по их мнению ряда измерений – Неккеля и Лабса [8], Арвезена [2] и ряд, составленный на основе измерений с солнечными фотометрами (Шоу [6], Шоу и Фрелих [5]). Расхождения между различными рядами достигают величины 4 %. По мнению авторов, не существует ряд измерений, способный претендовать на погрешность по крайней мере 2 %.

В связи с вышесказанным возникла необходимость создания единого абсолютного ряда измерений солнечного спектра в абсолютных энергетических единицах с погрешностью не хуже 2 %. В настоящей работе представляются результаты исследований, основанные на наблюдениях 1989–1995 гг. с помощью комплексов СЭФ-1 и АЦУ-26. При проведении эксперимента особенное внимание было уделено факторам, способным вносить погрешности при абсолютных измерениях спектра Солнца.

Инициатором установки солнечных телескопов на пике Терскол, непосредственным руководителем, исполнителем и наблюдателем был д.ф.-м.н. Э. А. Гуртовенко. В разные годы в наблюдениях на солнечных телескопах принимали участие сотрудники ГАО НАН Украины Э. А. Гуртовенко, В. И. Троян, К. В. Аликаева, Ю. Б. Матвеев, С. Н. Осипов, К. А. Бурлов-Васильев, И. Э. Васильева, Ю. М. Гаврилюк, В. В. Кульбеда, А. В. Андриенко, В. Д. Поросюк.

МАЛЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП СЭФ-1 И ОРЕОЛЬНЫЙ ФОТОМЕТР

Комплекс СЭФ-1 включает горизонтальный солнечный телескоп, дифракционный спектрометр, систему воспроизведения, контроля и передачи единиц спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) государственного специального эталона СССР, систему регистрации, обработки и хранения данных, ореольный фотометр, вспомогательную аппаратуру для исследования и контроля оптических параметров схем измерения [9, 12, 13, 14, 16, 21]. В качестве носителя шкалы спектральной плотности энергетической яркости используются ленточные вольфрамовые лампы. Сравнение потоков от Солнца и стандартного источника проводится в процессе наблюдений. При регистрации сигнала от лампы в оптическую схему вводится дополнительное сферическое зеркало–коллиматор.

Система регистрации, обработки и хранения данных создана на основе микроЭВМ ЦЛАНП-0270. Используемый тип микропроцессора – MOTOROLA 6800, объем ОЗУ – 32 Кбайт, стандартный набор периферийных устройств – буквенно-цифровой дисплей, АЦПУ, два накопителя на ГМД ЕС 5074, два минилентовых накопителя СМ 5300.01, стойка КАМАК. К микроЭВМ подключен цветной графический дисплей для отображения сканируемого спектра. Через крейт КАМАК система связана с блоком управления шаговым двигателем сканирующей каретки и с каналом регистрации сигнала, поступающего от приемника излучения.

Ореольный фотометр. Параллельно с основными измерениями в течение дня состояние атмосферы контролируется по величине околосолнечного ореола с помощью двухканального ореольного фотометра [15, 20].

Наблюдения на СЭФ-1. Процедура наблюдений заключается в многократном сканировании спектра Солнца. В зависимости от решетки размер рабочего участка спектра составляет от 50 до 200 нм. На протяжении дня наблюдается от одного до трех спектральных участков. Количество спектральных сканов может достигать 100–120. Абсолютная калибровка спектра проводится обычно в полдень – до двадцати спектральных сканов. Количество отчетов в скане – до 10 000. Информация накапливается на гибких магнитных дисках и магнитной ленте.

БОЛЬШОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП (БГСТ) АЦУ-26

БГСТ АЦУ-26 предназначен для спектральных фотоэлектрических и фотографических измерений спокойных и активных образований в атмосфере Солнца [24, 26]. Используемые приемники излучения позволяют проводить наблюдения в диапазоне длин волн от 0.3 мкм до 1.2 мкм со спектральным разрешением до 300 000. Телескоп горизонтального типа, фокусное расстояние главного сферического зеркала составляет 17 746 мм, диаметр равен 650 мм.

Управление сканированием осуществляется программно-аппаратным комплексом, построенным на основе IBM PC AT 386, модульного стандарта КАМАК и специализированного блока управления шаговым двигателем. Блок управления позволяет также работать в режиме ручного управления с передней панели блока. Выходной сигнал электрометрического усилителя поступает на блок 12-битового аналого-цифрового преобразователя CAD-20 или 10-битового АЦП 712 (время пробразования 24 мкс) и после оцифровки запоминается в оперативной памяти PC. В конце скана информация записывается на жесткий магнитный диск.

Измерения спектра центра солнечного диска на АЦУ-26. Фотоэлектрические измерения спектра Солнца на БГСТ АЦУ-26 в первую очередь направлены на поддержку программы абсолютных энергетических спектральных измерений, выполняемых на специализированном телескопе СЭФ-1. Абсолютные спектральные измерения выполняются с низким спектральным разрешением порядка 0.1 нм. В ближней ультрафиолетовой и видимой областях спектра для редукции измерений за атмосферное ослабление используется классический метод Бугера. В инфракрасной области применение метода Бугера в сочетании с низким спектральным разрешением некорректно вследствие эффекта Форбса, вызванного поглощением в узких теллурических линиях земной атмосферы (в основном кислорода и паров воды). Поэтому, чтобы получить спектр Солнца, свободный от влияния теллурических линий, необходимо, опираясь на модельные представления, рассчитать теллурический спектр поглощения на момент наблюдений. Сравнение такого расчета с реальными наблюдениями может быть выполнено для некоторых участков спектра, содержащих только теллурические линии (при высоком спектральном разрешении).

С этой целью на телескопе АЦУ-26 было измерено более 6 000 линий водяного пара и около 650 линий кислорода для различных воздушных масс и метеоусловий. Обычно в течение одного наблюдательного дня регистрировался избранный диапазон длин волн в четвертом или пятом порядке спектра длиной соответственно 7 или 4 нм. Время сканирования составляло 2–3 минуты. В течение дня записывалось до 100 сканов солнечного спектра, причем частота сканирования определялась либо скоростью изменения воздушной массы в направлении на Солнце, либо изменением метеоусловий. Таким образом, наблюдения дают возможность проследить динамику поглощающих компонентов земной атмосферы в течение дня.

Обработка полученного материала может быть проведена непосредственно после окончания дневного цикла наблюдений на IBM PC, входящей в состав программно-аппаратного комплекса телескопа АЦУ-26.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами получен оригинальный ряд измерений энергетических характеристик солнечного излучения (рис. 1). Данные опубликованы в виде 1 нм интервалов [22, 23, 25, 27, 28].

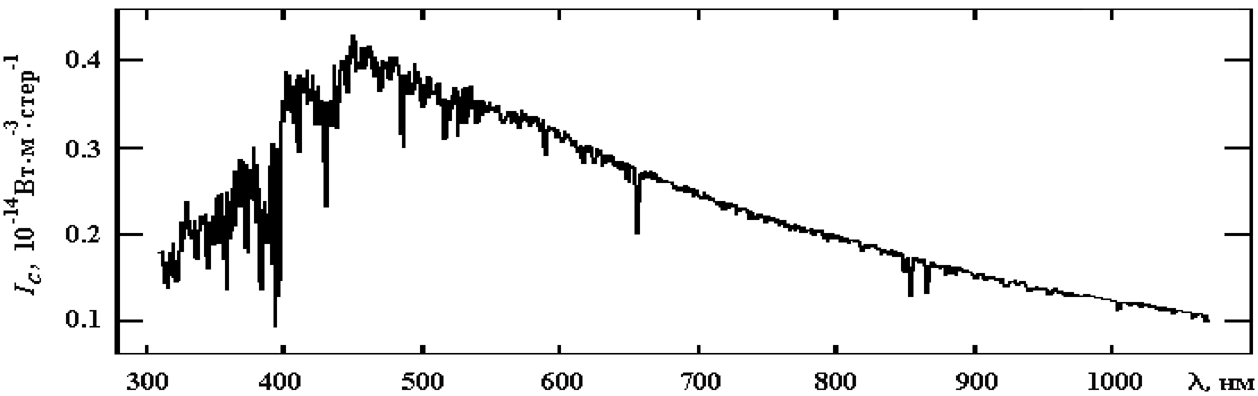
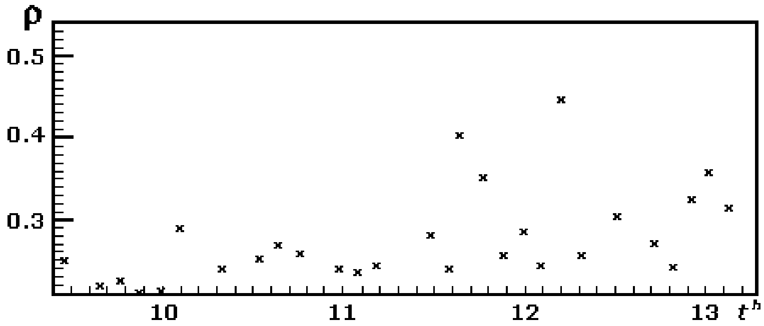


Рис. 1. Распределение энергии в спектре центра диска Солнца в абсолютных энергетических единицах

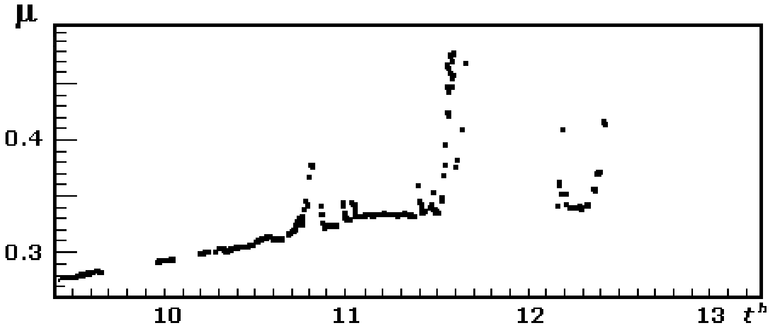
Итоговая величина погрешности определения СПЭЯ центра солнечного диска в спектральной области 310–400 нм не превышает 2.6 %, в 400–685 нм – 2.5–2.3 %, 685–1050 нм – 2 %.

ВЫВОДЫ

Атмосфера над пиком Терскол. Наблюдения (АЦУ-26) показывают, что содержание водяного пара над пиком Терскол в летне-осенний период в ясные дни составляет в среднем 2–6 мм осажденной воды в расчете на одну воздушную массу.



а



б

Рис. 2. Изменение содержания водяного пара в первой половине дня 6.02.1994 в зависимости от местного времени (*а*) (по оси y – содержание водяного пара в см осажденного слоя при перерасчете на единичную воздушную массу) и ход относительного солнечного ореола по наблюдениям на солнечном фотометре (*б*)

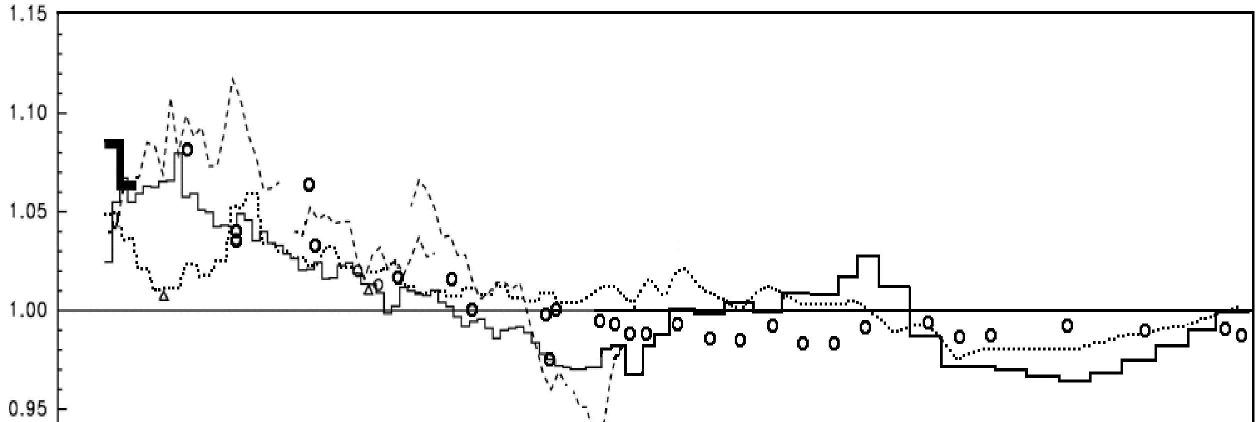


Рис. 3. Отношение величин спектральной освещенности солнечным излучением к аналогичным данным Неккеля и Лабса [8]; сплошная линия – наши данные, точки – данные Макаровой, Харитонова, Казачевской [17], кружки – фотометрические измерения Шоу, Фрелих [5] и Шоу [6], пунктир – данные Локвуда и др. [18], жирная линия – результаты ультрафиолетовых измерений на борту “Spacelab-1” [11], треугольники – балонные измерения Верли [19]

Динамика поведения аэрозоля и водяного пара над пиком Терскол в течение дня существенно подобна. Состояние высокой оптической стабильности атмосферы отмечается в утренние часы от восхода Солнца до 10–11 часов местного времени. Этот промежуток характеризуется как стабильностью рассеивающих свойств атмосферного аэрозоля, так и стабильным содержанием водяного пара. В дальнейшем наблюдается резкий рост содержания аэрозоля и водяного пара. Такая взаимосвязь позволяет сделать вывод о водной природе основной массы аэрозоля над пиком Терскол (рис. 2).

Распределение энергии в спектре Солнца. Есть расхождение между результатами наших измерений и общепринятыми данными Неккеля и Лабса [8], особенно в ультрафиолете (рис. 3). С другой стороны, согласие между нашими данными и средними данными Макаровой, Харитонова и Казачевской [17], которые опираються на результаты звездной многоцветной фотометрии, является аргументом при выборе лучшего ряда. Спектрофотометрические измерения солнечного излучения, даже вынесенные в космос, вряд ли способны предоставить дополнительные аргументы в пользу того или иного ряда или существенным образом снизить погрешность измерений, поскольку в лучшем случае предполагают использование тех же лабораторных стандартов излучения, что и в наземных измерених, тем более, что наземные измерения обладают гораздо большими возможностями точной калибровки.

[1] *Labs D., Neckel H.* The Radiation of the Solar Photosphere from 2000 A to 100 m // Zeitschrift fur Astrophysik.–1968.–**69**, N 1.–P. 1–73.

[2] *Arvesen J. C., Griffin R. N., Pearson B. D.* Determination of Extraterrestrial Solar Spectral Irradiance from a Research Aircraft // Appl. Opt.–1969.–**8**.–P. 2215–2231.

[3] *Thekaekara M. P., Kruger R., Duncan C. H.* Solar irradiance measurements from a research aircraft // Appl. Opt.–1969.–**8**.–P. 1713–1732.

[4] *Thekaekara M. P.* Extraterrestrial Solar Spectrum, 3000–6100 A at 1–A Intervals // Appl. Opt.–1974.–**13**, N 3.–P. 518–522.

[5] *Shaw G. E., Frohlich C.* The Variability and Absolute of Solar Spectral Irradiance // Solar-terrestrial Influences on Weather and Climate / Eds B. M. McCarmac, T. A. Seliga, 1979.–P. 69–73.

[6] *Shaw G. E.* Solar Spectral Irradiance and Atmospheric Transmission at Mauna Loa Observatory // Appl. Opt.–1982.–**21**.–P. 2006–2011.

[7] *Троян В. И.* Некоторые характеристики дневного астроклимата пика Терскол // Астрометрия и астрофизика.–1982.–Вып. **47**.–С. 80–83.

[8] *Neckel H., Labs D.* The Solar Radiation between 3300 and 12500 A // Solar Phys.–1984.–**90**.–P. 205–258.

[9] *Матвеев Ю. Б.* Исследование образцовых средств измерений спектральной плотности энергетической яркости // Кинематика и физика небес. тел.–1985.–**2**, № 3.–С. 74–76.

[10] *Бурлов-Васильев К. А., Гуртовенко Э. А., Троян В. И.* Интегральный спектр Солнца как звезды в УФ (0.1–0.32 мкм) и ИК (1–50 мкм) областях // Кинематика и физика небес. тел.–1986.–**2**, № 4.–С. 3–10.

[11] *Labs D., Neckel H., Simon P. C., Thuiller G.* Ultraviolet Solar Irradiance Measurement from 200 to 358 nm during Spacelab–1 Mission // Solar Phys.–1987.–**107**, N 2.–P. 203–219.

[12] А. с. №131187СССР. Штора для регулирования степени пропускания цветового потока / *Беспалько В. Г., Матвеев Ю. Б., Мельников М. А., Троян В. И.*–Опубл. 1987.

[13] *Бурлов-Васильев К. А., Гуртовенко Э. А., Матвеев Ю. Б., Троян В. И.* Абсолютная спектрофотометрия Солнца. I. Постановка задачи и метод решения // Кинематика и физика небес. тел.–1990.–**5**, № 2.–С. 33–37.

[14] *Бурлов-Василъев К. А., Матвеев Ю. Б., Троян В. И. и др.* Абсолютная спектрофотометрия Солнца. II. Специализированный наблюдательный комплекс СЭФ-1 // Кинематика и физика небес. тел.–1990.–**6**, № 2.–С. 38–43.

[15] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э., Матвеев Ю. Б.* Оптическая стабильность земной атмосферы на пике Терскол по измерениям околосолнечного ореола // Кинематика и физика небес. тел.–1990.–**6**, № 6.–С. 83–86.

[16] *Бурлов-Васильев К. А., Кульбеда В. В.* Абсолютная спектрофотометрия Солнца. III. Система автоматизации телескопа СЭФ-1 // Кинематика и физика небес. тел.–1991.–**7**, № 1.–С. 72–77.

[17] *Макарова Е. А., Харитонов А. В., Казачевская Т. В.* Поток солнечного излучения.– М.: Наука, 1991.–400 с.

[18] *Lockwood G. W., Tug H., White N. M.* A new solar irradiance calibration from 3295 A to 8500 A derived from absolute spectrophotometry of Vega // Astrophys. J.–1992.–**390**, N 2.–P. 668–678.

[19] *Wehrli Ch.* Solar spectral irradiance measurements with sunphotometers // Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22: Proc. of the Workshop.–1992.–P. 54–61.

[20] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э.* Спектральная прозрачность земной атмосферы в области ближнего ультрафиолета // Изв. АН. Физика атмосферы и океана.–1992.–**28**. № 12.–С. 1170–1175.

[21] *Матвеев Ю. Б., Гаврилюк Ю. М.* О поляризующем действии отражательных дифракционных решеток // Кинематика и физика небес. тел.–1993.–**9**, № 3.–С. 91–96.

[22] *Burlov-Vasiljev K. A., Gurtovenko E. A., Matvejev Yu. B.* New absolute measurements of the solar spectrum 310–685 nm // Solar Phys.–1995.–**157**, N 1/2.–P. 51–73.

[23] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э., Матвеев Ю. Б.* Новые измерения солнечного спектра в абсолютных энергетических единицах в спектральной области $\lambda\lambda$ 650–1070 нм // Кинематика и физика небес. тел.–1996.–**12**, №3.–С. 75–91.

[24] *Аликаева К. В., Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э. и др.* Горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 на Кавказе // Кинематика и физика небес. тел.–1996.–**12**, № 6.–С. 65–74.

[25] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э., Матвеев Ю. Б.* Новый ряд данных об абсолютном распределении энергии солнечного излучения в области 310–1070 нм // Изв. ВУЗов. Радиофизика.–1996.–**39**, № 10.–С. 1242–1248.

[26] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э., Гуртовенко Э. А., Матвеев Ю. Б.* Большой солнечный телескоп ГАО НАНУ на Кавказе // Изв. ВУЗов. Радиофизика.–1996.–**39**, № 10.–С. 1326–1334.

[27] *Burlov-Vasiljev K. A., Matvejev Yu. B., Vasiljeva I. E.* Results of the Solar Disk-center Spectral Intensity Measurements in the Range 310–1070 nm // Solar Analogs: Characteristics and Optimum Candidates: Proc. 2nd Lowell Fall Workshop (Flagstaff, Arizona, Oct. 5–7, 1997) / Ed. J. C. Hall.–1997.–P. 115–122.

[28] *Burlov-Vasiljev K. A., Matvejev Yu. B., Vasiljeva I. E.* New Measurements of the Solar Disk-center Spectral Intensity in the Near IR from 645 nm to 1070 nm // Solar Phys.–1998.–**177**, N 1/2.–P. 25–40.

[29] *Burlov-Vasilyev K., Terez E., Terez G., Vasilyeva I.* Determination of total ozone content from solar radiance measurements at the Terskol station // Phys. and Chem. Earth. Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere.–2000.–**25**, N 5–6.–P. 435–438.

[30] *Бурлов-Васильев К. А., Васильева И. Э., Терез Г. А., Терез Э. И.* Определение общего содержания озона по спектрофотометрическим наблюдениям Солнца в УФ-области спектра // Кинематика и физика небес. тел.–2000.–**16**, № 3.–С. 266–273.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

С. Н. Карпов, В. В. Алексеенко, А. Н. Заиченко, З. М. Карпова, В. Б. Петков, $\boxed{\text{В. Я. Поддубный,}}$ Н. С. Хаердинов

Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН
пос. Нейтрино, Эльбрусский р-н, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: karpov@neutr.novoch.ru

Для изучения солнечных космических лучей (СКЛ) высокой энергии, генерируемых во время мощных солнечных вспышек, предлагается использовать наземные детекторы широких атмосферных ливней (ШАЛ) и подземные мюоные детекторы. Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ) в 21-м и 22-м циклах солнечной активности зафиксировал три всплеска интенсивности мюонов, коррелирующие с наземными возрастаниями СКЛ. В текущем 23-м цикле подобных всплесков на БПСТ не обнаружено. Пороговая энергия детекторов ШАЛ значительно выше, чем у нейтронных мониторов. Однако при использовании темпа счета одиночных частиц пороговая энергия определяется геомагнитным обрезанием и сопоставима с порогом регистрации нейтронных мониторов. Полный темп счета двух баксанских детекторов ШАЛ, "Андырчи" и "Ковер", был проанализирован во время наземных возрастаний СКЛ, наблюдавшихся в течение 23-го цикла солнечной активности. Во время шести таких событий из девяти обнаружены значимые превышения темпа счета над фоном галактических космических лучей. Статистическая точность стандартных нейтронных мониторов – около 1–0.5 % по 5-мин данным. Точность "Андырчи" и "Ковра" в этом случае составляет 0.05 % и 0.03 % соответственно, что позволяет фиксировать меньшие возрастания при большей пороговой энергии частиц. Имеются события, когда наземные возрастания СКЛ зарегистрированы только на полярных нейтронных мониторах, имеющих низкий порог регистрации (например Апатиты, E_{tot}= 1.1 ГэВ). В то же время среднеширотные мониторы с более высоким порогом (например Москва, E_{tot}= 2.6 ГэВ) возрастаний не зафиксировали. "Андырчи" и "Ковер" в этих случаях зарегистрировали статистически значимые возрастания (5–8 стандартных отклонений), несмотря на более высокий порог регистрации (E_{tot} = 5.8 ГэВ). Это позволяет продлить спектр СКЛ для данных событий в область более высокой энергии.

INVESTIGATION OF THE SOLAR COSMIC HIGH-ENERGY RAYS, by Karpov S. N., Alekseenko V. V., Zaichenko A. N., Karpova Z. M., Petkov V. B., $\boxed{\text{Poddubny V. Ya.}}$, Khaerdinov N. S. – We propose to use the ground-based extensive air shower (EAS) arrays and underground muon detectors to study the solar cosmic high-energy rays (SCR) generated during powerful solar flares. During both the 21st and the 22nd solar activity cycles the Baksan Underground Scintillation Telescope (BUST) recorded three short-term bursts of muon intensity correlating with the Ground Level Enhancements (GLE) of SCR. No similar muon bursts were found at the BUST in the current 23rd solar cycle. The primary protons causing those muon bursts have energies greater than 500 GeV, 100 times as large as the threshold energy of the neutron monitors which are used for the SCR study on the Earth surface. The threshold energy of EAS arrays is also greater than that of neutron monitors. The total counting rate of two Baksan EAS arrays "Andyrchy" and "Carpet" was examined during the GLE events observed in the 23rd solar activity cycle. Significant excesses above the galactic cosmic ray background were found during several GLE events. The statistical accuracy of neutron monitors by the 5–minute data is about 1 %. This quantity for the "Andyrchy" and "Carpet" is 0.05 % and 0.03 %, respectively. It allows us to fix lesser intensity rises at greater threshold energy of particles. There are GLE events recorded only at the polar neutron monitors (e.g., Apatity), which have low threshold energies (about 1 GeV). The middle-latitude monitors (e.g., Moscow) with a greater threshold didn't show any excess at the same time. In these cases "Andyrchy" and "Carpet" recorded statistically significant rises (5–8 standard deviations) despite their greater threshold energy – 5.8 GeV. These facts allow us to extend the SCR spectrum of those events to a higher energy region.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения солнечных космических лучей (СКЛ) в диапазоне энергий от 1 ГэВ до 15 ГэВ обычно используются нейтронные мониторы. Установки для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) имеют значительно более высокий порог регистрации: от нескольких десятков ТэВ до сотен ТэВ. Однако кроме ливневого компонента они регистрируют и одиночные частицы — мюонный и электромагнитный компоненты. Эта информация обычно используется для мониторинга параметров детекторов. Минимальная энергия регистрации для одиночного компонента определяется геомагнитным порогом обрезания. Диапазон энергии первичных частиц близок к диапазону, перекрываемому нейтронными мониторами. В этом случае главным преимуществом детекторов ШАЛ является значительно больший темп счета. Характерная статистическая точность нейтронных мониторов 1–0.5 % по 5-мин данным. Баксанские ливневые установки "Андырчи" и "Ковер" при тех же условиях имеют точность 0.05 % и 0.03 % соответственно. Это позволяет регистрировать в 10 раз более слабые потоки частиц, чем на нейтронных мониторах.

Первая достоверная регистрация СКЛ на ливневой установке была выполнена на баксанской установке "Ковер" [2]. Во время мощной вспышки на Солнце 29 сентября 1989 г. "Ковер" зафиксировал огромное возрастание величиной (43.30 ± 0.03) % в темпе счета одиночного компонента. Пороговая энергия определяется геомагнитным порогом обрезания и составляет $\mathrm{E}_k^{th} = 4.8$ ГэВ ($\mathrm{R}_c = 5.7$ ГВ). Кроме этого, "Ковер" зафиксировал возрастание величиной (14.0 ± 0.5) % в темпе счета трехкратного компонента. Главным образом ее составляют локальные ливни малой мощности, которые рождаются вторичными частицами на высоте 1–3 радиационных единиц над установкой. Минимальная энергия E_{min} первичных частиц в этом случае составляет около 10 ГэВ [3].

В текущем 23-м цикле солнечной активности был выполнен анализ данных одновременной регистрации СКЛ от солнечных вспышек на двух баксанских ливневых установках "Андырчи" и "Ковер" и на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ). С 1996 г. по июль 2002 г. мировой сетью нейтронных мониторов зафиксировано девять наземных возрастаний СКЛ от вспышек (так называемые события GLE – Ground Level Enhancement). В шести из них зафиксированы возрастания на "Андырчи" и "Ковре". На БПСТ в текущем цикле не обнаружено всплесков интенсивности мюонов во время событий GLE.

В 23-м цикле для отдельных событий GLE подобная работа была выполнена и на других ливневых установках, таких как MILAGRO, GRAND и L3+C.

ОПИСАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Научный комплекс Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) состоит из целого ряда крупных установок для исследования космических лучей и для низкофоновых экспериментов. Обсерватория расположена на Северном Кавказе в долине реки Баксан в точке с географическими координатами 43.28° с. ш. и 42.69° в. д. Все установки расположены у подножья, на склоне или внутри горы Андырчи на высоте 1700 м над уровнем моря (центр установки "Андырчи" находится на высоте 2050 м). Эффективная жёсткость геомагнитного обрезания R_c^{eff} в месте расположения БНО составляет 5.7 ГВ в магнитоспокойное время и 5.6 ГВ в магнитовозмущённые периоды. Расчет R_c выполнен Б. Б. Гвоздевским (Полярный геофизический институт, г. Апатиты) по модели магнитосферы Цыганенко [4].

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ) подробно описан в работе [5]. Эффективная площадь телескопа – 200 м^2, эффективная толщина грунта над БПСТ – 850 м водного эквивалента. Пороговая энергия регистрируемых мюонов – 200 ГэВ. Установка "Ковер" является детектором центральной части ШАЛ и состоит из 400 счетчиков размером 70×70×30 см^3 на основе жидкого сцинтиллятора. Счетчики одним непрерывным слоем покрывают площадь 14×14 м^2. Более подробно "Ковер" описан в работе [6]. Установка "Андырчи" [7] для регистрации ШАЛ расположена на склоне одноименной горы над БПСТ. Состоит из 37 детекторов на основе пластического сцинтиллятора площадью 1×1 м^2 каждый и толщиной 5 см (эффективная площадь для регистрации ШАЛ – $5 \cdot 10^4$ м^2, суммарная площадь сцинтиллятора – 37 м^2). Расстояние между соседними детекторами составляет 40 м.

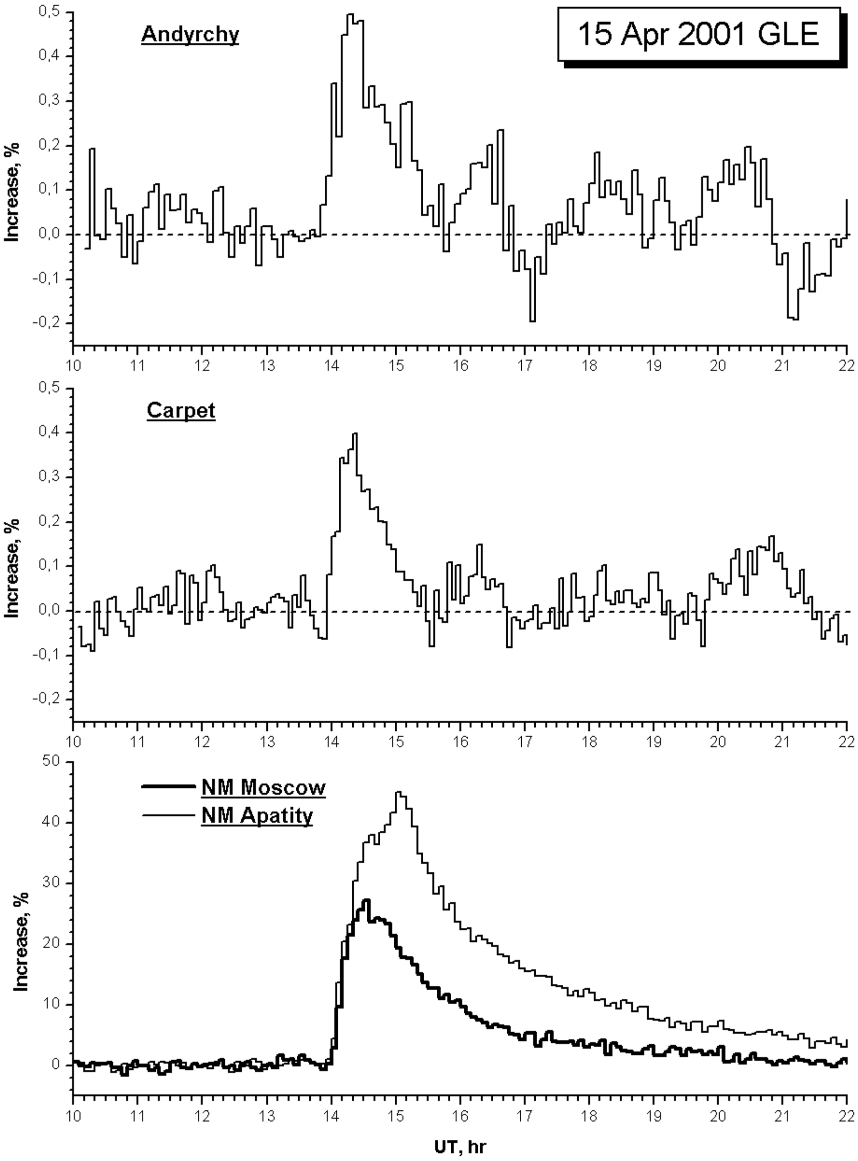
Поиск всплесков интенсивности мюонов на БПСТ во время событий GLE проводился по той же методике, что и в предыдущих 21-м и 22-м циклах солнечной активности. Она достаточно подробно описана в работе [1]. Энергия первичных протонов, вызвавших всплески на БПСТ, превышает 500 ГэВ. Это почти в 100 раз больше энергии регистрации на нейтронных мониторах, обычно использующихся для изучения СКЛ на поверхности земли. В текущем 23-м цикле не обнаружено мюонных всплесков, сравнимых по величине с тремя всплесками, зафиксированными ранее. Возможно, это связано с тем, что 23-й цикл слабее, чем 21-й и 22-й.

Для поиска сигналов во время событий GLE на установках "Андырчи" и "Ковер" использовались данные регистрации одиночных частиц. Темп счета детекторов в этом случае определяется как жестким компонентом (высокоэнергичные мюоны, около 60 % отсчетов), так и мягким компонентом (низкоэнергичные мюоны и электромагнитный компонент, около 40 % отсчетов). Темп счета таких частиц на "Андырчи" составляет 11500 $с^{-1}$, а на "Ковре" – 40000 $с^{-1}$. В анализе использовались 5-мин данные регистрации на "Андырчи" и 4-мин на "Ковре". Статистическая точность составляет в этом случае 0.05 % для "Андырчи" и 0.03 % для "Ковра". При рассмотрении данных ливневых установок важным моментом является исключение вариаций атмосферного происхождения. Величина этих вариаций сравнима или даже больше ожидаемого сигнала от СКЛ на "Андырчи" и "Ковре". В соответствии с теорией метеорологических эффектов [8, 9] для введения поправок необходимо иметь данные измерений атмосферного давления и температурного разреза атмосферы в точке наблюдения. Атмосферное давление непрерывно измеряется на "Андырчи" и "Ковре" с помощью цифровых барографов с точностью не хуже чем 0.1 мбар. Данные аэрологического зондирования температур в атмосфере над пунктом регистрации на Баксане отсутствуют. Осуществляется непрерывное измерение температуры только в приземном слое. В некоторых случаях допускается использование таких данных для введения поправок [8, 9]. Однако следует учитывать, что связь между приземной температурой и вариациями космических лучей является статистической, корреляционной. Поэтому введенные таким способом атмосферные поправки являются довольно грубым приближением. Тем не менее, при усреднении за достаточно длительные интервалы наблюдений такой метод может дать вполне приемлемые результаты. Для коротких интервалов (порядка суток и менее) не гарантируется корректность вводимых поправок. Длительность событий GLE при пороговой жесткости 5.7 ГВ обычно не превышает нескольких часов. Очевидно, что корректное введение атмосферных поправок с использованием только приземной температуры весьма проблематично.

Однако при изучении возрастаний СКЛ используются величина возрастания в процентах относительно фона галактических космических лучей (ГКЛ) до начала возрастания и временной профиль относительной интенсивности. Использование относительной интенсивности существенно упрощает коррекцию метеоэффектов. Достаточно устранить систематический тренд интенсивности, связанный с ходом давления и температуры. Вообще говоря, не требуется коррекции интенсивности по абсолютной величине. Для устранения тренда использовались коэффициенты регрессии, полученные при одновременной корреляции темпа счета установки с давлением и приземной температурой. Мы отдаем себе отчет в том, что приземная температура далеко не всегда отражает изменение температуры в других слоях атмосферы. Такая связь носит статистический, корреляционный характер [8, 9]. Поэтому в случаях, когда коэффициент корреляции оказывался меньше 0.7, температурная коррекция не производилась. Наблюдается значительный разброс значений коэффициентов регрессии для разных периодов наблюдений, что и следовало ожидать исходя из общей теории метеоэффектов [8, 9]. Конечно, примененный метод недостаточно строг, но представляется вполне приемлемым при использовании относительной интенсивности и для коротких интервалов времени (от нескольких часов до суток).

На рисунке представлены данные регистрации СКЛ на различных установках во время вспышки 15 апреля 2001 г. Эта вспышка была одной из самых мощных в текущем цикле и дала наибольшее возрастание на "Андырчи" и "Ковре". На верхней панели рисунка представлены 5-мин данные "Андырчи", на средней – 4-мин данные "Ковра", а на нижней – 5-мин данные нейтронных мониторов Апатиты и Москва. Во всех случаях показано превышение над галактическим фоном в процентах после введения поправок на метеорологические эффекты. В соответствии со стандартной методикой за уровень фона принимался средний темп счета каждой установки в течение часа до начала вспышки. Величина возрастаний на "Андырчи" и "Ковре" оставляет 0.50 % и 0.40 % соответственно. Это примерно в 100 раз меньше, чем возрастание в Апатитах. Такое отличие в первую очередь связано с тем, что спектр СКЛ – падающий, а пороговая жесткость регистрации на Баксане (5.7 ГВ) почти в 9 раз больше, чем в Апатитах (0.65 ГВ). Сигналы величиной 0.5 % не регистрируются на стандартных нейтронных мониторах. Только благодаря высокой статистической точности на "Андырчи" и "Ковре" мы видим достоверный сигнал – 9σ и 13σ в максимуме возрастания.

Таким же методом были проанализированы и другие события GLE. В таблице представлены данные "Андырчи" и "Ковра" во время всех девяти GLE текущего цикла (до июля 2002 г.). Для сравнения приведены также данные нейтронного монитора Апатиты. Во время всех событий име-



Наземное возрастание СКЛ во время солнечной вспышки 15 апреля 2001 г. по данным регистрации на различных установках

ются данные регистрации либо обеих баксанских установок, либо одной из них. В шести событиях из девяти зафиксированы возрастания на баксанских установках, превышающие 3 стандартных отклонения. Все возрастания составляют десятые доли процента. Поэтому не могут быть зафиксированы на нейтронных мониторах с геомагнитным порогом 5–6 ГВ. Таким образом, данные "Андырчи" и "Ковра" позволяют продлить спектр СКЛ в указанных событиях до 5.7 ГВ. Особенно интересны с этой точки зрения GLE 6 мая и 24 августа 1998 г. Даже на высокоширотном НМ Апатиты было зарегистрировано только слабое возрастание величиной около 3 %. На "Андырчи" сигнал составил 0.28 % и 0.31 %, что соответствует 5.0σ и 5.7σ. Это может указывать на наличие жесткого спектра в этих событиях. Кроме того, GLE 24 августа произошло ночью по местному времени, что представляет интерес при изучении анизотропии СКЛ и распространения частиц в магнитосфере Земли и в ММП.

В дальнейшем при получении спектров СКЛ необходимо учитывать отличие функций отклика ливневых установок и нейтронных мониторов на одинаковый поток первичных частиц. Пороговая энергия в обоих случаях определяется геомагнитным обрезанием. Медианная энергия ливневых установок довольно сильно зависит от наклона спектра и изменяется от 25 ГэВ

События GLE 23-го цикла солнечной активности

GLE №, дата	НМ Апатиты	"Андырчи", 5-мин		"Ковер", 4-мин	
	Incr., %	Incr., %	St. dev.	Incr., %	St. dev.
55, 1997, Nov. 6	10.5 (5min)	0.19	3.5	Not operated	
56, 1998, May 2	10 (5min) *	0.30	5.5	0.41	13
57, 1998, May 6	3 (5min)	0.28	5.0	Not operated	
58, 1998, Aug. 24	~2.5 (5min)	0.31	5.7	0.23	6.8
59, 2000, July 14	38 (1min)	Not operated		0.09	2.8
60, 2001, Apr. 15	46 (1min)	0.50	8.9	0.40	13
61, 2001, Apr. 18	17 (1min)	0.42	7.3	0.57	18
62, 2001, Nov. 4	3 (5min)	Lack of increase		Lack of increase	
63, 2001, Dec. 26	7.5 (1min)	Lack of increase		Not operated	

* Data of NM Goos Bay

для галактического спектра до 6 ГэВ для спектра с показателем 6. Верхняя граница диапазона чувствительности "Андырчи" $E_{0,95}$ еще сильнее зависит от формы спектра. Для галактического спектра она равна 900 ГэВ. Для спектра с показателем 6 ее величина составляет всего лишь 12 ГэВ.

ВЫВОДЫ

На двух баксанских ливневых установках "Андырчи" и "Ковер" зафиксировано шесть возрастаний СКЛ из девяти GLE, происшедших в 23-м цикле солнечной активности. Величина сигнала во всех случаях составляет десятые доли процента. Такие возрастания не могут быть обнаружены на НМ с таким же геомагнитным порогом. Только высокая статистическая точность "Андырчи" и "Ковра" позволяет регистрировать значимый сигнал. Благодаря этому появляется возможность продлить спектр СКЛ в этих событиях до 5.7 ГВ. При этом необходимо учитывать отличие функций отклика ливневых установок и нейтронных мониторов.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 01-02-16947.

[1] *Karpov S. N., Miroshnichenko L. I., Vashenyuk E. V.* Muon bursts at the Baksan Underground Scintillation Telescope during energetic solar phenomena // IL Nuovo Cimento.–1998.–**21C**, N 5.–P. 551–573.

[2] *Алексеев Е. Н., Алексеенко В. В., Горчаков Е. В. и др.* Предварительный анализ солнечной вспышки 29 сентября 1989 г. по данным установки "Ковер" Баксанской нейтринной обсерватории // Изв. АН СССР. Сер. физ.–1991.–**55**.–С. 1874–1876.

[3] *Alexeenko V. V., Chernyaev A. B., Chudakov A. E., et al.* 29 September 1989 GLE (Ground Level Enhancement) at Baksan Air Shower Array (BASA) // Proc. 23rd Intern. Cosmic Ray Conf., Calgary.–1993.–**3**.–P. 163–166.

[4] *Tsyganenko N. A.* A magnetospheric magnetic field model with a warped tail current sheet // Planet. and Space Sci.–1989.–**37**, N 1.–P. 5–20.

[5] *Alexeyev E. N., Alexeyenko V. V., Andreyev Yu. M., et al.* Baksan underground scintillation telescope // Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf., Kyoto.–1979.–**10**.–P. 276–281.

[6] *Alexeenko N. A., Alexeenko V. V., Alexeyev E. N., et al.* Baksan CARPET–2 large area muon detector // Proc. 23rd Intern. Cosmic Ray Conf., Calgary.–1993.–**2**.–P. 477–479.

[7] *Алексеев Е. Н., Алексеенко В. В., Бакатанов В. Н. и др.* Установка "Андырчи" для регистрации ШАЛ над Баксанским подземным сцинтилляционным телескопом // Изв. АН.–1993.–**57**, № 4.–С. 99–102.

[8] *Дорман Л. И.* Вариации космических лучей.–М.: Физматгиз, 1957.

[9] *Дорман Л. И.* Метеорологические эффекты космических лучей.–М.: Наука, 1972.

ДВИЖЕНИЯ ХРОМОСФЕРНОГО И ФОТОСФЕРНОГО ВЕЩЕСТВА В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ

Н. Н. Кондрашова

Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
e-mail: kondr@aoku.freenet.kiev.ua

Проанализирована лучевая скорость движений фотосферного и хромосферного вещества во время солнечной вспышки 7 сентября 1990 г. Спектрограммы были получены на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 обсерватории Терскол. Для измерений использованы хромосферная линия H_α и образующиеся в верхних и средних шарах фотосферы фраунгоферовы линии. В течение вспышки в фотосфере и хромосфере наблюдались нисходящие потоки вещества, лучевые скорости которых изменялись с высотой. Наибольшие скорости были в хромосферных слоях.

MOTIONS OF CHROMOSPHERIC AND PHOTOSPHERIC MATERIAL IN A SOLAR FLARE, by Kondrashova N. N. – The line-of-sight velocity of the motions of chromospheric and photospheric matter during the solar flare of September 7, 1990 is analyzed. The spectrograms were obtained using the horizontal solar telescope ATsU-26 of the Terskol Observatory. The chromospheric line H_α and the Fraunhofer lines formed in the upper and middle photospheric layers are used for measurements. A downflow motions with height-dependent velocities were observed in the chromosphere and photosphere during the flare. The largest velocity were measured in the chromospheric layers.

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная вспышка – мощное событие, в процессе которого выделяется огромное количество энергии. Согласно современным представлениям выделение энергии происходит в области корональных петель активных образований, где температура достигает десятков миллионов градусов. В большинстве моделей вспышек основная роль отводится процессам пересоединения, инициированным разного рода неустойчивостями. При этом магнитная энергия превращается в тепловую и энергию ускоренных частиц. Вспышечное возмущение охватывает всю солнечную атмосферу и проявляется во всем диапазоне спектра. Наблюдается усиление яркости и в хромосферной линии H_α. Предполагается, что это усиление является реакцией на события, происходящие в более высоких слоях. Яркость возрастает в течение нескольких минут (флэш-фаза), а затем интенсивность излучения медленно уменьшается (главная фаза). Вспышки в основном делятся на два типа: простые компактные и двухленточные. На H_α-фильтрограммах двухленточные вспышки имеют вид протяженных лент, представляющих собой основания аркад корональных петель. Между лентами часто лежит волокно, расположенное над нейтральной линией магнитного поля. Ленты существуют в течение нескольких часов после начала вспышек. В отличие от слабых компактных вспышек двухленточные характеризуются многократно повторяющимися всплесками жесткого рентгеновского излучения. Для понимания энергетики вспышек важное значение имеет изучение динамики вспышечно-активных областей. Изменения скоростей движения вещества на разных уровнях атмосферы Солнца могут свидетельствовать о разнообразных процессах: выходе новых магнитных потоков, хромосферном испарении, прохождении хромосферных конденсаций.

В настоящей работе поставлена цель на основе имеющегося спектрального наблюдательного материала изучить движения вещества на хромосферном и фотосферном уровнях двухленточной вспышки 7 сентября 1990 г.

Движение вещества в двухленточных вспышках, особенно на фотосферном уровне, мало исследовано. В хромосферных слоях мощной вспышки 16 мая 1981 г. в течение ее главной фазы наблюдалось опускание вещества [1]. Нисходящие потоки хромосферного вещества, соответствующие холодным послевспышечным H_α-петлям, найдены в узкой области и между вспышечными лентами [6, 12]. Одновременные измерения лучевой скорости движения хромосферного и фотосферного вещества во вспышке 3 июня 1979 г. показали, что в ней происходил подъем хромосферного и фотосферного вещества, по-видимому, вызванный выходом нового магнитного потока [4]. Постоянный подъем фотосферного вещества как перед, так и в течение вспышек с максимальным увеличением скорости вблизи максимума интенсивности обнаружен и в работе [7]. В [11] были найдены восходящие движения фотосферного вещества перед белой вспышкой 7 августа 1972 г. и нисходящие движения со скоростью порядка нескольких км/с в ее главной фазе. Таким образом, результаты определения лучевых скоростей неоднозначны и требуется дальнейшее их исследование.

НАБЛЮДЕНИЯ

В 1990 г. сотрудники ГАО НАНУ и АО КНУ с целью изучения изменений физического состояния хромосферного и фотосферного вещества, связанных со вспышками, провели спектральные наблюдения активных областей и вспышек на пике Терскол на ГСТ АЦУ-26. Наблюдения велись с помощью пятикамерного спектрографа в четырех участках спектра. Было получено около 200 фотопластинок со спектрограммами. Пространственное разрешение $2''$. Одновременно со спектрами на видеопленку были записаны H_α-фильтрограммы, полученные с помощью интерференционно-поляризационного фильтра Halle и телевизионной камеры “Интроскоп” [3]. Время наблюдений с точностью до секунд впечатывалось на видеопленку.

Таблица 1. Характеристики наблюдательного материала

Начало вспышки 7.09.1990 балла 1f	Максимумы	Конец	Моменты наблюдений вспышки
5^h24^m	5^h29^m	6^h39^m	узлы 1, 2: $5^h31^m08^s$; $5^h39^m09^s$; $5^h45^m32^s$
–	5^h49^m	–	узлы 3, 4: $5^h31^m48^s$; $5^h40^m09^s$; $5^h51^m43^s$

Одним из наиболее интересных объектов наблюдений явилась вспышка балла 1f, наблюдавшаяся 7 сентября 1990 г. Она возникла в юго-западной активной области, ее координаты S15, W42, сопровождалась всплеском мягкого рентгеновского излучения, балл C7.2. Эта область привлекла внимание наблюдателя Т. И. Редюк еще за 2 часа до вспышки тем, что в ней происходила активизация: поярчания, выбросы. H_α – фильтрограммы для двух моментов наблюдения вспышки приведены на рис. 1.

Вспышка была двухленточной, ее ленты возникли одновременно и были сильно фрагментированы. Выделяются несколько ярких узлов вспышки. Для изучения движений вещества были отобраны спектры, сфотографированные в двух сечениях. В каждом из спектров оказалось по два таких узла. Моменты начала, максимумов и конца вспышки даны в табл. 1. Вспышка имела кратковременную начальную фазу и продолжалась 1^h15^m.

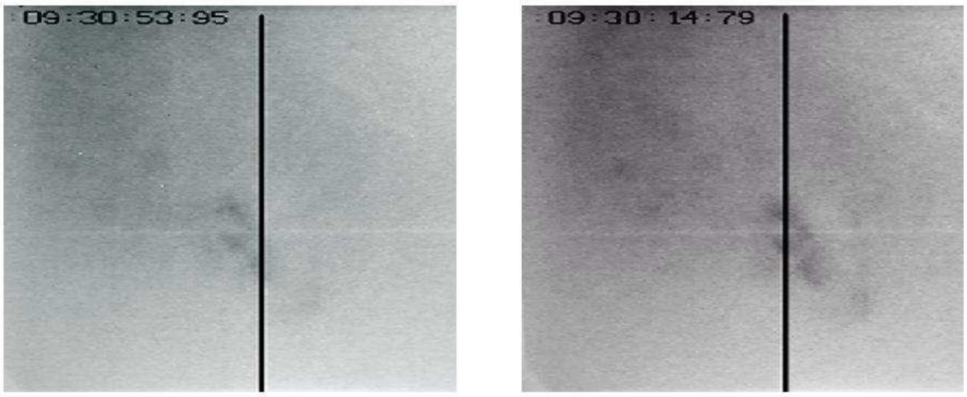


Рис. 1. H_α-фильтрограммы для двух моментов наблюдения вспышки 7 сентября 1990 г. Вертикальная линия показывает положение щели спектрографа

Таблица 2. Характеристики используемых линий

λ, нм	Элемент	N	EPl, эв	W, нм	h_d	h_w
654.6252	Fe I	268	2.76	10.3	390	280
655.4238	Ti II	102	1.44	1.4	218	197
655.5466	Si I	62	5.98	4.0	180	127
655.6077	Ti I	102	1.46	1.4	227	202
655.6806	Fe I	1255	4.79	1.6	164	142
655.9576	Ti II	91	2.05	1.4	200	170
656.2808	H_α	1	10.20	402		

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ

Фотометрическая обработка спектров производилась с помощью измерительного комплекса АМФ2-ZX, созданного в ГАО НАНУ под руководством А. В. Сергеева. Обработаны участки спектра, включающие линию H_α, несколько фотосферных и теллурических линий, для шести моментов главной фазы вспышки через 2, 3, 10, 11, 16 и 23 мин после первого максимума интенсивности вспышки в линии H_α. Характеристики используемых линий приведены в табл. 2: длина волны, элемент, номер мультиплета, потенциал возбуждения нижнего уровня, эквивалентные ширины профилей линий взяты из таблиц [8]. Высоты образования для центральных глубин и эквивалентных ширин профилей фотосферных линий вычислены по программе SPANSAT [2]. Первые охватывают верхние и средние слои фотосферы (от 164 до 390 км).

Линия H_α использовалась для изучения движений вещества в хромосфере. К сожалению, программа SPANSAT не позволяет рассчитать ее высоту образования. Лучевые скорости опре-

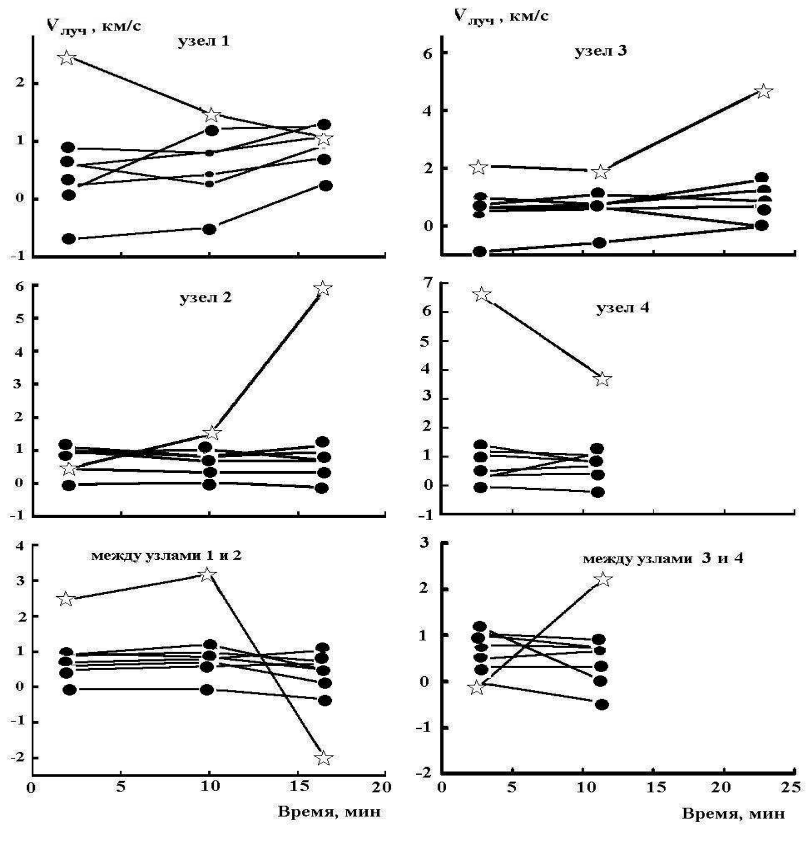


Рис. 2. Изменение лучевой скорости движения хромосферного (звездочки) и фотосферного вещества (кружочки) в течение вспышки в четырех ее узлах и между ними. Время отсчитано от первого H_α-максимума вспышки

делялись по доплеровским смещениям ядер линий в спектрах вспышки относительно лабораторных линий, длины волн которых брались из [10]. В качестве вспомогательных использовались теллурические линии. Их длины волн взяты из [9]. Учтены поправки за красное гравитационное смещение, обращение Земли вокруг Солнца и суточное вращение Земли. Точность измерения лучевой скорости составляет 170 м/с для фотосферных линий и 0.5 км/с для линии H_α. Возможна систематическая ошибка, вызванная неточностями лабораторных длин волн.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изменения лучевой скорости движения хромосферного и фотосферного вещества в процессе развития вспышки для ее четырех узлов приведены на рис. 2. По оси абсцисс отложено время, прошедшее после первого H_α-максимума вспышки. Как в хромосферных (звездочки), так и в фотосферных слоях во всех узлах происходило преимущественное опускание вещества. Наибольшие скорости были в слоях образования ядра хромосферной линии H_α, где они иногда достигали 7 км/с. В некоторые моменты ($5^h31^m48^s$, $5^h40^m9^s$ UT) в линии появлялись эмиссионные компоненты. Сильно прогретое вещество хромосферы двигалось в противоположных направлениях со скоростью 25 км/с, что могло быть следствием хромосферного испарения. Опускание хромосферного вещества в таких случаях связывается с хромосферной конденсацией (например [5]).

Скорости хромосферного вещества в узлах вспышки изменялись во времени по-разному: в первом и четвертом узлах уменьшались, а во втором и третьем увеличились на несколько км/с. На уровне фотосферы лучевые скорости изменялись со временем значительно меньше и их величина для разных высот была в основном 0–1 км/с. Не прослеживается явной зависимости изменения фотосферной лучевой скорости от хромосферной.

В нижней части рисунка приведены скорости движения вещества в пространстве между узлами вспышки на расстоянии 8500–17000 км от них. Зависимости скорости от времени для соседних

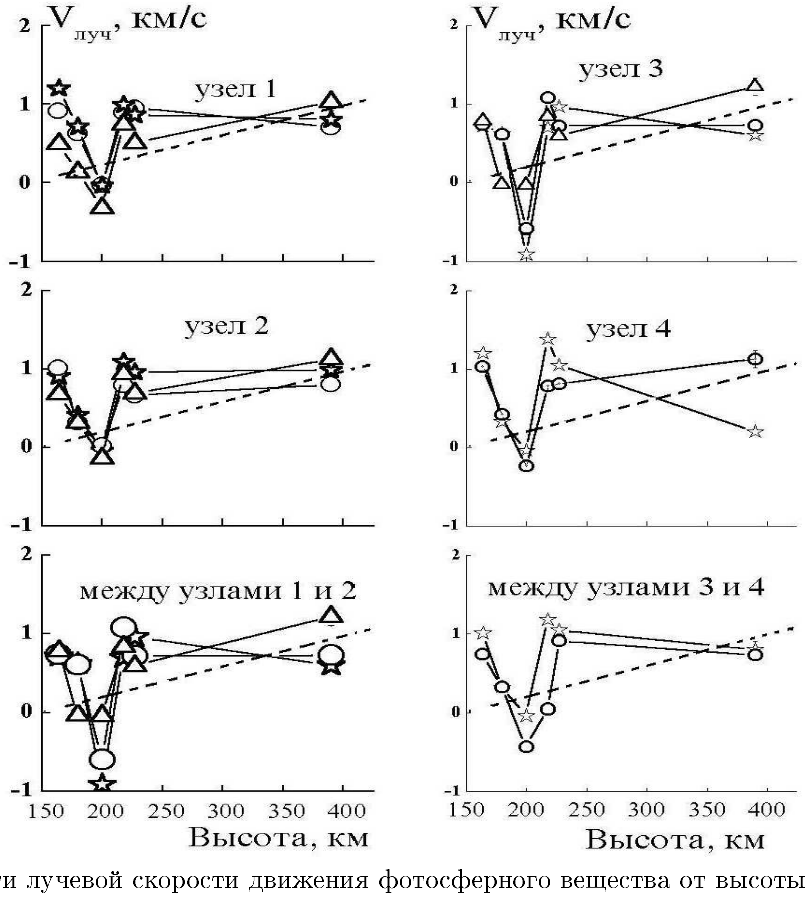


Рис. 3. Зависимости лучевой скорости движения фотосферного вещества от высоты для трех моментов наблюдений вспышки (соответственно звездочки, кружки и треугольники) и для невозмущенной фотосферы (штриховая линия)

хромосферных слоев не похожи на такие зависимости для узлов, а в фотосферных слоях скорости мало отличались по величине от скоростей в узлах.

На рис. 3 приведены зависимости лучевой скорости движения фотосферного вещества от высоты для узлов и пространства между узлами вспышки. Штриховой линией дано распределение скорости по высоте для невозмущенной фотосферы. В невозмущенной фотосфере вещество также двигается от наблюдателя, его скорость уменьшается с глубиной. В верхних слоях фотосферы лучевая скорость близка или меньше ее величины для невозмущенной фотосферы, а в средних, за исключением полученной по линии Ti II λ 655.96 нм для высоты 200 км, больше ее на 0.5–1 км/с. В целом зависимости скорости для разных узлов и мест между узлами похожи. Значительное отличие значений скорости для высоты 200 км, скорее всего, фиктивно. По-видимому, неточна лабораторная длина волны линии Ti II λ 655.9588 нм, т. к. если по ней рассчитать скорость в невозмущенной фотосфере в центре диска, то ее величина сильно отличается от полученных по другим линиям, образующимся на близких высотах.

ВЫВОДЫ

В главной фазе вспышки в хромосферных и фотосферных слоях ее узлов и между ними происходило опускание вещества. Скорость в процессе вспышки заметным образом изменялась только в хромосферном слое образования ядра линии H_α. В двух узлах она увеличивалась со временем до 5–7 км/с, а в двух других уменьшалась. В фотосферных слоях ее величина находилась в пределах 0–1 км/с. В верхних слоях фотосферы лучевая скорость близка или меньше ее величины для невозмущенной фотосферы, а в средних больше ее на 0.5–1 км/с. Не выявлено корреляции временных изменений скорости в хромосферных и фотосферных слоях.

[1] *Аликаева К. В., Барановский Э. А., Полупан П. Н.* Изменение состояния низкотемпературной плазмы в процессе мощной солнечной вспышки // Кинематика и физика небес. тел.–1986.–**2**, № 4.–С. 27–33.

[2] *Гадун А. С., Шеминова В. А.* SPANSAT: программа расчета спектральных линий поглощения в звездных атмосферах в ЛТР приближении.–Киев, 1988.–37 с.–(Препринт/АН Украины, Ин-т теор. физики; ИТФ-88-87Р).

[3] *Данилевський В. О., Еръомін С. С., Рожило О. О.* Інструментальне забезпечення спектральних спостережень активних областей на Сонці // Вісник Київ. ун-ту. Астрономія.–1992.–Вип. 6.–С. 96–100.

[4] *Кондрашова Н. Н., Рудникова Е. Г., Пасечник М. Н.* Движения хромосферного и фотосферного вещества в двухленточной солнечной вспышке // Кинематика и физика небес. тел.–2001.-**17**, № 6.–С. 485–495.

[5] *Fisher G. H.* Dynamics of flare-driven chromospheric condensations // Astrophys. J.–1989.-**346**, N 2.–P. 1019–1029.

[6] *Gu X., Lin J., Luan T., Schmieder B.* Time evolution of a two-ribbon flare: characteristics of post-flare loops // Astron. and Astrophys.–1992.–**259**, N 2.–P. 649–662.

[7] *Harvey K. L., Harvey J. W.* A study of the magnetic and velocity fields in an active region // Solar Phys.–1976.–**47**, N 1.–P. 233–246.

[8] *Moore C. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J.* The solar spectrum 2935 to 8770 Å.–Washington: National Bureau of Standards, 1966.–349 p.

[9] *Pierce A. K., Breckinridge J. B.* The Kitt Peak table of photographic solar spectrum wavelengths // Kitt Peak Contribution.–1972.–N 559.–43 p.

[10] *Piskunov N. E., Kupka F., Ryabchikova T. A., et al.* // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1995.–**112**, N 2.–P. 525–535.

[11] *Rust D. M.* Analysis of the August 7, 1972 white light flare: changes in the magnetic and velocity fields // Solar Phys.–1973.–**33**, N 1.–P. 205–212.

[12] *Schmieder B., Forbes T. G., Malherbe J. M., Machado M. E.* Evidence for gentle chromospheric evaporation during the gradual phase of large solar flares // Astrophys. J.–1987.-**317**, N 2.–P. 956–963.

Workshop A5

Stars. Stellar Variability

Convener: A. Cherepashchuk

Editors: A. Cherepashchuk, B. Zhilyaev

SPECTRAL CLASSIFICATION OF FAINT STARS AND ITS APPLICATION TO THE STUDY OF OPEN CLUSTERS, STAR FORMING REGIONS AND THE GALAXY. I. SPECTRAL TYPES AND LUMINOSITIES OF STARS TO 22.0^m (V) IN THE STELLAR CLUSTERS NGC 2244, NGC 2264, AND NGC 6913

V. Kuznetsov[1], **W. Buscombe**[2], **G. Butenko**[1],
G. Lazorenko[3], **and P. Lazorenko**[3]

[1] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: kouznets@mao.kiev.ua
[2] *Northwestern University, Department of Physics and Astronomy, Dearborn Observatory*
Evanston Illinois 60208-2900 USA
e-mail: buscombe@nwu.edu
[3] *Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: gallaz@mao.kiev.ua, laz@mao.kiev.ua

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЛАБЫХ ЗВЕЗД И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ, ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ И ГАЛАКТИКИ. I. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ТИПЫ И СВЕТИМОСТИ ЗВЕЗД ДО 22.0^m (V) В ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ NGC 2244, NGC 2264 И NGC 6913, Кузнецов В. И., Бускомб В., Бутенко Г. З., Лазоренко Г. А., Лазоренко П. Ф. – Описывается двумерная спектральная классификация 203 членов молодого звездного скопления NGC 2264, соответствующая опубликованным фотометрическим UBV-данным. Для NGC 6913 мы приводим спектральные типы и UBV-величины 36 звезд, полученные с 2-м телескопом обсерватории Терскол.

The two-dimensional spectral classifications of 203 members of the young star cluster NGC 2264 corresponding to published UBV photometry are described. For NGC 6913 we present spectral types and UBV photometry of 36 stars derived with the 2-m RCC telescope of the Terskol Observatory.

INTRODUCTION

A one-dimensional technique of spectral classification for faint O–M stars from their temperature parameters on the basis of UBV photometry was described previously by Kuznetsov *et al.* [9]. Characteristics of the interstellar light absorption dependence on distance in the given direction of the sky are used as a main criterion for excluding possible multiple spectral classifications on the basis of a particular set of values for Q_{UBV}. Spectra for stars to $V = 22^m$ were thus obtained by Kuznetsov *et al.* [9].

In this study we derive the new and improve the existing two-dimensional spectral classifications for members of the open cluster NGC 2264 using the published UBV photometric data. The list for 203 member stars in the open cluster NGC 2264 which were used for the study is given in Table 1. The list has been compiled by Prof. W. Buscombe in the catalogue series of stellar data retrieval under the general title "MK Spectral Classifications" [1]. For this particular region, the data were taken from studies at the Lick Observatory [14, 15], the Uttar Pradesh Observatory [11], the Vatican Observatory [3] and the Siding Spring Observatory [10]. Unfortunately, it contains rather approximate spectra (enclosed in brackets in the column 10 of Table 1) for about a half of faint 13–16^m (V) stars. It was a reason to carry out a new study to obtain better spectral estimates for this cluster.

Table 1. Photometric and spectral characteristics of NGC 2264 stars

N	Name of the star	α	δ	V	$B–V$	$U–B$	Ref.	$Sp(UBV)$	Sp'	Com.	Ref.	Note
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	W2 V 588 Mon 261331	06 39.0	+09 41	9.68	0.27	0.12	W	A7 III	A7 III-IV		W	
2	AB 47469	06 39.2	+09 39	7.74	−0.11	−0.65	W	B3 V	B: V		B	
3	V 589 Mon 261446	06 39.4	+09 42	10.27	0.43	0.10	W	F2 III	F2 III		W	
4	Walker 26	06 39.6	+09 23	11.78	0.48	−0.02	W	G0 IV	(F5 V)		B	
5	Vas. 1	06 39.7	+09 44	12.58	0.62	0.23	S	G2 IV	GO(IV)	S	B	
6	Vas. 2	06 39.7	+09 35	13.33	0.74	0.14	S	G4 IV	(G8 IV)	S	B	
7	Vas. 5	06 39	+09	13.89	0.87	0.37	S	G2 V	(KO IV)	S	B	
8	BD+ 09 1326 261585	06 39.8	+09 28	10.75	0.05	−0.02	W	A0 V	A0 V		Y	
9	BD+ 09 1325 261586	06 39.8	+09 22	10.25	0.34	−0.04	W	F5 III	A7 IV(p?)		W	U:
10	Vas. 12	06 39.9	+09 31	13.73	0.62	−0.23	S	G2 III	(G0 V)	S	B	
11	BD+ 09 1327 261658	06 40.0	+09 23	10.32	0.05	0.07	B	A1 V	A0 V		B	
12	Walker 36	06 40.1	+09 26	10.88	0.03	0.04	W	B9 V	B9 V		Y	
13	Vas. 20 261657	06 40.0	+09 34	11.29	0.57	0.04	S	G2 III	F9(IV)		B	
14	Vas. 22	06 40.2	+09 42	13.22	0.78	0.29	S	G0 IV	F5 V	S X2	Y	
15	Vas. 25	06 40	+09	13.01	0.92	0.37	S	G1 III	K3(IV)		B	~
16	Vas. 26	06 40.3	+09 29	13.32	0.47	0.14	S	F3 V	G2(V)	S	B	
17	Herbig 5 QX MON	06 40.2	+09 38	16.8	–	–	B	–	M1 IV	E	B	
18	BD+ 09 1329 261737	06 40.3	+09 42	10.50	0.29	0.13	W	A6 III	A7 III	N	W	
19	Walker 42 VAS.29	06 40.3	+09 37	13.24	0.84	0.49	W	G7 IV	(G8 IV)		B	
20	Walker 41 VAS.28	06 40.3	+09 36	14.06	0.80	0.36	W	G5 IV	(K0 IV)		B	
21	Herbig 11 LL MON	06 40.4	+09 51	–	–	–	–	–	K2 (IV)	(E)	B	
22	BD+ 09 1330 261736	06 40.4	+09 46	9.19	0.21	0.13	W	A6 III	A5 III	NE	W	
23	Walker 45 VAS.33	06 40.4	+09 36	15.25	0.94	0.74	W	K0 V	(K2 V)		B	
24	Walker 44 KY MON	06 40	+09	15.85	0.58	0.06	W	G2 IV	F9 V	E	B	~
25	Vas. 35	06 40.4	+09 59	13.62	0.97	0.61	S	K0 IV	K3 (IV)	S	B	
26	Walker 49	06 40.4	+09 33	15.34	1.00	0.88	W	K5 V	(K5 IV		B	
27	Vas. 36	06 40.4	+09 25	13.33	0.70	0.37	F	G0 IV	(G5 V)	S	B	
28	Herbig 14 PT MON	06 40.5	+09 50	–	–	–	–	–	K5 IV	(E)	B	
29	Walker 54 VAS.40	06 40.5	+09 50	14.25	1.25	1.03	W	K4 IV	(K7 IV)		B	
30	A V 641 Mon 47732	06 40.5	+09 49	8.16	−0.17	−0.75	S	B3 V	B3 V	N+B 2	Y	
31	V 413 Mon WAL.58	06 40.5	+09 49	15.50	0.97	0.63	W	K2 V	(K3 IV)	E	B	
32	Walker 51	06 40.5	+09 36	15.95	1.52	1.2	W	M4 IV	(M0 IV)		B	
33	Walker 55 NT MON	06 40.5	+09 35	14.60	1.32	0.96	W	K5 IV	(M0 IV)	E	B	~
34	Vas. 38	06 40.5	+09 31	14.40	1.10	–	V	–	(K5 IV)		B	
35	Walker 56 VAS.41	06 40.5	+09 31	14.96	1.48	1.32	W	K5 V	(M0 IV)		B	
36	Herbig 17 LM MON	06 40.6	+09 51	15.28	1.56	–	B	–	(M3 IV)	E	B	
37	Walker 66 VAS.47	06 40.6	+09 47	12.34	0.71	0.12	S	G4 IV	(G5 V)		B	
38	A V 684 Mon 47755	06 40.6	+09 47	8.44	−0.13	−0.60	W	B4 V	B3 V	N X2	B	
39	Walker 67 VAS.47	06 40.6	+09 47	10.83	0.62	−0.43	S	B0 V	B2 V	N	Y	
40	BD+ 09 1333 261783	06 40.6	+09 36	8.28	1.39	1.56	B	–	K3 II-III		W	U:
41	Walker 75	06 40.6	+09 36	15.64	1.38	0.16	W	–	(M0 IV)		B	U:
42	Walker 72 NV MON	06 40.6	+09 35	16.49	1.61	–	B	–	(M2 IV)	E	B	
43	BD+ 10 1217 261809	06 40.7	+10 08	10.74	0.23	0.07	B	A4 IV	(B9 V)		B	
44	Walker 68 VAS.48	06 40.7	+09 55	11.71	0.62	0.15	S	G1 IV	G0 IV-V	N	W	
45	Walker 79	06 40.7	+09 55	15.92	0.50	1.02	W	–	K0 IV	E	B	~
46	Vas. 55	06 40.7	+09 54	13.68	0.84	0.24	S	G4 V	(K0 V)	E	B	
47	Walker 78 LP MON	06 40.7	+09 52	15.40	1.23	−0.42	W	–	M0 IV	E	B	~
48	Walker 80	06 40.7	+09 52	15.25	1.54	0.72	W	M6 IV	(M0 IV)		B	~
49	Walker 81	06 40.7	+09 50	16.27	1.26	0.08	W	–	(K7 IV)		B	U:
50	BD+ 09 1335 261810	06 40.7	+09 46	9.02	−0.10	−0.66	W	B3 V	B5 V	N	W	
51	BD+ 09 1334 47777	06 40.7	+09 39	7.93	−0.14	−0.84	W	B1 V	B2 V	HE-STG	Y	
52	Walker 77 NW MON	06 40.7	+09 35	14.12	1.18	0.88	W	K3 IV	K4 IV	E	B	~
53	Walker 86	06 40.7	+09 34	16.33	1.51	–	W	–	(M0 IV)		B	~
54	Walker 84 VAS.59	06 40.7	+09 33	12.01	0.66	0.09	W	G2 IV	G0 V	E	Y	
55	Walker 85	06 40.7	+09 32	14.98	1.09	0.78	W	K5 V	(K5 IV)		B	
56	Cohen 75	06 40.7	+09 05	–	–	–	–	–	K3(IV)	E	B	
57	Walker 96 LR MON	06 40.8	+09 50	14.00	0.96	0.45	S	K5 IV	K6 (IV)	E	B	
58	Walker 92 VAS.67	06 40.8	+09 49	11.69	0.86	0.48	W	G9 IV	K0 IV p	X2	W	
59	V 590 Mon WAL.90	06 40.8	+09 48	12.76	0.14	0.08	S	A0 V	B8 (V)	PEQ	B	
60	Walker 89 LQ MON	06 40.8	+09 47	16.34	1.05	–	W	–	(K5 IV)	E	B	~
61	Walker 93 VAS.68	06 40.8	+09 46	13.22	0.92	0.65	W	K0 IV	G5 (IV)		B	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
62	Walker 112 261879	06 40.8	+09 39	10.81	−0.02	−0.12	B	B8 V	A0 V		W	
63	Walker 105 LT MON	06 40.8	+09 37	14.94	0.89	−0.28	W	–	K1 (IV)	E	B	~
64	Walker 97	06 40.8	+09 37	16.77	1.17	0.5	W	M5 IV	(M3 IV)		B	
65	Walker 101	06 40.8	+09 33	16.33	1.72	–	W	–	(M3 IV)		B	
66	Walker 102	06 40.8	+09 33	15.67	1.39	1.26	W	K9 IV	(M0 IV)		B	
67	Walker 95 NY MON	06 40.8	+09 33	15.74	1.11	−0.14	W	–	(K6 IV)	E	B	
68	Vas. 65	06 40.8	+09 29	14.35	1.04	0.46	S	K1 V	(K0 IV)		B	
69	Vas. 66	06 40.8	+09 24	14.47	0.98	0.69	S	K0 V	(K0 IV)		B	
70	BD+ 09 1337 261842	06 40.8	+09 22	10.03	0.02	−0.16	B	B9 V	(B7 V)		B	
71	BD+ 10 1219 W.107	06 40.9	+10 02	8.81	−0.06	−0.44	W	B6 V	B6 V	N	Y	
72	Walker 104 VAS.74	06 40.9	+09 53	11.36	0.26	0.14	W	A7 IV	A5 IV		W	
73	F BD+ 09 1338 261878	06 40.9	+09 52	9.08	−0.10	−0.56	W	B5 V	B6 V	N	W	
74	BD+ 09 1336 261841	06 40.9	+09 51	9.98	0.14	0.07	W	A3 IV	A2 IV	E	W	
75	V 347 Mon HER.37	06 40.9	+09 49	16.55	–	–	B	–	M1 IV	(E)	B	
76	Walker 108 VAS.78	06 40.9	+09 45	11.87	0.55	0.06	W	G1 IV	G0 III-IVp	E	W	
77	V 345 Mon HER.33	06 40.9	+09 43	14.50	1.02	0.30	W	–	(K5 IV)	E	B	~
78	Walker 119	06 40.9	+09 37	15.70	1.38	0.67	P	M5 IV	(K7 IV)		B	
79	BD+ 09 1339 261902	06 41.0	+09 34	10.23	−0.03	−0.32	W	B8 V	B8 V		Y	
80	V 419 Mon W.115	06 40.9	+09 33	14.38	1.03	0.59	W	G8 IV-V	K4 (IV)	E	B	
81	Walker 116 VAS.83	06 40.9	+09 31	11.64	0.53	0.05	S	F9 IV	F7 V		Y	
82	Walker 127	06 40.9	+09 30	15.66	1.54	0.96	W	M6 V	(K7 IV)		B	~
83	Vas. 89	06 41.0	+09 56	13.86	0.93	0.37	S	G2 IV	K2 (IV)	N	B	
84	Vas. 90	06 41.0	+09 54	10.50	0.01	−0.31	S	B7 V	(B6 V)		B	
85	Walker 134 VAS.92	06 41.0	+09 55	12.38	0.84	0.05	W	G3 IV	G5 V		Y	
86	AB S Mon 47839	06 41.0	+09 54	4.62	−0.24	−1.08	W	O8 V	O7 V	(F)	Y	
87	C BD+ 10 1220	06 41.0	+09 54	9.88	−0.06	−0.40	W	B7 V	B5 V		Y	
88	E1 47839 E	06 41.0	+09 53	7.6	–	–	B	–	B5 V		B	
89	E2 47839	06 41.0	+09 53	–	–	–	–	–	A0 V		B	
90	V 353 Mon	06 41.0	+09 51	–	–	–	–	–	K0 (IV)		B	
91	Walker 125 VAS.87	06 41.0	+09 48	12.40	0.57	0.06	S	G1 IV	F6-G0 III-Vp		W	
92	Walker 144 VAS.99	06 41.0	+09 48	13.83	1.38	0.33	W	M2 IV	K7(IV)	S	B	
93	Walker 153 LW MON	06 41.0	+09 40	15.86	1.15	−0.13	W	–	K7 IV	E	B	~
94	Vas. 103 W.146	06 41.0	+09 39	14.63	1.11	0.62	W	G7 IV-V	(K6 IV)		B	
95	Walker 126 LU MON	06 41.0	+09 38	15.03	1.15	0.32	B	M6 IV	K6 IV	SE	B	~
96	Walker 122 GQ MON	06 41.0	+09 36	15.98	1.53	0.55	W	M5 IV	(M2 IV)	E	B	~
97	V 350 Mon W.123	06 41.0	+09 36	16.54	1.40	−0.35	W	–	(M0 IV)	E	B	~
98	Vas. 105 W.149	06 41.0	+09 35	14.20	0.99	0.68	W	K6 V	(K5 IV)		B	~
99	V 421 Mon W.136	06 41.0	+09 35	15.16	1.58	1.07	B	M5 IV	(M2 IV)	E	B	
100	Walker 150	06 41.0	+09 35	15.44	1.28	1.22	B	K7 IV	(K7IV)		B	~
101	V 356 Mon W.140	06 41.0	+09 35	16.16	1.59	0.50	W	M5 IV	(M2 IV)		B	
102	Vas. 100 W.141	06 41.0	+09 34	14.70	1.15	0.87	W	K2 IV	(K6 IV)		B	
103	Walker 135 VAS.93	06 41.0	+09 33	14.93	1.03	0.07	W	–	(K5 IV)		B	:
104	BD+ 09 1342 261940	06 41.0	+09 33	10.09	−0.15	−0.36	B	B7 V	B8 V		Y	
105	Walker 139 IP MON	06 41.0	+09 33	13.25	1.29	0.82	W	–	K6(IV)	S	B	~
106	Vas. 109 W.154	06 41.0	+09 31	12.74	0.71	0.12	W	G2 IV	G3 III-IV		W	
107	Walker 133 IO MON	06 41.0	+09 31	13.77	1.08	0.78	W	K6 IV	K6(IV)	E	B	~
108	Vas. 102 W.145	06 41.0	+09 28	10.66	0.05	0.01	B	A1 V	A0 V		W	
109	BC 261903 W.152	06 41.0	+09 27	9.10	−0.07	−0.38	W	B7 V	B8 V	N	B	
110	Walker 138 261904	06 41.0	+09 24	10.21	−0.07	−0.02	F	B9 V	(B8 V)		B	
111	Herbig 52 SS MON	06 41.1	+10 26	13.40	1.30	0.94	B	G6 IV	K3 IV	E	B	
112	BD+ 10 1224 261937	06 41.1	+09 55	10.36	0.36	0.12	B	F0 III	F2 (IV)	N	B	
113	AB 261938 W.142	06 41.1	+09 53	8.97	−0.07	−0.58	W	B4 V	B6 V	N	B	
114	BD+ 10 1222 W.137	06 41.1	+09 52	9.96	−0.37	−0.37	S	B8 V	B5 V	N	Y	
115	Walker 156	06 41.1	+09 48	14.66	1.25	0.69	W	K1 IV	(K7 IV)		B	
116	Walker 161 LX MON	06 41.1	+09 48	14.96	0.67	−0.61	W	–	K5 IV	E	B	~
117	Vas. 107 W.151	06 41.1	+09 47	12.53	0.52	−0.07	W	G2 IV	F8(V)		B	
118	Walker 169 NG2264	06 41.1	+09 44	13.48	0.68	0.26	W	G2 V	K0(IV)		B	
119	Walker 173	06 41.1	+09 43	16.41	1.29	0.77	W	M0 V	(K7 IV)		B	
120	Vas. 129 W.174	06 41.1	+09 41	15.17	1.02	–	S	–	(K5 IV)		B	
121	Herbig 50 PW MON	06 41.1	+09 38	16.3	–	–	B	–	M2 IV	E	B	
122	Walker 159 261939	06 41.1	+09 36	10.96	0.06	0.00	P	–	A0 V		W	
123	V 360 Mon W.164	06 41.1	+09 36	13.43	0.85	0.36	P	G2 IV	G8 V	SE	Y	~
124	Vas. 120 W.163	06 41.1	+09 36	14.05	0.89	0.52	S	G9 V	(K2 IV)		B	
125	Vas. 123 W.167	06 41.1	+09 36	14.09	0.89	0.14	S	G9 V	(K2 IV)		B	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
126	Herbig 49 LY MON	06 41.1	+09 35	15.46	1.02	–	B	–	K5 IV	(E)	B	
127	V 608 Mon W.166	06 41.1	+09 35	16.26	1.53	0.40	W	–	(M2 IV)		B	~
128	Vas. 115 W.157	06 41.1	+09 33	10.06	–0.06	–0.35	W	B6 V	B8 V		Y	
129	Walker 160	06 41.1	+09 33	14.85	0.96	0.67	W	K3 V	(K5 IV)		B	
130	Vas. 111	06 41.1	+09 31	12.74	0.71	0.36	F	G2 IV	G8 V		Y	
131	Walker 162	06 41.1	+09 31	15.28	1.34	0.84	W	–	(M0 IV)		B	
132	Walker 175	06 41.1	+09 31	15.65	1.20	1.09	P	–	(K5 IV)		B	~
133	Vas. 124	06 41.1	+09 28	12.95	1.11	0.12	S	–	K6(IV)	S	B	
134	V 426 Mon HER.54	06 41.1	+09 28	13.16	1.14	–	B	–	K6(IV)	E	B	
135	Vas. 116	06 41.1	+09 24	14.46	0.71	0.04	S	G2 IV-V	(G5 V)		B	
136	BD+ 09 1343 261941	06 41.1	+09 23	10.99	0.15	0.15	S	A2 V	A2 V	E	Y	
137	BD+ 10 1225 261936	06 41.2	+10 08	10.04	–0.05	–0.45	B	B6 V	B8:IV		B	
138	A BD+ 10 1227 221969	06 41.2	+09 53	9.93	–0.03	–0.20	B	B9 V	B8 V	N	B	
139	B Vas. 136 W.181	06 41.2	+09 53	10.03	–0.04	–0.32	W	B8 V	B9 V	N	Y	
140	Walker 184 MM MON	06 41.2	+09 53	14.14	1.00	–0.01	W	K4 V	K3(IV)	E	B	~
141	BD+ 09 1346 262013	06 41.2	+09 36	9.21	–0.06	–0.40	W	B7 V	B8 V	N	Y	
142	Vas. 141 W.190	06 41.2	+09 35	12.38	0.63	0.15	S	G2 IV	G4(V)		B	
143	Walker 176	06 41.2	+09 35	15.79	1.59	0.85	W	M5 IV	(M2 IV)		B	
144	Walker 191	06 41.2	+09 33	15.37	1.34	0.98	W	K6 IV	(K7 IV)		B	~
145	AFGL 899 431 MON	06 41.2	+09 30	16.12	1.41	–	B	–	(M0 IV)	E	B	
146	A 47887 A/W.178	06 41.2	+09 28	7.14	–0.20	-0.97	W	B1 V	B1.5		B	
147	Vas. 140 W.189	06 41.2	+09 27	11.20	0.47	0.21	W	F0 III	F2 V		Y	
148	Vas. 132	06 41.2	+09 27	14.50	1.24	–	B	–	(K5 IV)		B	
149	V 365 Mon VAS.139	06 41.2	+09 26	13.81	0.92	–	P	–	K4 IV	(E)	B	
150	V 591 Mon HER.61	06 41.2	+09 26	13.55	0.84	0.23	S	G3 IV	G – ?	E	Y	
151	V 363 Mon W.183	06 41.2	+09 26	15.22	0.97	0.66	W	K0 V	(K3 IV)	E	B	~
152	Vas. 149 W.196	06 41.3	+09 57	11.46	0.53	–0.05	W	G0 IV	F6-F8 IV		W	
153	V 368 Mon W.200	06 41.3	+09 40	16.95	1.40	–0.67	W	–	(M0 IV)	E	B	~
154	V 432 Mon W.199	06 41.3	+09 34	15.00	1.09	0.29	W	–	K5(IV)	SE	B	~
155	Walker 201	06 41.3	+09 40	15.76	1.04	0.44	W	G2 IV	(K5 IV)		B	
156	Vas. 152 W.198	06 41.3	+09 34	15.32	1.25	0.89	W	K6 IV	K7(IV)		B	
157	Vas. 165 W.209	06 41.3	+09 34	11.31	0.35	–0.02	S	F5 III-IV	F2 V		Y	
158	Vas. 155	06 41.3	+09 32	14.39	1.06	1.12	S	K5 IV	(K5 IV)		B	
159	Vas. 150	06 41.3	+09 30	14.80	1.39	1.13	P	–	(M0 IV)		U	
160	Vas. 154	06 41.3	+09 30	14.02	1.05	0.91	S	K2 V	(K0 IV)		B	
161	Vas. 151	06 41.3	+09 28	15.08	0.92	–0.24	S	–	(K0 IV)		B	~
162	Vas. 156 W.203	06 41.3	+09 27	12.90	0.76	0.18	W	G2 IV	(G8 IV)		B	
163	Walker 205 262041	06 41.3	+09 22	10.60	0.34	–0.04	W	F1 III	(F2 V)		B	
164	AB 47934 W.206	06 41.4	+09 44	8.70	–0.08	–0.43	W	B7 V	B7 V	N	B	
165	Walker 207	06 41.4	+09 43	13.62	1.03	–	B	–	K2 (IV)	S	B	
166	Vas. 170	06 41.4	+09 35	14.39	0.84	–	V	–	(K3 IV)		B	
167	Walker 204 OV MON	06 41.4	+09 34	15.30	1.15	0.47	W	G5 IV	(K5 IV)	E	B	~
168	Vas. 166	06 41.4	+09 34	13.34	0.57	0.11	S	G2 V	(F8 V)		B	
169	Vas. 164 W.208	06 41.4	+09 27	12.63	0.76	0.23	S	G0 IV	(G8 V)		B	
170	Vas. 167 W.210	06 41.4	+09 26	13.43	0.79	0.22	S	G2 IV	(G8 V)		B	
171	Vas. 169	06 41.4	+09 24	12.70	0.44	0.19	S	F0 V	F5: V:		B	
172	BD+ 09 1348 262042	06 41.4	+09 13	8.98	0.09	–0.63	B	B2 V	B2 V		B	
173	C BD+ 09 1350 47961	06 41.5	+09 51	7.48	–0.14	–0.80	S	B2 V	B2.5 V		W	
174	A Vas. 175 262066	06 41.5	+09 50	9.32	0.04	–0.14	B	B9 III-IV	A0 IV-V		W	
175	Vas. 174 W.214	06 41.5	+09 40	13.12	0.80	0.22	S	G1 IV	K0 (IV)	S	B	
176	Vas. 178 W.215	06 41.5	+09 27	13.76	0.93	0.34	S	–	(K0 IV)		B	
177	Walker 217 MO MON	06 41.5	+09 27	13.54	1.22	–	B	–	K5 IV:	SE	B	
178	BD+ 09 1352 262110	06 41.5	+09 19	9.69	0.48	–0.04	W	G0 III	A7: IV:		B	
179	Herbig 73 OW MON	06 41.6	+10 09	14.51	–	–	B	–	K2 IV	(E)	B	
180	BD+ 09 1353 262108	06 41.6	+09 51	9.92	0.14	0.15	B	A3 III	A3 IV	N	B	
181	Herbig 74	06 41.6	+09 45	15.4	–	–	B	–	K6 IV	E	B	
182	Vas. 193	06 41.6	+09 33	12.84	0.54	–0.10	B	G2 IV	F9 (IV)	S	B	
183	Vas. 189	06 41.6	+09 32	14.95	1.30	–	V	–	(K5 V)		B	
184	Vas. 188 W.224	06 41.6	+09 21	11.53	0.66	0.17	S	G2 IV	G2 (IV)	S	B	
185	Herbig 75 OX MON	06 41.7	+10 10	14.5	–	–	B	–	K2 IV	E	B	
186	BD+ 10 1228 48012	06 41.7	+10 02	8.52	1.20	1.18	W	K2 III	K2 II-III		W	
187	BD+ 09 1355 262138	06 41.7	+09 47	9.59	0.15	0.12	W	A4 III	A3-A4 III		W	
188	Vas. 196 W.228	06 41.7	+09 43	11.07	0.36	0.09	W	F1 III	F0 V		Y	
189	Vas. 200 OZ MON	06 41.7	+09 41	14.05	0.96	0.52	S	G9 IV	K5(V)	E	B	
190	Vas. 191 OY MON	06 41.7	+09 40	14.06	1.00	0.22	S	K1 IV	K5 (IV)	SE	B	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
191	Vas. 204	06 41.7	+09 34	14.70	0.94	0.86	S	K4 IV	(K5 IV)		B	
192	Vas. 192	06 41.7	+09 34	14.43	1.95	1.58	S	M4 IV	(M3 IV)		B	
193	V 370 Mon HER.76	06 41.7	+09 32	15.3	–	–	B	–	K4 IV	E	B	
194	Vas. 199 W.230	06 41.7	+09 27	12.45	0.89	0.68	S	K1 IV	K1 IV	S	B	
195	Vas. 205	06 41.8	+09 43	13.18	0.75	0.35	S	G6 IV	K1(IV)		B	
196	Vas. 207	06 41	+09	13.85	0.97	0.44	S	G6 IV	K2 (IV)	S	B	
197	BD+ 09 1356 48055	06 41.8	+09 30	8.96	–0.13	–0.66	W	B3 V	B3 V	N	B	
198	Vas. 217	06 41	+09	14.12	0.89	0.49	S	K1 IV	G7 (IV)	S	B	
199	BD+ 10 1230 262177	06 41.9	+10 01	9.78	–0.12	–0.08	W	B9 V	B9 V		B	
200	Vas. 228	06 42	+09	13.53	1.67	1.25	S	M0 IV	(K9 IV)	S	B	
201	Vas. 238	06 42.2	+09 44	11.21	1.01	1.11	S	K1 IV	K1 (IV)	SE	B	
202	Herbig 83 MQ MON	06 42.2	+09 41	14.56	1.32	0.42	B	K4 IV	K3 IV	(E)	B	
203	BD+ 09 1358 262320	06 42.2	+09 32	9.44	1.44	1.27	B	K1 III	K2 II-III		B	

Notes to Table 1:
B – Buscombe [1];
F – Flaccomio *et al.* [3];
P – Park *et al.* [10];
S – Sagar & Joshi [11];
V – Vasilevskis *et al.* [14];
W – Walker [15];
Y – Young [16];
$\sim$ – variable star;
U:B:V: – unreliable estimates.

Table 2. Possible photometric and spectral characteristics of the star number 29

N	Sp	$(B–V)_0$	$E(B–V)$	A_V	V_0	M_V (MS)	$V_0 - M_V$ (MS)	r (MS)	M_V (ZAMS)	$V_0 - M_V$ (ZAMS)	r (ZAMS)	Sp
1	A0 V	–0.02	1.27	4.06	10.19	0.65	9.54	814	1.3	8.89	597	
2	A5 V	0.15	1.10	3.52	10.75	1.95	8.78	570	2.1	8.65	535	
3	K3 V	1.12	0.13	0.42	13.83	6.65	7.18	270	6.56	7.17	257	K3 V
4	A0IV	–0.02	1.27	4.06	10.19	0.30	8.89	950	–	–	–	
5	A7IV	0.21	1.04	3.33	10.92	1.70	9.22	700	–	–	–	
6	K1IV	0.97	0.28	0.90	13.35	3.10	10.25	1120	–	–	–	K1 IV
7	A0III	–0.02	1.27	4.06	10.19	0.00	10.19	1100	–	–	–	
8	A7III	0.21	1.04	3.33	10.92	1.10	9.82	920	–	–	–	
9	K1III	0.97	0.28	0.90	13.35	0.60	12.75	3550	–	–	–	
10	M5III	1.63	–0.38	0.00	14.25	–0.30	14.55	8130	–	–		
11	A7I	0.21	1.04	3.33	10.92	–6.60	17.52	32000	–	–		
12	F8I	0.53	0.72	2.30	11.95	–6.50	18.45	50000	–	–		
13	K1 I	0.97	0.28	0.90	13.35	–6.00	12.35	75000	–	–		
14	M0 I	1.48	–0.23	0.00	14.25	–5.60	19.85	93000	–	–		

TECHNIQUE OF THE SPECTRAL CLASSIFICATION

We describe here a technique of the two-dimensional spectral classification of O–M stars on temperature parameters and luminosity classes in application to members of the cluster NGC 2264.

As an example we use the photometric data for star 29 in Table 1, for which [15] gives $V = 14.25$, $B-V = 1.25$ and $U-B = 1.03$. From these data we calculate the value $Q_{UBV} = (U-B)-X(B-V) = -0.03$, where $X = E(U-B)/E(B-V) = 0.85$ [13]. Using the value $Q = -0.03$, we find a set of 14 possible spectra and other individual characteristics of the star which are listed in Table 2.

Distances r to the stars and intrinsic distance module $V_0 - M_V$ for the dwarf luminosity class were calculated and given in Table 2 for the two absolute magnitude scales: the cluster zero-age-main-sequence (ZAMS) scale and a background main sequence (MS) scale [12].

To eliminate the multiplicity of spectral classifications, we used information on the distribution

Table 3. Photometric and spectral characteristics of the star number 29 for spectra K4 V and K4 IV

Sp	$(B-V)_0$	$E(B-V)$	A_V	V_0	$M_V(MS)$	$V_0-M_V(MS)$	$M_V(ZAMS)$	$V_0-M_V(ZAMS)$	Sp
K4 V	1.06	0.19	0.61	13.64	7.0	6.64	6.9	6.74	K4 V
K4 IV	1.22	0.03	0.10	14.15	3.5	10.65	–	–	K4 IV

of absorbing dust in the interstellar medium along the given direction. According to [6] and [15], up to distances smaller than $r = 760$ pc from the Sun where the cluster NGC 2264 is located, there is practically no dust matter. Circumstellar light absorption is here $A_V = 0.26^m$. Beyond the cluster, at distances 1.0 to 1.5 kpc from the Sun, which corresponds to the distance modulus 10 to 11 mag, there are located dust clouds with immersed T Tau stars, and with an absorption up to $A_V = 2.60$ [8]. At yet greater distances, there is a much denser practically opaque dust cloud that totally shields the light of background stars.

The pairs of real values $E(B-V)$ and $(V_0 - M_V)$ from Table 2 should conform with the described picture of the absorption of light for cluster members and satisfy the following conditions:

$$E(B-V) = \overline{E(B-V)} \pm 3\sigma_{E(B-V)}, \quad (V_0 - M_V) = \overline{(V_0 - M_V)} \pm 3\sigma_{(V_0-M_V)}, \tag{1}$$

where $\overline{E(B-V)}$ and $\overline{(V_0 - M_V)}$ are average values for the cluster, and $\sigma_{E(B-V)}$, $\sigma_{(V_0-M_V)}$ are standard errors of their determination.

It should be noted that some field stars can contaminate a list of cluster members and condition (1) could not be satisfied for any spectrum from Table 2. In these rare cases it is necessary to use spectra which satisfy inequalities (2), (3) with distance moduli calculated on a scale of absolute magnitudes $M_V(MS)$:

$$E(B-V) < \overline{E(B-V)} \pm 3\sigma_{E(B-V)}, \quad (V_0 - M_V) < \overline{(V_0 - M_V)} \pm 3\sigma_{(V_0-M_V)} \tag{2}$$

for foreground stars and

$$E(B-V) > \overline{E(B-V)} \pm 3\sigma_{E(B-V)}, \quad (V_0 - M_V) > \overline{(V_0 - M_V)} \pm 3\sigma_{(V_0-M_V)} \tag{3}$$

for stars of the remote background, *i. e.*, stars located far behind the cluster. Conditions (1) – (3) are criteria useful to bypass possible errors in membership studies.

An average colour excess $\overline{E(B-V)} = 0.08^m$ and average distance modulus $\overline{(V_0 - M_V)} = 9.40$ for the cluster NGC 2264 have been derived in [8], [6] and [15]. According to [7], errors in determination of colour excesses and intrinsic distance moduli are $\sigma_{E(B-V)} = 0.10^m$ and $\sigma_{(V_0-M_V)} = 0.80^m$, though in some rare cases the errors $\sigma_{(V_0-M_V)}$ can reach $\pm 1.00^m$. Therefore, a system of inequalities (1) – (3) in our case can be rewritten as: $-0.22^m < E(B-V) < 0.38^m$, $7.00^m < (V_0 - M_V) < 11.80^m$ for cluster members; $-0.30^m < E(B-V) < 0.38^m$, $0.00^m < (V_0 - M_V) < 11.80^m$ for stars of the foreground; and $-0.38^m < E(B-V)$, $11.80^m < (V_0 - M_V)$ for background stars.

The two possible spectra K3 V and K1 IV in Table 2 satisfy the system of inequalities (1). The average of these two estimates is K2 IV–V. Having calculated a value Q_{UBV} with a coefficient $X = 0.95$ valid for the spectral type K2 IV–V [13], we obtain $Q_{UBV} = -0.16$. So, the final estimate of the spectrum is Sp = K4 IV–V.

Now the luminosity class of the star with the serial number 29 can be determined more accurately. For this purpose we calculate individual characteristics of this star with the spectra K4 V and K4 IV (Table 3). The mean value of V_0 for spectra K4 V and K4 IV is 13.90^m. With this value, using condition (1) we find $V_0 - M_V = 9.40^m \pm 2.40^m$ which yields $2.10^m < M_V < 6.70^m$. The last limitation allows to reject a value $M_V = 7.0^m$, thus $Sp(UBV)$ = K4 IV is finally obtained with $M_V = 3.5^m$. This is an improved estimate which agrees relatively well with a preliminary spectrum K7 IV given in [1].

Table 4. Photometric and spectral characteristics of NGC 6913 stars

N	α	δ	V	$U-B$	$B-V$	Sp	N	α	δ	V	$U-B$	$B-V$	Sp
1	20 23 25	38 33 55	15.507	0.185	1.023	G2V	19	20 23 47	38 31 34	15.052	0.594	0.931	G0
2	20 23 29	38 33 50	14.214	0.325	0.912	G0V	20	20 23 27	38 31 37	15.158	0.066	0.986	B5
3	20 23 38	38 34 50	15.280	0.485	0.942	G1V	21	20 23 29	38 31 36	14.871	0.508	1.232	B7V
4	20 23 46	38 34 39	13.678	0.053	0.645	G2V	22	20 23 49	38 31 11	15.424	0.780	0.918	K5V
5	20 23 54	38 34 37	14.521	0.448	0.833	G1V	23	20 23 36	38 31 11	16.876	0.282	0.969	G2
6	20 23 36	38 34 28	14.597	0.055	0.745	G2V	24	20 23 28	38 31 26	13.822	0.582	0.946	G7
7	20 23 51	38 34 15	14.685	0.540	1.021	G3V	25	20 23 24	38 31 20	12.945	1.226	1.771	M5
8	20 23 23	38 33 29	14.709	0.522	0.957	G2V	26	20 23 46	38 31 16	12.321	0.039	0.658	B5
9	20 23 22	38 33 26	15.095	0.596	0.982	G0V	27	20 23 55	38 30 49	15.326	0.329	0.930	G0
10	20 23 57	38 33 12	15.432	0.782	0.946	K2V	28	20 23 33	38 30 45	15.225	0.714	0.892	K6
11	20 23 54	38 33 11	13.565	0.864	0.851	K3IV	29	20 23 46	38 30 39	16.292	0.691	0.867	G3V
12	20 23 24	38 32 36	14.276	0.663	1.224	K0	30	20 23 34	38 30 36	15.411	0.392	1.048	G4V
13	20 23 50	38 32 33	15.195	0.293	0.840	G0V	31	20 23 36	38 30 29	14.087	0.157	0.768	G3V
14	20 23 50	38 32 17	13.905	0.647	0.935	G2V	32	20 23 51	38 30 21	14.622	0.377	0.982	G3
15	20 23 23	38 32 09	15.023	0.406	1.061	K5V	33	20 23 35	38 30 20	14.619	0.501	0.910	G2
16	20 23 57	38 32 02	14.693	0.943	0.940	K5V	34	20 23 48	38 30 18	14.266	0.643	1.046	G3
17	20 23 47	38 31 46	15.452	0.823	0.907	K5V	35	20 23 49	38 30 15	14.449	0.437	1.020	G2
18	20 23 56	38 31 50	14.564	0.497	0.902	F7	36	20 23 29	38 30 05	14.182	0.218	0.843	G2

SPECTRAL CLASSIFICATIONS FOR OPEN CLUSTERS NGC 2244, NGC 2264, AND NGC 6913

Spectra of stars, obtained in the way described are given in Table 1. In the first seven columns of the table, serial numbers, star names, coordinates α and δ at the epoch J2000.0, magnitudes V, and colour indices are given. The eighth column contains references to the photometric data sources; in the ninth column the spectral characteristics of stars $Sp(UBV)$ obtained in this study on the basis of UBV photometry are given. In the tenth, eleventh and twelfth columns are given spectral characteristics found by other authors, remarks to these spectra, and references on data sources. The thirteenth column contains supplementary notes.

Spectral types of 17–22^m (V) stars in the direction of NGC 2264, and of 14^m (V) stars in the direction of NGC 2244 derived from UBV data are given in [9]. The UBV magnitudes for stars of NGC 6913 were measured with the two-channel focal reducer [4] at the 2-m RCC telescope of the Terskol Observatory. During the observations we used the U filter DUG11 ($\lambda_0^\alpha = 338$ nm, $\Delta\lambda = 93$ nm); the B filter BB+BG39/2 ($\lambda_0^\alpha = 431$ nm, $\Delta\lambda$=128 nm) and the V filter ($\lambda_0^\alpha = 531$ nm, $\Delta\lambda = 93.3$ nm). The exposures ranged from 10 to 600 s in the U band, from 10 to 300 s in the B band, and from 10 to 600 s in the V band. The reduction of the measured ubv magnitudes was performed using 11–14^m photoelectric standards [5] in the same frame. A linear transformation $U = a_1 + b_1 u$, $B = a_2 + b_2 b$, $V = a_3 + b_3 v$ with $a_1 = 23.64$, $a_2 = 25.78$, $a_3 = 26.09$, $b_1 = 0.96$, $b_2 = 0.97$, $b_3 = 0.96$ was applied. Standard deviations for photometric magnitudes of stars used as standards [5] were estimated to be $\pm 0.02^m$, $\pm 0.03^m$ and $\pm 0.01^m$ in the UBV bands, respectively. An internal accuracy for the target stars was found to be $\pm 0.09^m$ for U, B magnitudes and $\pm 0.005^m$ for V. For 36 stars of NGC 6913 in Table 4 we give their positions α and δ at the epoch J2000.0, V magnitudes, colours $U-B$, $B-V$ and spectra Sp derived from the photometric data.

In this study we present first results of the spectral classification for faint stars that can be applied for solving many problems of modern astrophysics and stellar astronomy.

[1] *Buscombe W.* MK Spectral Classifications (Series of General Catalogues).– Evanston, Illinois: Northwestern University, 1974–1999.

[2] *Cohen M., Kuhi L. V.* Observational studies of "PPE-main sequence evolution" // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1979.–**4**.–P. 743–843.

[3] *Flaccomio E., Micela G., Sciortuno S., et al.* BVRI photometry of the star-forming region NGC 2264: the initial mass function and star-forming rate // Astron. and Astrophys.–1999.–**345**.–P. 521–531.

[4] *Jockers K., Credner T., Bonev T., et al.* Exploration of the Solar System with the two-channel focal reducer of the 2m-RCC telescope of Pik Terskol Observatory // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.–2000.–**3**.–P. 13–18.

[5] *Kazanasmas M., Zaversheva L., Tomak L.* Atlas and catalogue of stellar photoelectric standard magnitudes.– Kiev: Naukova dumka, 1982.–220 p. (in Russian).

[6] *Khalandadze N. B., Kuznetsov V. I., Voroshylov V. I.* The investigation of the NGC 2264 star formation region // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.–1986.–**2**.–P. 27–34.

[7] *Kuznetsov V. I.* Classification of stars according to unwidened low-dispersion spectra and some results of its application for studying the Galactic structure // Astrometriya i Astrofizika–1978.–**34**.–P. 30–43. (in Russian).

[8] *Kuznetsov V. I.* The structure and evolution of star-forming regions.–Kiev: Naukova dumka, 1990.–222 p. (in Russian).

[9] *Kuznetsov V. I., Butenko G. Z., Lazorenko G. A., Lazorenko P. F.* Spectral classification of O–M stars on the basis of UBV photometry // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–2000.–**142**.–P. 389–398.

[10] *Park B.* The pre-main-sequence stars and initial mass function of NGC 2264 // Astron. J.–2000.–**120**.–P. 894–908.

[11] *Sagar R., Joshi U. C.* Study of the open cluster NGC 2264 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1983.–**205**.–P. 747–758.

[12] *Schmidt-Kaler Th.* Physical parameters of the star. Landolt-Bornstein Numerical data and functional relationship in science and technology.–Berlin: Springer Verlag, 1982.–P. 1–34.

[13] *Strayzis V.* Multicolour photometry of stars. Photometric systems and methods.–Vilnius: Mokslas, 1977.–250 p.

[14] *Vasilevskis S., Sanders W. L., Balz A. G.* Membership of the open cluster NGC 2264 // Astron. J.–1965.–**70**.–P. 797–805.

[15] *Walker M. F.* Studies of extremely young clusters: I.NGC 2264 // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1956.–**2**.–P. 365–387.

[16] *Young A.* Differential reddening in the young cluster NGC 2264 // Publs Astron. Soc. Pacif.–1978.–**534**.–P. 144–148.

THE CATACLYSMIC BINARY KR AURIGA IN FEBRUARY 2002: FLICKERING AND OSCILLATIONS

I. Verlyuk[1], **B. Zhilyaev**[1,2]

[1] *Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: irina@mao.kiev.ua

[2] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine

КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ KR AURIGA В ФЕВРАЛЕ 2000 г.: МЕРЦАНИЕ И КОЛЕБАНИЯ, Верлюк И., Жиляев Б. – KR Aur известна как антикарликовая новая в тесной двойной системе, состоящей из белого карлика и красного карлика с орбитальным периодом 3.91 часа. Мы представляем первые результаты высокоскоростного мониторинга KR Aur в течение трех ночей в феврале 2002 г., полученные на 2-м телескопе обсерватории Терскол в полосе U с временным разрешением 0.1 с. Наши наблюдения показали, что KR Aur была в ярком состоянии. Были обнаружены быстрые мерцания (фликеринг) и колебания с амплитудами от нескольких сотых до нескольких десятых звездной величины на временном масштабе от нескольких секунд до нескольких минут. Полная мощность быстрых вариаций составляет приблизительно 1.2 % в полосе U. Обнаружено колебание в окрестности 0.04 Гц со временем когерентности не меньше чем 7000 циклов. Амплитуда колебания около 0.6 % в полосе U.

KR Aur is known as an anti-dwarf novae in a close binary system consisting of a white dwarf and a red dwarf with orbital period of 3.91 hours. We present first results of the high-speed monitoring of KR Aur during three nights in February 2002 with the 2-m RCC telescope at Terskol Peak in the U band with a time resolution of 0.1 s. Our observations revealed that KR Aur was in its bright state. Rapid flickering and coherent oscillations were observed with amplitudes of some hundredths to some tenths and on time scales of some seconds to some minutes. The total power of short-term variations amounts to about 1.2 % of stellar luminosity in the U band. A coherent oscillation around 0.04 Hz is seen during several nights. Its coherence time is of no less than 7000 cycles. The pulsed fraction is 0.6 % in the U band.

INTRODUCTION

KR Aur is classified as an anti-dwarf novae. From time to time it exhibits brightness drops by a considerable amount, the flickering activity with amplitudes to some tenth of a magnitude on wide time-scales, monochromatic and quasi-periodic oscillations with periods of seconds to minutes in the optical and in the X-rays range. KR Aur has been observed photometrically during the high state in the U band with the 2-m telescope at Terskol Peak equipped with a high-speed two-channel photometer in the period of February 8–10, 2002. The sampling time of 0.1 s and the exposure time up to one hour were used. The light curve were found highly variable on time scales from seconds to minutes. Simultaneous light curves of a reference star during the observing runs show brightness fluctuations, which did not exceed photon noise.

FLICKERING

A phenomenon called flickering is present in all dwarf novae in all stages of activity [1]. This is the random brightness variations with a continuous distribution in frequency. Flickering activity has been claimed to arise from the hot disk close to the white dwarf. The frequency distribution gives some indication about the geometrical extent of the flickering source, namely there is either a point-like source or an extended optically thick one. Our observational data permit to trace the flickering properties up to 5 Hz. As it can be seen below the KR Aur flickering drops practically to zero on time-scales as short as 5 s.

In view of random nature of flickering, there is some difficulties to detect intrinsic small fluctuations hidden by noises. A new promising tool for solving the problem concerns the theory of count statistics. The intrinsic activity can be detected using the the factorial moments [3]

$$\left\langle \frac{n!}{(n-k)!} \right\rangle = \langle n(n-1)...(n-k+1) \rangle = n_{[k]}, \tag{1}$$

where the angle brackets denote time average. It is convenient to use the normalized factorial moments

$$h_{[k]} = \frac{n_{[k]}}{\langle n \rangle^k}.$$

In the case of the Poisson statistics it may be shown that all the moments $h_{[k]} \equiv 1$ identically for any k. Hence, if any $h_{[k]}$ differs from one significantly, we may affirm that variability is detected.

To detect activity of KR Aur on the shortest time-scales the above mentioned relation was applied. The expression for the factorial moment of second order

$$\varepsilon = \frac{\sigma^2 - \langle n \rangle}{\langle n \rangle^2} = h_{[2]} - 1$$

specifies the relative power of fluctuations ε in the frequency domain $\Delta f = \left(\frac{1}{2\Delta t} - \frac{1}{N\Delta t}\right)$, where Δt is the sampling time, N is the length of the data segment, $\langle n \rangle$ and σ^2 are the sample mean count rate and the variance, respectively. Choosing the appropriate values of N and Δt one can calculate the power spectrum of fluctuations by averaging of ε over time. The standard deviation for $h_{[2]}$, as shown by Zhilyaev *et al.* [5], is defined by the relation

$$std(h_{[2]}) \simeq \frac{1}{\langle n \rangle}\sqrt{\frac{1}{N}}.$$

The actual value of ε caused by atmospheric scintillation can be determined from the measurements of a reference star. The difference in ε between the observed relative power of the star and that of the atmospheric scintillation is taken to be the intrinsic ε – spectrum of star.

Fig. 1 shows portions of the light curves of KR Aur and its reference star. Raw U data indicate obvious variability on KR Aur with amplitude about of 0.15 mag. At the same time, a reference star shows brightness variations, which did not exceed photon noise. A demonstration of the ε-technique is shown in Fig. 2. The ε-spectrum of a reference star does not overflow the 95 % confidence barrier.

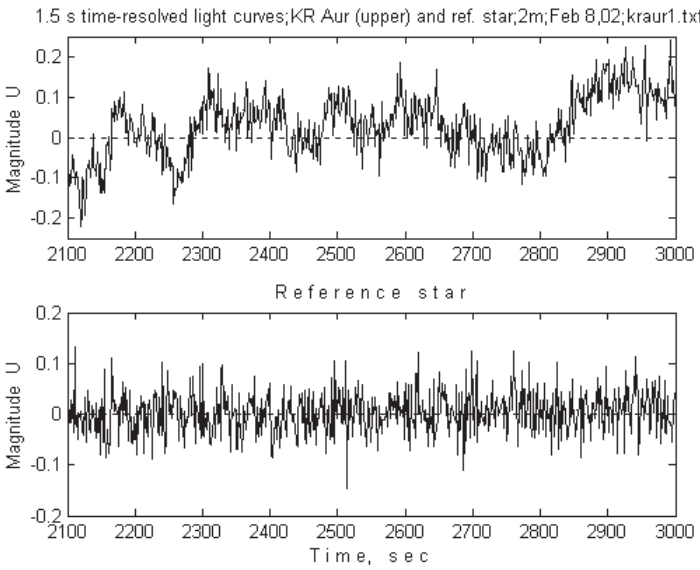


Figure 1. The time-resolved (1.5 s) light curves of KR Aur (top) and of a reference star (bottom) on February 08, 2002. Terskol Peak, the 2-m telescope, the U band

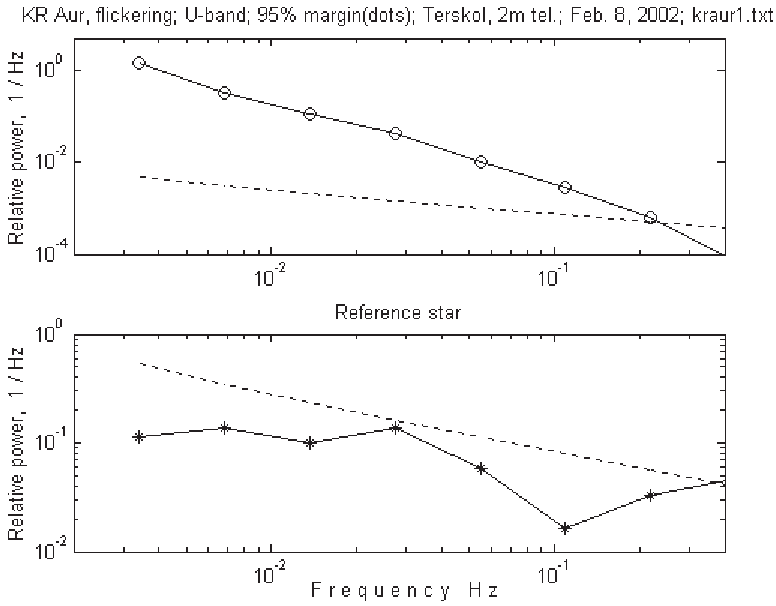


Figure 2. The relative power spectra of KR Aur (top) and of a reference star (bottom). The upper 95 % confidence level is shown as the dashed line

The distinctly different situation occurs in the case of KR Aur. The ε-spectrum indicates clearly the presence of activity in the range 0.003–0.2 Hz. Relative power of short-term variations on KR Aur is found to be about 1.2 % of the total luminosity in the U band. For frequencies higher 0.2 Hz flickering lies under the threshold level.

If the fluctuations are due to randomly occurring light pulses (shot noise), than the shape of the power spectrum, according to the Carson theorem, is the same that for any individual pulse [4]. In the case of shot noise the rate of the pulses, their effective length can be established from the continuous power spectrum for low frequencies. A competing mechanism producing the variability in optical luminosity can be accounted for by more or less periodic light source. Observations give evidence for the presence of such periodicities.

OSCILLATIONS

Besides of flickering, the coherent oscillations are seen to occur in dwarf-novae in their bright state on time-scales of typically 10 to 30 s, amplitudes of 0.0005 to 0.005 mag [1].

To investigate the oscillation frequency spectra the light curves in the U band were subjected to the standard power spectrum analysis. To detect small oscillations, large intensity variations were first removed. We apply the high-pass digital filtering, the cutoff frequency value of 0.02 Hz was employed. The Tukey spectral window was used in this analysis [2]. The normalized power spectra of KR Aur on Feb. 8, 2002, 17:28 UT; Feb. 10, 2002, 17:00 UT; Feb. 10, 2002, 17:53 UT are shown in Fig. 3. The normalized power evaluates a contribution of the harmonic to the total variance. The frequency resolution in all the spectra is 0.0009 Hz. The 99 % confidence level for the white noise data is shown as the dashed horizontal line. Inspection of the power spectra reveals that all the significant harmonics (0.023, 0.029, 0.039, 0.059 Hz) appear being similar to coherent oscillations. The harmonic at 0.039 Hz is very stable and is present for two days, other harmonics are present at any rate for two sets of observations lasted about 2 hours. They showed the coherence time of no less than 7000 and 150 cycles, respectively. The pulsed fraction of the U radiation is of typical value of 0.006 mag at all events.

As mentioned above, high-pass digital filtering of the light curves was applied to study short-term variations. The well-defined long-period oscillations are clearly seen in Fig. 1 as well. The power spectrum analysis had shown the low-coherent oscillations with the periods of 125, 69, 61, 56 and 51 s. These harmonics were, however, eliminated from consideration as being less trustworthy.

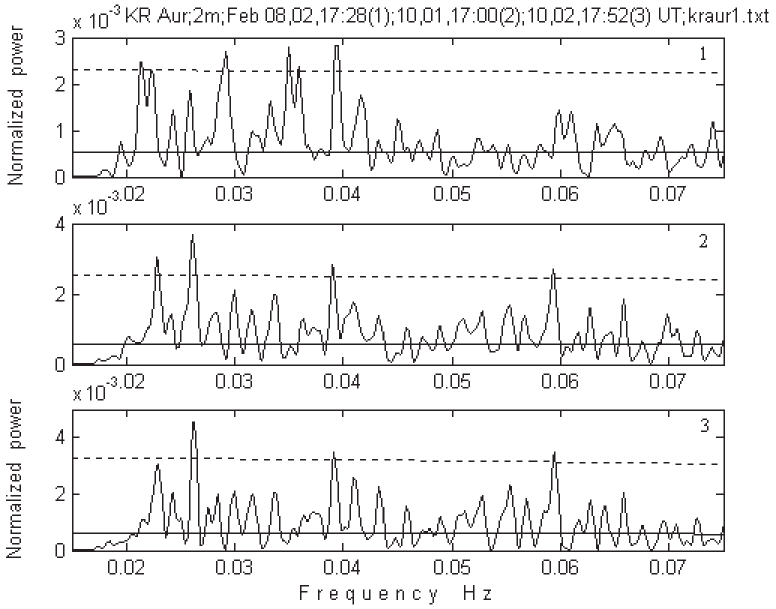


Figure 3. The power spectra of KR Aur on Feb. 08, 2002, 17:28 (1); Feb. 10, 17:00 (2); Feb. 10, 17:52 (3) UT. The 95 % confidence level for noise peaks is shown as the dashed line

FLICKERING OR OSCILLATIONS ?

What really results in variability: flickering or oscillations? A typical power spectrum of flickering shows a continuous density distribution. The power spectra of KR Aur showing multi-peak structure, point rather to oscillations as the most favored mechanism. One can assume that the oscillation frequency may be identified with the Keplerian frequency in the hot disk around the white dwarf. The Keplerian frequency for a $0.5M_{\odot}$ white dwarf nearly its surface is $\sim$ 0.070 Hz. Some orbits by the inner edge of the disk may be disrupted leading to random light pulses formation on the surface of the white dwarf. The maximum oscillation frequency of 0.059 Hz corresponds to the Keplerian orbit at a distance of the 1.12 white dwarf radius.

CONCLUSION

The high-speed monitoring of the anti-dwarf novae KR Aur in its bright state was performed during three nights in February 2002. The total power of short-term variations, rapid flickering and oscillations was evaluated to amount to about of 1.2 per cent of that the star radiates in the U band. A coherent oscillation around 0.04 Hz with coherence time of no less than 7000 cycles is seen. The pulsed fraction is 0.6 % in the U band. It was found that the flickering drops practically to zero for frequencies higher 0.2 Hz. The power spectra of KR Aur point to oscillations as the mechanism most favored to its variability in bright state.

[1] *la Dous C.* Dwarf Novae and Nova-Like Stars // Cataclysmic Variables and Related Objects, NASA SP–507.–1993.–P. 15–258.

[2] *Jenkins G. M., Watts D. G.* Spectral Analysis and its Applications.–San Francisco: Holden–Day, 1969.

[3] *Klauder J. R., Sudarshan E. C. G.* Fundamentals of Quantum Optics.–New York, Amsterdam: W. A. Benjamin, Inc., 1968.

[4] *Terrell J., Olsen K.* Power Spectrum of 3C 273 Light Fluctuations // Astrophys. J.–1970.–**161**.–P. 399-413.

[5] *Zhilyaev B. E., Verlyuk I. A.* Observations of High-Frequency Activity of EV Lacertae // Flares and Flashes / Eds J. Greiner, H. W. Duerbeck, R. E. Gershberg.–Berlin: Springer–Verlag, 1995.–P. 82–84.

OBSERVATIONS OF STELLAR IMAGE MOTIONS WITH THE SYNCHRONOUS NETWORK OF TELESCOPES

B. Zhilyaev[1,2], Ya. Romanyuk[1], O. Svyatogorov[1], I. Verlyuk[1], V. Tarady[2], A. Sergeev[2], N. Karpov[2], M. Lovkaya[3]

[1] *Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: zhilyaev@mao.kiev.ua

[2] *International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research*
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine

[3] *Crimean Astrophysical Observatory*
Nauchny, 98409 Crimea, Ukraine

НАБЛЮДЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗД С СИНХРОННОЙ СЕТЬЮ ТЕЛЕСКОПОВ, Жиляев Б., Романюк Я., Святогоров О., Верлюк И., Тарадий В., Сергеев А., Карпов В., Ловкая М. – Обнаружение движения изображений звезд стало возможным благодаря использованию Синхронной сети удаленных телескопов, которая открывает новый путь для детектирования маломасштабной переменности звезд. Точность звездной фотометрии на уровне 0.001 зв. вел. и миллисекундная точность координатных измерений в оптике кажутся отдаленными перспективами для большинства наземных наблюдателей. Движения изображений звезд во время экспозиции может служить источником дополнительных фотометрических ошибок и ограничивать точность позиционных измерений. Главная цель этой работы состояла в том, чтобы обнаружить эффект движения изображений звезд в фокальной плоскости нескольких удаленных телескопов, работающих синхронно. Отметим, что такой эффект, составляющий несколько десятых долей угловой секунды, находится на пределе обнаружения при ординарных измерениях с одиночным телескопом.

Stellar Image Motions (SIM) discovery became possible due to the use of the Synchronous Network of distant Telescopes (SNT), which presents an exciting new way for detecting the small-scale variability. The millimagnitude precision of ground-based stellar photometry and the milliarcsecond accuracy in coordinates of position measurements in the optics seem to be distant summits for most practitioners. SIM during the integration time can cause photometric errors and frustrate the exact position measurements. The main goal of this work was to detect the effect of image motions in the focal plane of several distant telescopes operating synchronously. Note that such an effect amounting to a few tenth arcsecond may be only marginally detected in the trivial round measurements.

INTRODUCTION

Our primary goal was to attain the highest possible precision of ground-based stellar photometry. Giant planets and their satellites were selected as photometric targets with an *a priori* constant irradiance for short length of time. Surprisingly, they revealed short-period brightness oscillations. This raises a question: where do oscillations occur? Following this way we found that the variability observed is due to image motions in the focal plane of telescopes. Our findings based on the many-site synchronous monitoring allow us to conclude that stellar image motions are of a global nature.

Here we report first results of detection of stellar image motions. The impact of SIM on the precision of ground-based stellar photometry and position of coordinate measurements is one of the most important aspects of the phenomenon. In this context the SNT project supplies the capabilities to highlight this new exciting observational effect in astrophysics.

OBSERVATIONS OF BRIGHTNESS OSCILLATIONS OF GIANTS PLANETS AND THEIR SATELLITES WITH THE SNT

SNT has given us decisive evidence of correlated brightness variations of Jupiter and its satellite Europa. In common opinion the Sun is a constant star. Data provided by ground and space experiments demonstrate only non-radial oscillations with amplitudes of no more than a few parts per million at frequencies below 5 mHz. A surprising result was that Jupiter and its satellites glowing in sunlight showed the presence of apparent small-amplitude periodic variations in the optical. This raises, however, the question of whether these oscillations are generated in the Earth's atmosphere or originated from a faulty operation of the equipment. These doubts may be settled only by the simultaneous use of several distant telescopes.

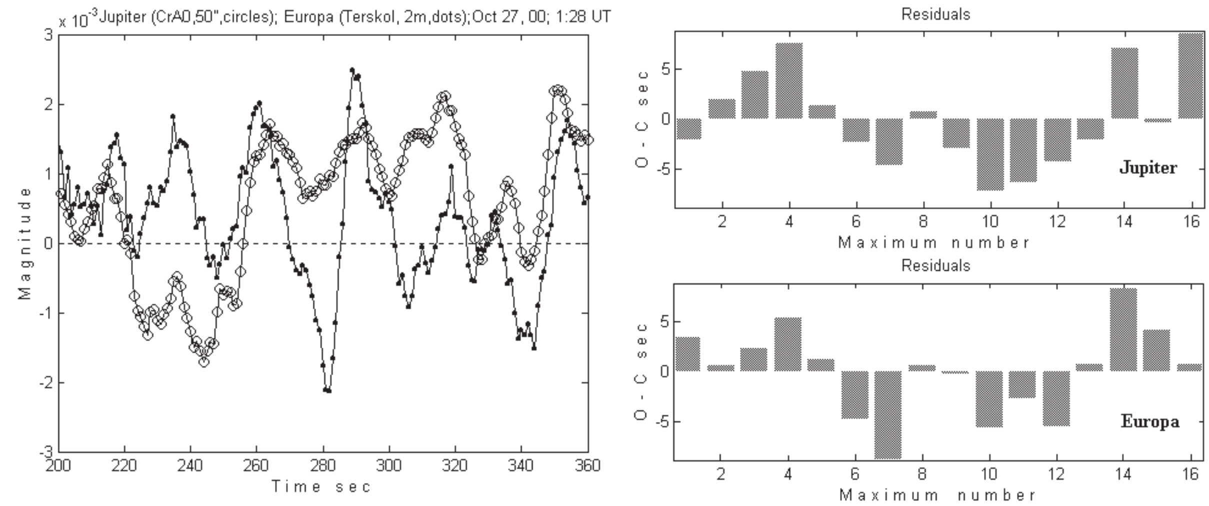


Figure 1. Left panel: Portions of the Jupiter (circles) and Europa (dots) light curves as seen simultaneously by the Crimean 50-inch and the Terskol 2-m telescopes, respectively, on October 27, 2000, 1:28:43 UT. Right panel: Changes in the oscillation period value obtained from the observed times of maxima both on Jupiter and on Europa over about seven minutes

The many-site monitoring of Jupiter and its satellites had been carried out on October 27, 2000. The instruments used were the 2-m Ritchey-Chretien telescope at Terskol Peak in the Northern Caucasus and the 50-inch reflector at the Crimean Observatory. Both these instruments are equipped with the high-speed two channel photon-counting stellar photometers. Observations were obtained in the U band with 0.01 s sampling time. The simultaneous operation of the telescopes was synchronized to an accuracy of 0.1 s. Fig. 1 shows the Jupiter (circles) and Europa (dots) light curves as seen simultaneously by the Crimean 50-inch and the Terskol 2-m telescopes, respectively. The many-site high-speed monitoring revealed the oscillations with a frequency around 0.04 Hz and amplitudes of some thousandth. A well-defined oscillation with a mean period of 22.7 s is obvious from this picture. This harmonic is found coincided in amplitude, frequency and phase. It is great surprise that the two-site data agree in the finest details. They show good fit of modulation properties shown in Fig. 1 (the right panel). A mean period of 22.7 s was obtained from an analysis of the observed times of maxima. This period appears to be constant in the average only. The O–C data show significant correlated changes in the period value both on Jupiter and on Europa over about seven minutes. The result lends additional support to the reality of the high-frequency brightness oscillations observed.

A similar situation holds on Saturn and its satellite Rhea. Fig. 2 shows the light curves of Saturn and Rhea as seen at the same time by the Terskol 2-m (diamonds) and Crimean 50-inch (dots) telescopes, respectively. Their amplitudes and shifting properties are coincided within experimental errors. No explanations for this exist yet. Note that the oscillation amplitudes are quite small and are about of 0.01 mag. Such low amplitude variations lie usually below the detection limit for ordinary photometric data. Their discovery became possible by use of the Synchronous Network of distant Telescopes.

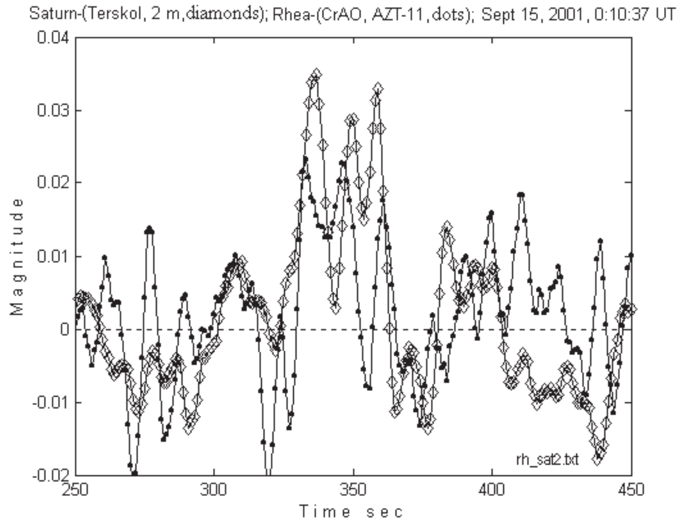


Figure 2. Portions of the light curves of Saturn and Rhea as seen at the same time by the Terskol 2-m (diamonds) and Crimean 50-inch (dots) telescopes, respectively, on September 15, 2001, 0:10:27 UT

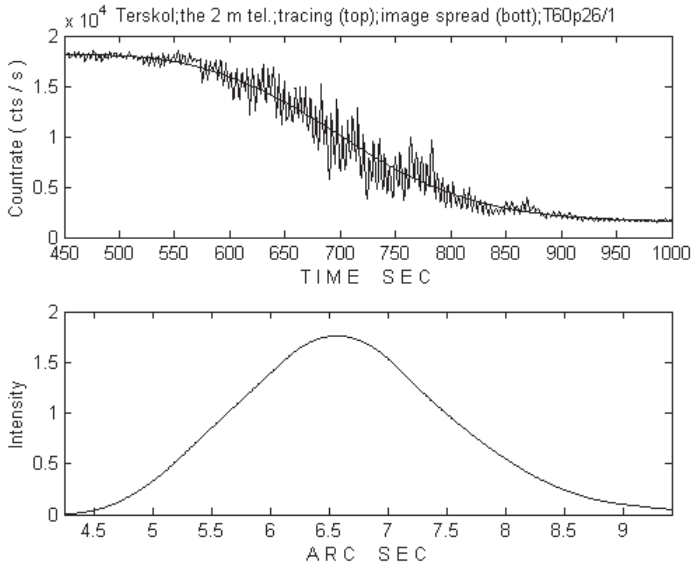


Figure 3. An image tracing by diaphragm-edge (upper plot) and star's image spread (lower plot, arbitrary units). Observations of the field star PPM119406 were made with the Terskol 2-m telescope on October 28, 2000

IMAGE MOTION AS A CAUSE OF BRIGHTNESS VARIATIONS

It is appropriate to quote here from experienced observers: *"As spectroscopic observers know, low-frequency image motions mean that good centering cannot be done quickly. If we look at a star just a second, and center on its average position during that time, a minute later it may be several arc-seconds away from the set position."* [2]. Image motions may cause a measurable variability due to extended image wings or varying background around bright objects.

Image motions reveal itself in the tracing a bright star across the diaphragm. Fig. 3 shows an image tracing by diaphragm-edge (upper plot) and star's image spread (lower plot, arbitrary units).

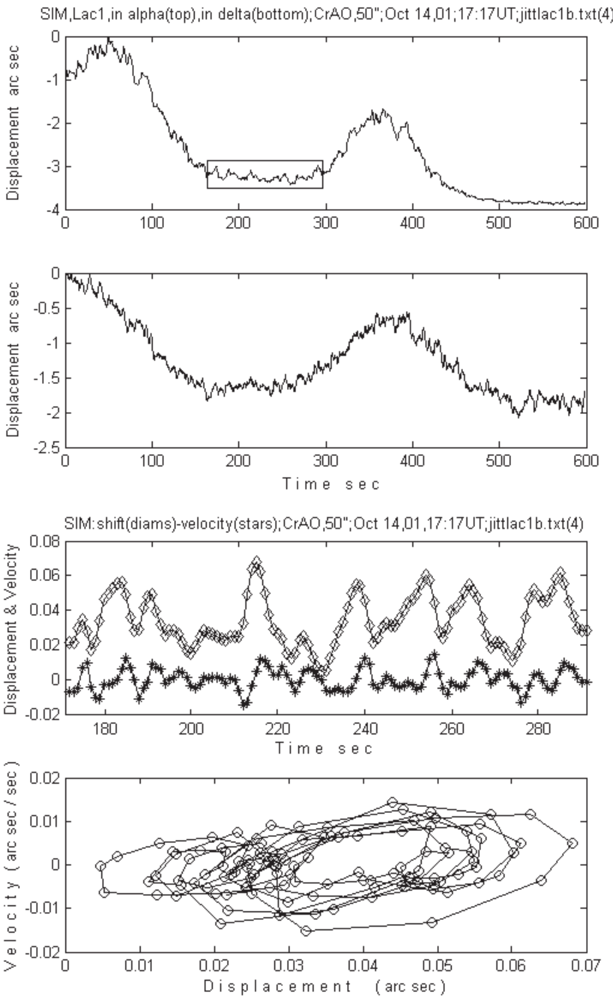


Figure 4. Two upper plots show stellar image motions by diaphragm edge area at the 50-inch Crimean reflector in the both alpha- and delta-direction over ten minutes. This gives reliable evidence of that SIM are 2-D in character. Two lower plots exhibit two-dimensional evolution of SIM through the phase space diagram

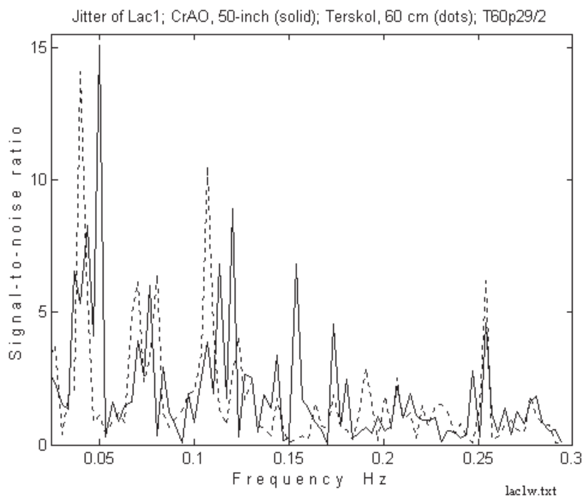


Figure 5. The power spectra of image motions of the field star PPM119406 obtained with the Terskol 60-cm telescope and the Crimean 50-inch telescope on October 1 and October 13, 2001, respectively

The upper plot presents the tracing light curve smoothed by spline with the 100-point boxcar to average the short scale oscillations. The star image spread was determined by numerical differentiation of the tracing light curve. As can be seen the star has a FWHM about of 2 arcseconds. The intensity drops to about 1 % at a circle of 4-arcsec diameter. From this image motion may be evaluated in amplitude as large as of the order 0.2 arcsecond.

Fig. 4 proves that stellar image motions could not be connected to errors in drive rate of telescopes. A two channel high-speed photometer was used to measure a transmission tracing by diaphragm-edge in the both right ascension and declination directions. Cassegrain reflectors with equatorial mounting (the Zeiss-600 at Terskol Peak and the 50-inch telescope in Crimea) and the 2-m Zeiss RCC telescope at Terskol Peak were used. One may suppose that errors in drive rate cause telescope displacements in the R.A. direction only. The upper plots show stellar image motions by a diaphragm edge area at the 50-inch Crimean reflector in the both alpha- and delta-direction over ten minutes. These data enable us to conclude that SIM are 2-D in character. Two bottom plots result from analysis of SIM using the phase space diagram approach [1]. The numerical computation of the Poincare map was performed by differentiation of the tracing light curves. The Poincare surface of section $(R, dR/dt)$, derived from the light curve portion shown in upper panel, demonstrates a trajectory which is typical for the quasi-harmonic process. Complex dynamics of SIM makes impossible now to test whether motions is deterministic or stochastic phenomenon. What really is: Order or Chaos, closed or only bounded path? These questions have to be examined in the future. As this is seen from the plots, the oscillation amplitudes of SIM are typically from some hundredth to some tenth arcsecond. The speed of SIM is of a few hundredth arcsecond per second.

Far distant telescopes show similar patterns in stellar image motions. Fig. 5 presents the power spectra of image motions of the field star PPM119406 obtained with the Terskol 60-cm and the Crimean 50-inch telescopes on October 1 and October 13, 2001, respectively. Both telescopes reveal similar features at about 0.04, 0.08, 0.12 and 0.25 Hz.

CONCLUSION

We have every reason to formulate The Stellar Image Motion Theorem:

Every star traces a bounded path round of its average position. The image motions are multiperiodic in character, their periods are in the range of a few seconds to a few minutes. Their amplitudes are of a few tenth arcsecond.

Physical interpretation of the SIM phenomenon encounters considerable difficulties. One may interpret it as an atmospheric effect connected to the oscillations in the stratified Earth's atmosphere. This poses, however, a challenging problem, in view of the maintenance of high phase coherence and zero time delay between complex photometric variations observed simultaneously at telescopes separated by a distance of thousands kilometers from each other.

[1] *Moon F. C.* Chaotic Vibrations. An Introduction for Applied Scientists and Engineers.–New York, Chichester: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

[2] *Young A. T., Genet R. M., Boyd L. J. et al.* Precise Automatic Differential Stellar Photometry // Publs Astron. Soc. Pacif..–1991.–**103**.–P. 221–242.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БАРИЕВОЙ ЗВЕЗДЫ ζ ЛЕБЕДЯ

В. Ф. Гопка[1], А. В. Ющенко[1,2], Ч. Х. Ким[2], Ф. А. Мусаев[3,4], Г. А. Галазутдинов[4]

[1]*Астрономическая обсерватория при Одесском национальном университете парк Шевченко, 65014 Одесса, Украина,*
e-mail: gopka@arctur.tenet.odessa.ua

[2]*Кафедра наук о Земле, Чонбук Национальный университет 561-756, Чонджю (Южная) Корея*
e-mail: yua@odessa.net

[3]*Международный центр астрономических и медико-биологических исследований*

[4]*Специальная астрофизическая обсерватория РАН пос. Нижний Архыз, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия*
e-mail: faig@sao.ru, gala@sao.ru

Методом синтетического спектра получено детальное содержание химических элементов в атмосфере одной из ярчайших бариевых звезд ζ Cyg. Использовались новые атомные и молекулярные данные. Спектр звезды получен на 2-м телескопе обсерватории Терскол с разрешением около 80 000, в диапазоне длин волн 349.5–1000 нм. Особое внимание уделялось детальному анализу содержания для тяжелых элементов. Определены содержания 51 химического элемента в атмосфере исследуемой звезды.

THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BARIUM STAR ζ CYGNI, by Gopka V. F., Yushchenko A. V., Kim Chulhee, Musaev F. A., Galazutdinov G. A. – In this paper we report the results of abundance determinations in the atmosphere of the mild-barium star ζ Cyg. The spectrum of this star was obtained with the 2-m telescope of the Terskol Observatory. The spectral resolution was near 80 000, the wavelength range was from 349.5 to 1000 nm. We used the newest atomic data and the spectrum synthesis method. It permitted us to find the abundances of 51 elements in the atmosphere of ζ Cyg.

ВВЕДЕНИЕ

Бариевые звезды как класс пекулярных звезд были открыты Бидельманом и Кинаном в 1951 г. [3], и объяснение пекулярности химического состава их атмосфер является важным с точки зрения подтверждения нашего понимания звездной эволюции, теории нуклеосинтеза элементов. С обнаружением двойственности бариевых звезд [15] стало ясно происхождение этого типа пекулярности у звезд спектральных классов G, K. Спектр ζ Cyg четко показывает наличие дополнительного излучения в ультрафиолетовой части. В работе [18] на основании данных HST эта двойная система разрешена – получены фотографии белого карлика в ультрафиолетовом фильтре. Период обращения белого карлика вокруг яркой звезды составляет 6489 сут [9], это около 18 лет.

Бариевые звезды входят в двойные системы в паре с белым карликом (проэволюционировавшей звездой). Именно результатом сброса вещества, обогащенного элементами s-процесса на стадии AGB, объясняется феномен бариевых звезд. Большинство бариевых звезд имеют избыток в ультрафиолетовой области спектра, что объясняется наличием излучения белого карлика. Спектры бариевых звезд имеют усиленные линии бария и молекулярных соединений с углеродом, таких как CH, CN, C_2. В зависимости от силы линии ионизированного бария Ba λ 455.4 нм, бариевые звезды делятся на пять подклассов. Есть и другое разделение бариевых звезд, когда звезды с избытками бария меньше 1 dex и нормальными, не усиленными линиями молекул, содержащих углерод, по отношению к соответствующим линиям в солнечном спектре еще называют умеренно-бариевыеми (mild-barium) звездами и рассматривают как бариевые звезды, отличающиеся от классических бариевых звезд [19].

Теоретические кривые распространенности элементов s-процесса в бариевых звездах для различных моделей опубликованы в работах [7, 14]. Для сравнения этих кривых с наблюдениями

Химический состав ζ Cyg

n	Z	$* - \odot$	N	Элемент	n	Z	$* - \odot$	N	Элемент
1	6	–0.00±0.21	4	C I	24	39	+0.15±0.15	3	Y I
2	8	–0.46	1	O I			+0.48±0.16	22	Y II
3	11	–0.37±0.16	5	Na I	25	40	+0.24±0.04	8	Zr I
4	12	+0.22±0.22	6	Mg I			+0.61±0.11	7	Zr II
		+0.26	2	Mg II	26	41	+0.13	1	Nb I *
5	13	–0.11±0.06	8	Al I	27	42	+0.13±0.12	3	Mo I
6	14	–0.05±0.13	52	Si I	28	44	–0.02	2	Ru I
7	15	+0.10	1	P I	29	45	<+0.2	2	Rh I *
8	16	+0.20±0.26	5	S I	30	46	+0.36	1	Pd I *
9	19	+0.00±0.26	3	K I	31	49	–0.12	1	In I
10	20	+0.02±0.09	5	Ca I	32	57	+0.51±0.20	12	La II
11	21	+0.06±0.11	4	Sc I	33	58	+0.36±0.16	43	Ce II
		+0.08±0.15	10	Sc II	34	59	+0.19±0.19	6	Pr II
12	22	–0.07±0.06	23	Ti I	35	60	+0.42±0.17	70	Nd II
		+0.00±0.11	31	Ti II	36	62	+0.31±0.15	14	Sm II
13	23	–0.01±0.12	40	V I	37	63	+0.45±0.05	4	Eu II
14	24	–0.11±0.06	26	Cr I	38	64	+0.27±0.19	4	Gd II
		+0.14±0.06	14	Cr II	39	65	+0.12	1	Tb II*
15	25	–0.26±0.15	21	Mn I	40	66	+0.28±0.19	5	Dy II
16	26	+0.02±0.10	92	Fe I	41	68	+0.35	1	Er II
		+0.06±0.08	6	Fe II	42	69	<+0.2	1	Tm II
17	27	–0.02±0.09	11	Co I	43	72	+0.45	1	Hf II*
18	28	+0.04±0.07	28	Ni I	44	76	+0.30	2	Os I *
19	29	+0.44±0.45	3	Cu I	45	77	<+0.5	2	Ir I *
20	30	+0.00±0.24	4	Zn I	46	78	<+0.5	1	Pt 1 *
21	32	+0.28	1	Ge I	47	81	<+0.5	1	Tl I *
22	37	–0.12	1	Rb I	48	82	<+0.2	2	Pb I *
23	38	+0.22±0.10	3	Sr I					

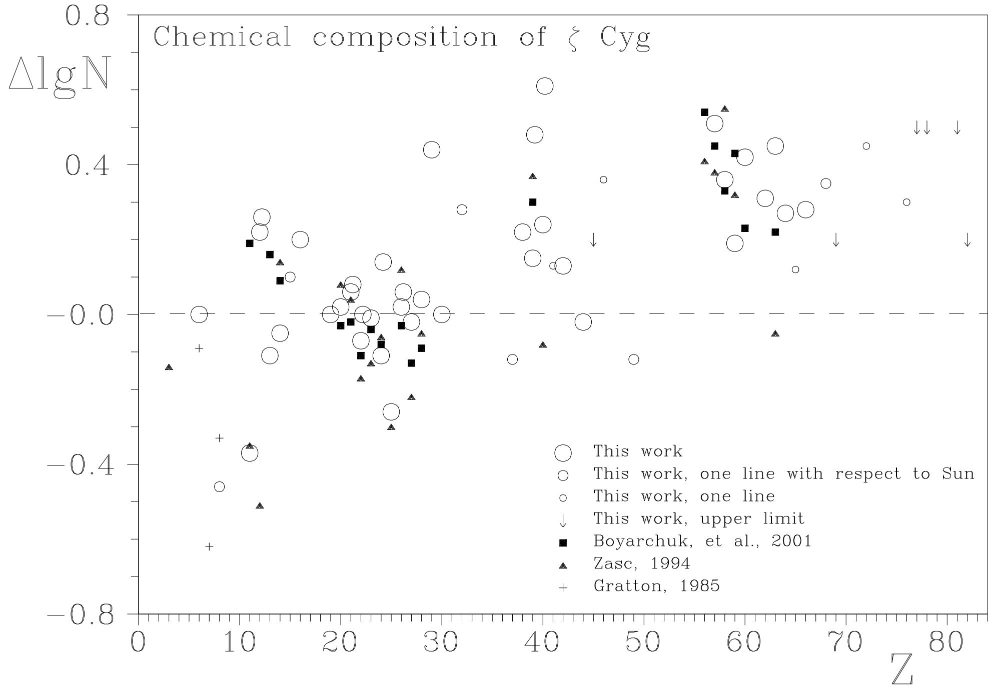
необходимы детальные наблюдаемые кривые распространенности химических элементов в реальных бариевых звездах.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И ОБРАБОТКА

ζ Cyg (HD 202109, HR 8115, GC 29661, спектральный класс G8III-IIIa-Ba0.6SB [9]) является прототипом умеренно-бариевых звезд. В данной работе была поставлена цель наиболее детального исследования химического содержания этой бариевой звезды с хорошо исследованными ранее параметрами [1, 4, 6, 10, 19, 21]. Химический состав этой звезды также уже исследовался, но сейчас появилась возможность более полного исследования с использованием высококачественного спектрального материала, новых атомных данных и новых методик обработки наблюдений.

Нашей задачей было изучение всех элементов, линии которых в исследуемом диапазоне пригодны для анализа с подключением наиболее полных и новых списков атомных и молекулярных данных [5, 13, 16, 17]. Особое внимание уделялось наиболее тяжелым элементам нейтронного захвата, которые образуются в результате s-процесса в звездах на стадии AGB. Для этого использовались списки линий Мортона [16] и другие списки атомных линий, информативные с этой точки зрения, содержащие новые данные для тяжелых элементов.

ζ Cyg является одной из ярчайших бариевых звезд ($m_V = 3.2$ [9]). Мы использовали спектр звезды, полученный на 2-м телескопе обсерватории Терскол. Спектральное разрешение данного спектра $R = 80\,000$, диапазон длин волн 349.5–1000 нм, отношение сигнала к шуму в красной части спектра выше 100. На первом этапе были проверены параметры модели атмосферы для ζ Cyg. В результате нами были приняты следующие значения: $T_{eff} = 5050$ K, lg $g = 2.8$, $v_{micro} = 1.45$ км/с, $v_{macro} = 3$–3.5 км/с. При определении температуры наряду с другими методиками использовалась методика, описанная в работе Ковтюха и Горловой [12]. Мы интерполировали модели Куруца [13],



Содержание химических элементов в атмосфере ζ Cyg относительно их содержаний в атмосфере Солнца

чтобы получить модель с найденными параметрами.

Для идентификации линий были произведены расчеты синтетического спектра для всего наблюдаемого диапазона. Этот синтетический спектр сравнивался с реальным спектром. Были отобраны неблендированные и слабоблендированные линии поглощения в спектре исследуемой звезды. Для расчета химического содержания элементов методом синтетического спектра использовалась программа Куруца SYNTHE [13], модифицированая для работы в режиме автоматической подгонки синтетического спектра к наблюдаемому [20]. Чтобы исключить ошибки, связанные с силами осцилляторов, мы применили дифференциальный метод исследования содержания химических элементов в атмосфере звезды по отношению к солнечному содержанию этих элементов. Использовался атлас спектра центра диска Солнца Дельбуля и др. [8] и модель атмосферы Солнца Холвегера и Мюллер [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице для исследованных нами элементов приводятся их атомные номера, полученные нами относительные содержания химических элементов в атмосфере ζ Cyg, средние квадратичные ошибки найденных значений и количество спектральных линий, по которым проводилось определение содержания данного элемента. Для элементов, отмеченных звездочкой, соответствующие линии в спектре Солнца слабы и содержание этих элементов получено без сравнения с солнечным спектром.

На рисунке показано содержание химических элементов в атмосфере ζ Cyg по отношению к их содержанию в атмосфере Солнца. Нами найдены значения содержаний 48 элементов. Значения содержаний лития, азота и бария взяты из работ [21, 10, 4]. Всего в атмосфере ζ Cyg известно содержание или верхний предел содержания 51 химического элемента.

Полученные нами наблюдаемые значения содержаний химических элементов в бариевой звезде являются наиболее полными на сегодняшний момент. Сравнение с теоретическими расчетами позволит уточнить, каким образом идет обогащение элементами s-процесса, более точно описать явления, происходящие в красных гигантах на определенных стадиях эволюции, моделировать процессы, происходящие в звездах на стадии асимптотической ветви красных гигантов. С нашей точки зрения умеренно-бариевые звезды являются продолжением бариевых звезд. Проблема в том, что можно довольно легко (и ошибочно) причислить к классу умеренно-бариевых звезд и другие звезды с неточно определенными значениями содержания бария, и эти объекты могут замывать свойства группы бариевых звезд с небольшими избытками бария – умеренно-бариевых звезд, типичным представителем которых является ζ Cyg.

Бариевые звезды составляют около одного процента от общего числа всех звезд спектральных классов G, K без аномалий, но исследование и объяснение их природы имеют большое значение в астрофизике.

Данная работа была частично поддержана грантом постдокторантуры Национального университета Чонбук (Южная Корея) за 2002 год.

[1] *Berdyugina S. V.* The abundances of the CNO elements in the atmospheres of normal and mildly barium-enriched G8 to K3 giants // Astron. Lett.–1993.–**19**, N 5.–P. 378–383.

[2] *Barstow M. A., Bond H. E., Burleigh M. R., Holberg J. B.* Resolving Sirius-like binaries with the Hubble Space Telescope // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2001.–**322**, N 4.–P. 891–900.

[3] *Bidelman W. P., Keenan P. C.* The Ba II stars // Astrophys. J.–1951.–**114**, N 2.–P. 473–476.

[4] *Boyarchuk A., Antipova L., Boyarchuk M, Savanov I.* A comparative analysis of chemical abundances in the atmospheres red giants of different age group // Astron. Rep.–2001.–**45**, N 4.–P. 301–308.

[5] *Biemont J., Palmeri P., Quinet P.* Database of rare earths at Mons University, 2002, http://www.umh.ac.be/~astro/dream.html

[6] *Chromey F. R., Faber S. M., Wood A., Danziger I. J.* The BaII star ζ Cygni // Astrophys. J.–1969.–**158**, N 2.–P. 599–606.

[7] *Cowley C. R., Downs P. L.* Barium stars and the s-process // Astrophys. J.–1980.–**236**, N 1.–P. 648–657.

[8] *Delbouille L., Roland G., Neven L.* 1973: Photometric Atlas of the Solar Spectrum from $\lambda\,3000$ to $\lambda\,10000$ // Liege: Institut d'Astrophysique de l'Universite' de Liege. (Digitized version from $\lambda\,3601$ Å to $\lambda\,8400$ Å).

[9] *Griffin R. F., Keenan P. C.* Spectroscopic binary orbits from photoelectric radial velocities. Paper 105: ζ Cygni // The Observatory.–1992.–**112**.–P. 168–182.

[10] *Gratton R. G.* Studies on the spectra of K-giants. III - Carbon, nitrogen, and oxygen abundances // Astron. and Astrophys.–1985.–**148**, N 1.–P. 105–114.

[11] *Holweger H., Muller E. A.* The photospheric Barium spectrum: solar abundance and collision of Ba II lines by hydrogen // Solar Phys.–1974.–**39**.–P. 19–30.

[12] *Kovtyukh V. V., Gorlova N. I.* Precise temperatures of classical Cepheids and yellow supergiants from line-depth ratios // Astron. and Astrophys.–2000.–**358**, N 2.–P. 587–592.

[13] *Kurucz R. L.* An atomic and molecular data bank for stellar spectroscopy // ASP Conf. Ser.–1995.–**81**.–P. 583–588.

[14] *Malaney R.* The s-process nucleosynthesis of barium stars // Astrophys. J.–1987.–**321**.–P. 832–845.

[15] *McClure R. D., Fletcher J. M., Nemec J. M.* The binary nature of the barium stars // Astrophys. J.–1980.–**238**, Part 2.–P. L35–L38.

[16] *Morton D. C.* Atomic Data for Resonance Absorption Lines. II. Wavelengths Longward of the Lyman Limit for Heavy Elements // Astrophys. J. Suppl. Ser.–2000.–**130**, N 2.–P. 403–436.

[17] *Piskunov N., Kupka F., Ryabchikova T., et al.* VALD: The Vienna Atomic Line Data Base // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1995.–**112**, N 2.–P. 525–535.

[18] *Pourbaix D., Jorissen A.* Re-processing the Hipparcos Transit Data and Intermediate Astrometric Data of spectroscopic binaries // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–2000.–**145**, N 1.–P. 161–183.

[19] *Sneden C., Lambert D., Pilachowski C.* A study of CNO elements in barium stars // Astrophys. J.–1981.–**247**, N 3.–P. 1052–1062.

[20] *Yushchenko A. V.* URAN – a software system for the analysis of stellar spectra // Variable star research: Proc. 29th Conf., Brno, Czech Republic, November 5–9, 1997.–P. 202–204.

[21] *Zacs L.* A spectroscopic analysis of barium stars // Astron. and Astrophys.–1994.–**283**.–P. 937–954.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ V346 ОРИОНА

Г. У. Ковальчук

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: koval@mao.kiev.ua

Приведены предварительные результаты определения химического состава переменной звезды V346 Ori. Спектры умеренного разрешения получены на спектрографе LYNX (телескоп БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН). Анализировался участок спектра 430–780 нм. Уверенно отождествлены более 500 линий 35 химических элементов. Обнаружен общий дефицит легких элементов (за некоторыми исключениями), избыток железа достигает 0.9 dex. Наблюдается типичный для Am-звезд ход химических аномалий с ростом Z. Ширина большинства неблендированных линий соответствует скорости осевого вращения $v \sin i = 33$ км/с.

SOME FEATURES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE VARIABLE STAR V346 ORIONIS, by Kovalchuk G. – We derived preliminary abundances for the variable star V346 Ori, based on a middle-resolution spectrum recorded at the Special Astrophysical Observatory with the LYNX spectrograph. The line list covers the range 430–780 nm. We identified more than 500 spectral lines of 35 chemical species. The general deficiency of light elements with few exceptions is found, at the same time the excess of Fe reaches 0.9 dex. The trend of chemical anomalies with increasing of Z typical for Am-stars is discovered. The width of the majority of unblended lines is consistent with the rotational velocity of $v \sin i = 33$ km/s. Some emission lines are identified.

ВВЕДЕНИЕ

V346 Ori принадлежит к небольшой группе быстрых неправильных переменных звезд с алголеподобными ослаблениями блеска, известных под более общим названием “Ae/Be звезды Хербига – (Herbig Ae/Be stars – HAEBES)”. Эти объекты представляют интерес с точки зрения их места среди других родственных объектов. Исторически сложилось представление, что эти переменные, как и феноменологически сходные с ними другие неправильные переменные (звезды T Tau, члены экстремально молодых скоплений) – это молодые объекты, не достигшие главной последовательности, но обладающие более высокими по сравнению со звездами T Tau массами. Считается, что они находятся в начале своего эволюционного пути, и их возраст не превышает $10^6 - 10^7$ лет. В спектрах всех достаточно хорошо изученных звезд этого типа выделяется яркая эмиссионная линия H_α, следы эмиссии есть иногда и в последующих членах бальмеровской серии, вплоть до H_δ. Водородная эмиссия проявляет черты переменности, а характеристики эмиссионной линии H_α изменяются даже в отсутствие фотометрической переменности. Во время активного фотометрического состояния возрастает относительный вклад поляризованного излучения. При этом изменяется профиль эмиссионной линии, варьируют положение центральной абсорбции и отношение V/R, увеличивается эквивалентная ширина.

Исследуемая переменная была достаточно хорошо изучена фотометрически автором и другими исследователями [1, 2]. Фотометрическая переменность проявляется в виде непредсказуемых алголеподобных ослаблений блеска продолжительностью несколько десятков часов и амплитудой до 2^m [1]. В минимуме блеска показатели цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$, $V-I$ уменьшаются, тогда как в промежуточных стадиях блеска между максимумом и минимумом они в подавляющем большинстве случаев нормальные. В состоянии нормального блеска переменная показывает неправильные и быстрые вариации яркости с амплитудой до 0.3^m (V) и изменения показателей цвета с максимальной амплитудой в ультрафиолете. Как и большинство звезд этого типа (с глубокими ослаблениями блеска), V346 Ori на начальных стадиях этого процесса “краснеет” – показатели блеска увеличиваются, но заключительные этапы сопровождаются уменьшением показателей цвета – известное явление “поголубения” (bluening), наблюдавшееся впервые у переменной CQ Tau [3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В противовес общепринятому предположению о молодости HAEBES киевскими астрономами была выдвинута альтернативная гипотеза о продвинутом эволюционном статусе этих объектов [4]. Основанием для такого вывода послужили:

а) картина фотометрической переменности, напоминающая переменность звезд типа R Северной Короны (RCB) – объектов, уже покинувших главную последовательность;

б) тождественные оптические свойства околозвездных оболочек, окружающих звезды обоих типов;

в) признаки дефицита водорода, обнаруженные в некоторых HAEBES, объединяют их с классическими водорододефицитными звездами – переменными типа RCB;

г) положение звезд обоих типов над главной последовательностью – в области сверхгигантов.

Единственным, на наш взгляд, способом разрешить коллизию возраста HAEBES была бы попытка определить особенности их химического состава и сопоставить с таковым для хорошо исследованных звезд RCB. Поскольку все яркие HAEBES являются быстрыми ротаторами (скорость осевого вращения близка к 100 км/с) [5–7], единственным объектом для такого исследования оставалась переменная V346 Ori – для нее $v \sin i = 33$ км/с.

НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдательный материал получен на 6-м телескопе БТА (САО РАН) с использованием эшельного спектрографа LYNX, спектральное разрешение которого ($R \approx 27\,000$) и широкий спектральный диапазон (450–900 нм) позволили достаточно уверенно зарегистрировать большое число спектральных линий. Первичная обработка наблюдательного материала (удаление помех, создаваемых космическими частицами, нарезка изображений, учет аппаратных констант) проводилась по программе DECH, разработанной изготовителями спектральной аппаратуры. Окончательная обработка спектров и отдельных линий проводилась по составленным В. О. Скаржевским программам (не опубликовано). Для линеаризации шкал длин волн использовались линии торий-аргонового спектра [9]. Линии этого спектра также использовались для определения инструментального профиля спектрографа (естественное уширение линий предполагалось пренебрежимо малым). Поскольку инструментальные профили для разных длин волн почти полностью совпадали с гауссианой в пределах $\pm 2\sigma$ ее ширины, при дальнейших операциях свертки синтетического спектра использовался параметр $FWHM$, выраженный в пикселах. Хотя из-за присущей эшельным спектрам скважности часть линий не была зарегистрирована, удалось уверенно отождествить около 500 линий 35 химических элементов. При идентификации использовались синтетические спектры, рассчитанные для каждого вектора (стрипа) наблюденного спектра. Для расчета синтетического спектра использовался список линий, созданный с использованием данных Венской базы атомных параметров спектральных линий VALD [10].

Определение микротурбулентной скорости. В основу метода определения микротурбулентной скорости положено очевидное положение о том, что определяемое значение содержания элемента не должно зависеть от потенциала возбуждения использованных линий. Линии с низким потенциалом возбуждения κ чувствительны к изменениям температуры; влияние микротурбулентной скорости меньше всего сказывается на слабых линиях. Поэтому при ошибочно выбранном значении микротурбулентной скорости ζ значения содержания ϵ какого-либо элемента, определенные отдельно по слабым и сильным линиям, будут заметно отличаться. Очевидно, что за истинное значение ζ следует принимать то значение, при котором нет зависимости содержания элемента от эквивалентной ширины EW выбранных линий. Приведенные соображения справедливы при допущении о том, что величина ζ не зависит от высоты образования линии; в частности, значение $\lg g = 2.1$ для V346 Ori, определенное по водородным линиям [11], не противоречит этому допущению. Для определения ζ по 57 линиям железа рассчитывалось его содержание при разных ($\zeta = 1$, 2 и 3 км/с) значениях микротурбулентной скорости. Для каждого значения ζ строилась зависимость содержания [Fe/H], полученная по отдельным линиям, от их эквивалентной ширины EW. С использованием линейной аппроксимации из семейства прямых линий выбиралась линия с нулевым градиентом. Из рис. 1 видно, что подобному требованию более всего отвечает линия для значения $\zeta = 2$ км/с. В дальнейших расчетах использовалось именно это значение микротурбулентной скорости.

Определение $v \sin i$. Параметр $v \sin i$ находился путем сравнения наблюденного спектра с синтетическим, свернутым с инструментальным профилем и текущим значением скорости вращения.

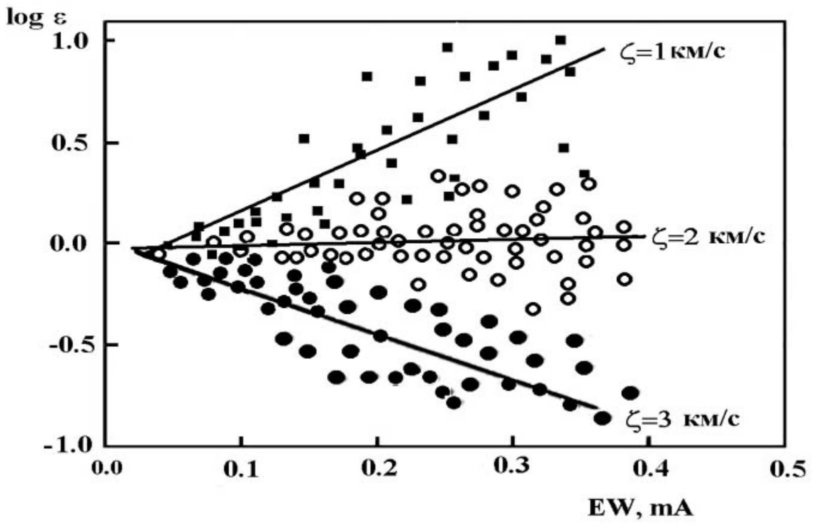


Рис. 1. Определение микротурбулентной скорости

То текущее значение $v \sin i$, при котором наблюдалось наилучшее совпадение, принималось за значение проекции скорости осевого вращения. По 28 линиям различных элементов получено среднее значение $v \sin i = 33 \pm 3$ км/с.

Определение лучевой скорости V_t и ее приведение к центру Солнца осуществлялись с использованием программы DECH, она оказалась равной 14.4 ± 2 км/с.

Определение химического состава. Знания величин T_{eff}, $\lg g$ и ζ достаточно для определения содержания элементов, представленных достаточным количеством подходящих для измерения линий (для исследуемой звезды использовались значения T_{eff} и $\lg g$, определенные в работе [11]). Нами был использован метод синтетических спектров, ибо он позволяет дополнительно использовать большое количество линий, недоступных для измерения способом прямого сравнения эквивалентных величин (последний требует учитывать только неблендированные линии). Синтетические спектры рассчитывались по моделям атмосфер Куруца [12]. Сетка моделей для разных значений T_{eff} (3500 K – 50 000 K) и $\lg g$ (0 – 5.5) рассчитывалась с помощью программы ATLAS 2, в которой учитывался покровный эффект приблизительно от $5 \cdot 10^7$ линий и конвективный перенос энергии в звездах с эффективными температурами ниже 8000 K. Кроме того, при расчетах использовались значения атомных констант, опубликованные в работе [12]. Для расчета синтетических спектров использовался пакет программ STARSP, разработанный В. Цымбалом [13]. С целью удобства сравнения наблюденного и синтетического спектров, последний сворачивался с инструментальным профилем и величиной v sin i. Рассчитанный для какого-либо определенного значения $\lg \epsilon$ данного элемента спектр сравнивался с наблюденным и, в случае необходимости, содержание изменялось в ту или другую сторону до наилучшего совпадения с последним. Содержания 31 элемента, выраженные в терминах [El/H]= $\lg \epsilon_{\rm V346 Ori} - \lg \epsilon_{\odot}$, (т. е. отнесенных к солнечному содержанию), представлены в таблице и для наглядности – на рис. 2.

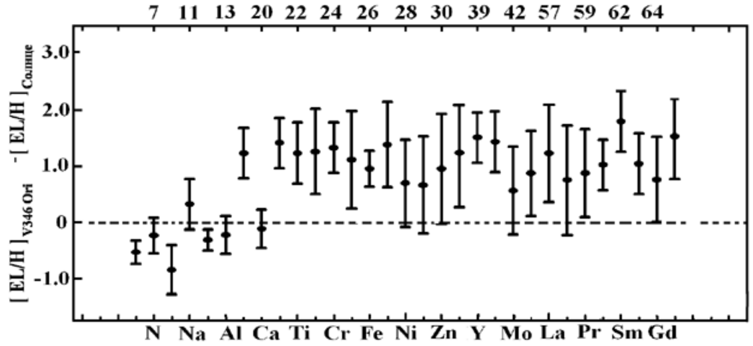


Рис. 2. Химический состав переменной V346 Ori

Результаты определения химического состава V346 Ori

N	Элемент	$[El/H]_{V346Ori} - [El/H]_{\odot}$	N	Элемент	$[El/H]_{V346Ori} - [El/H]_{\odot}$
6	C	–0.54	29	Cu	0.66
7	N	–0.24	30	Zn	0.95
8	O	–0.85	38	Sr	1.24
11	Na	0.32	39	Y	1.51
12	Mg	–0.32	40	Zr	1.43
13	Al	–0.23	42	Mo	0.56
14	Si	1.23	56	Ba	0.87
20	Ca	–0.12	57	La	1.23
21	Sc	1.41	58	Ce	0.75
22	Ti	1.23	59	Pr	0.87
23	V	1.26	60	Nd	1.02
24	Cr	1.33	62	Sm	1.80
25	Mn	1.11	63	Eu	1.04
26	Fe	0.95	64	Gd	0.76
27	Co	1.38	74	W	1.53

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данная работа является вторым исследованием химического состава звезд типа Ae/Be Хербига. Первая работа [14] была посвящена определению химического состава звезды RZ Psc с алголеподобными ослаблениями блеска. Однако спектр последней (K0 IV) не является типичным для класса звезд Ae/Be Хербига (как правило, от поздних B- до ранних F-звезд), хотя в фотометрическом отношении это очень похожие объекты. Поэтому к сравнению химического состава этих звезд следует относиться весьма и весьма осторожно, особенно с учетом того обстоятельства, что это пионерские работы, и требуется более богатый материал для корректного сравнения. В отношении самой исследуемой звезды следует отметить существенное отличие ее химического состава от солнечного, что само по себе еще не дает четкого ответа на вопрос о направлении движения звезды по отношению к главной последовательности (в работе [4] было показано, что звезда на диаграмме Герцшпрунга–Рессела лежит над главной последовательностью). Более того, содержание группы элементов до натрия включительно в общих чертах близко к их содержанию в нормальных звездах класса A, например Веги [15, 16]. Однако тенденция изменения химсостава с дальнейшим увеличением номера элемента очень напоминает таковую для магнитных Ap [17] и пекулярных Am [18] звезд. Можно было бы искать какое-либо подобие в химсоставе исследуемой звезды и бариевых звезд, но статистика для такого сравнения в нашем случае довольно скудная. Однако в спектре V346 Ori вовсе не наблюдается типичного для звезд типа RCB избытка углерода или азота и кислорода [19]. Кроме того, для звезд RCB типично близкое к солнечному содержание элементов позже Y, чего нельзя сказать об V346 Ori. Таким образом, следует сделать такие выводы:

1. Химический состав фотосферы V346 Ori (не совпадающий с солнечным) не противоречит положению звезды на диаграмме Г–Р.
2. Значения содержания отдельных элементов не позволяют однозначно говорить о принадлежности звезды к какому-либо из типов пекулярных объектов – бариевых, Ap- или Am-звезд.
3. Химсостав звезды трудно интерпретировать в рамках гипотезы об общности звезд HAEBES (к группе которых она относится) и переменных типа RCB.
4. Поскольку еще нет определений химического состава других HAEBES, полученные выводы касаются только этой конкретной звезды, и их следует крайне осторожно применять к группе HAEBES в целом.

ВЫВОДЫ

В работе определен химический состав фотосферы переменной звезды V346 Ori. Полученные оценки содержания 31 химического элемента показывают существенный (до 1.5 dex) избыток всех элементов после Al (по сравнению с солнечным химсоставом). Этот результат не позволяет однозначно говорить о возможной принадлежности звезды к какому-либо типу пекулярных звезд и оставляет вопрос о ее эволюционном статусе открытым.

Результаты проведенного исследования элементного состава фотосферы переменной звезды V346 Ori не дали однозначного ответа на вопрос об эволюционном статусе как самой переменной, так и всей группы HAEBES. Вторая часть вопроса вряд ли когда-нибудь будет решена в полном объеме, ибо в этой группе совершенно произвольно, на основании очень разнородных классификационных критериев, объединены разительно отличающиеся по своим физическим и кинематическим характеристикам объекты.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам САО РАН В. Г. Клочковой и В. Е. Панчуку за помощь при получении наблюдательного материала и полезные советы при его обработке.

[1] *Ковальчук Г. У.* Об изменениях блеска антивспыхивающей звезды V346 Ori // Астрофизика.–1985.–**23**.–С. 255–264.

[2] *Sterken C., Manfroid J., et al.* Second Catalogue of stars measured in the Long-Term Photometry of variables Project // Scientific report of ESO.–1983.–**12**.–P. 12–23.

[3] *Wenzel W.* Extremely young stars // Non-periodic Phenomena in variable stars: IAU colloq., Budapest, 1968.–P. 61–73.

[4] *Пугач А. Ф., Ковальчук Г. У.* Морфология группы Is(A) переменных. II. Положение на диаграмме Герцшпрунга–Рессела // Кинематика и физика небес. тел.–1991.–**7**.–С. 43–52.

[5] *Bohm T., Catala C.* Rotation, winds and active phenomena in Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astrophys.–1995.–**301**.–P. 156–163.

[6] *Mora A., Merin B., Montesinos B., et al.* EXPORT: Spectral classification and projected rotational velocities of Vega-type and pre-main sequence stars // Astron. and Astrophys.–2001.–**354**.–P. 345–356.

[7] *Гринин В. П., Козлова А. М.* Фотометрическая активность и скорости вращения звезд типа UX Ori и родственных им объектов // Астрофизика.–2000.–**43**.–С. 329.

[8] *Finkenzeller U.* Rotational velocities, spectral types, and forbidden lines of Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astrophys.–1985.–**151**.–P. 340–348.

[9] *D'Odorico S., Dous C., Pons D., Tanne L.* Atlas of the thorium-argon spectrum of the ESO Echelle-spectrograph in the $\lambda\lambda$ 3400–9000 Å region // ESO Sci. Rep.–1987.–N 7.–P. 1–3.

[10] *Piskunov N. E., Kupka F., Ryabschikova T. A., et al.* VALD: The Vienna Atomic Line Data Base // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–1995.–**112**.–P. 525–536.

[11] *Kovalchuk G. U., Pugach A. F.* Determination of $\lg g$ of several variable Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astrophys.–1997.–**325**.–P. 1077–1082.

[12] *Kurutz R. L.* Type list, 1988 (Список на магнитной ленте).

[13] *Tsymbal V. V.* STARSP: A Software System For the Analysis of the Spectra of Normal stars // Odessa Astron. Publ.–1994.–**4**.–P. 146–149.

[14] *Каминский Б. М., Ковальчук Г. У., Пугач А. Ф.* Спектральные характеристики RZ Psc – холодной звезды с алголеподобными ослаблениями блеска // Письма в Астрон. журн.–2000.–**44**.–С. 611–702.

[15] *Roby S. W., Lambert D. I.* Carbon, nitrogen, and oxygen abundance in the chemically regular stars of the upper main sequence // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1990.–**73**.–P. 67–102.

[16] *Саванов И. С., Халилов А. М.* Исследование α Lyr и γ Gem методом моделей атмосфер // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.–1985.–**72**.–С. 106–119.

[17] *Саванов И. С., Маланушенко В. П.* Содержание элементов в атмосфере химически пекулярной звезды β CrB // Астрофизика.–1990.–**33**.–С. 251–263.

[18] *Любимков Л. С., Саванов И. С.* Исследование Am звезды 16 Ori методом моделей атмосфер // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.–1983.–**68**.–С. 121–129.

[19] *Asplund M., Gustafsson B., Lambert D. L., Rao N. K.* The R Coronae Borealis stars – atmospheres and abundances // Astron. and Astrophys.–2000.–**353**.–P. 287–310.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА АТМОСФЕР И ЭВОЛЮЦИИ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

В. В. Леушин

Специальная астрофизическая обсерватория РАН
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево–Черкесская республика, Россия
e-mail: leushin@sci.lebedev.ru

Дается краткое описание программного комплекса, позволяющего анализировать атмосферы и эволюционную историю двойных звезд различных типов. Комплекс позволяет определять химический состав, динамические характеристики и типы ядерных процессов в компонентах двойных звезд.

THE SOFTWARE PACKAGE FOR THE ANALYSIS OF ATMOSPHERES AND EVOLUTIONARY PROCESSES OF BINARY STARS, by Leushin V. V. – The software package for the analysis of atmospheres and evolutionary processes of multiple stars is briefly described. It allows to determine the chemical composition, dynamical characteristics, and types of the nuclear processes in the components of binary stars.

ВВЕДЕНИЕ

Комплекс программ состоит из трех частей:

1. Программы расчетов моделей атмосфер, контуров и эквивалентных ширин линий, участков синтетических линейчатых спектров.
2. Программы расчета непрерывных и линейчатых спектров кратных звезд, состоящих из компонентов с отношением светимостей $0 \leq \frac{L_1}{L_2} \leq 1$ и различием лучевых скоростей $-\infty \leq \Delta v_r \leq +\infty$.
3. Программы расчета ядерной эволюции вещества в компонентах двойных на основе наблюдаемого химического состава атмосфер.

Все программы составляют однородную систему совместимых друг с другом модулей.

РАСЧЕТ МОДЕЛЕЙ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

Программы расчета моделей атмосфер позволяют изучать характеристики непрерывных спектров звезд с разным химическим составом, начиная от стандартного (солнечного) содержания элементов до чисто гелиевых звезд, содержание водорода в которых составляет $10^{-5} \div 10^{-6}$ по числу атомов. Расчет моделей может производиться с учетом покровного эффекта и частичным учетом отклонений от ЛТР для водорода. Число точек по глубине от 40 до 70, по частоте – от 500 до 120 000.

Расчеты по программе KONTUR проводятся при следующих физических упрощениях:

– принимается локальное термодинамическое равновесие;

– стационарная, плоскопараллельная модель атмосферы с однородным химическим составом, при расчете профилей и эквивалентных ширин линий возможно варьирование содержания элемента по высоте;

– механизмом формирования линий является истинное поглощение;

– коэффициент поглощения в линии описывается функцией Фойгта.

Поток в континууме при вычислении одного участка линейчатого спектра не изменяется с длиной волны. Входными параметрами для работы программы являются модель атмосферы и параметры элементов и переходов. Модель задается в шкале RHOX – величина массы над см^2 атмосферы, которая затем пересчитывается в шкалу оптических глубин на некоторой фиксированной длине волны. Для вычисления потока на длине волны определяются точки $\tau^*_{\lambda st}$, соответствующие коэффициенту поглощения на этой длине волны. При этом решается дифференциальное уравнение

$$d\tau_{\lambda st} = \kappa_{\lambda st}/\kappa_\lambda \cdot dt$$

для потока в континууме или

$$d\tau_{\lambda st} = \kappa_{\lambda st}/(\kappa_\lambda + \alpha_\lambda) \cdot dt$$

для потока в линии, где κ_λ — коэффициент поглощения в континууме, α_λ – коэффициент селективного поглощения. Уравнение решается методом Рунге–Кутта.

Методика вычисления $S_\lambda(t)$ и H_λ такая же, как и в программе ATLAS 5. Для функции источника решается уравнение

$$S_\lambda = (1-\rho_\lambda)B_\lambda + \rho_\lambda \cdot J_\lambda,$$

где $\rho_\lambda = \sigma_\lambda/(\kappa_\lambda + \alpha_\lambda + \sigma_\lambda)$ – доля рассеяния в полном поглощении, B_λ – функция Планка, J_λ – средняя интенсивность:

$$J_\lambda(\tau) = \frac{1}{2}\int\limits_0^\infty S_\lambda(t)E_1(|t-\tau|)dt. \tag{1}$$

В матричной форме эти уравнения записываются в виде

$$S = (\mathbf{I}-\rho)\mathbf{B} + \rho\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{S}, \qquad J = \boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{S},$$

где $\mathbf{I}$ – единичная матрица, $\boldsymbol{\Lambda}$ – интегральный оператор.

Так как матрица $\boldsymbol{\Lambda}$ почти диагональная, то решение можно быстро получить методом итераций Гаусса–Зайделя, приняв в качестве начального предположение $\mathbf{S} = \mathbf{B}$. Тогда задача сводится к тому, чтобы на каждом шаге итерационного процесса найти поправку $\Delta\mathbf{S}$ к $\mathbf{S}$ такую, чтобы

$$(\mathbf{I}-\rho)\mathbf{B} = (\mathbf{I}-\rho\boldsymbol{\Lambda})(\mathbf{S}+\Delta\mathbf{S}),$$

то есть решить для $\Delta\mathbf{S}$ уравнение

$$\Delta\mathbf{S} = ((\mathbf{I}-\rho)\mathbf{B} - (\mathbf{I}-\rho\boldsymbol{\Lambda})\mathbf{S})/(\mathbf{I}-\rho\boldsymbol{\Lambda}).$$

При вычислении $(1-\rho_i\Lambda_{ij})^{-1}$ предполагается, что $\Lambda_{ij} = 0$ при $i \neq j$, тогда

$$(1-\rho_i\Lambda_{ij})^{-1} = (1-\rho_i\Lambda_{ii})^{-1}.$$

Итерации по S_i продолжаются до тех пор, пока $|\Delta S_i/S_i| > 10^{-5}$ хотя бы в одной точке по глубине.

Когда найдена функция источника, решается уравнение для потока:

$$H_\lambda(0) = \frac{1}{2}\int\limits_0^\infty S_\lambda(t)E_2(t)dt. \tag{2}$$

Интегрирование уравнений (1) и (2) осуществляется 43-точечной квадратурой Гаусса $J_i = \Lambda_{ij}S_j$, $H = W_jS_j$, веса и узлы для которой берутся из работы [1].

Коэффициент поглощения в линии на единицу объема вычисляется по формуле

$$\alpha_\lambda = (e^2\sqrt{\pi}m_0^{-1}c^{-2}) \cdot (\lambda^2 f_{ik}/\Delta\lambda_D) \cdot H(a,v) \cdot N_{r,i}.$$

Здесь $\Delta\lambda_D = \lambda_0/c \cdot \sqrt{v_T^2 + v_t^2}$ – доплеровская ширина линии, $v_T^2 = 2kT/(\mu m_i)$ – тепловая скорость атома, v_t – скорость микротурбуленции, $N_{r,i} = N_r \cdot g/U(T,P_e) \cdot \exp(-\varepsilon_i/kT)$ – населенность i-го уровня, N_r – концентрация элемента в стадии ионизации r, $U(T,P_e)$ – сумма по состояниям.

$$H(a,v) = a/\pi \int\limits_{-\infty}^{\infty} \exp(-y^2)/(a^2 + (y-v)^2)dy, \tag{3}$$

при вычислениях которой используются следующие аппроксимации:

$$H(a,v) = \exp(-v^2) \quad \text{при } a < 10^{-4},$$

$$H(a,v) = \sum H_k(v) a^k \quad \text{при } 10^{-4} < a < 1/3, \quad v < 10,$$

$$H(a,v) = a/\sqrt{\pi} \cdot v^2 \cdot (1 + 3/2 \cdot 1/v^2 + 15/4 \cdot 1/v^4) \quad \text{при } 10^{-4} < a, \quad v > 10.$$

Значения $H_k(v)$ вычислены в работе [2]. В остальных случаях интеграл (3) вычисляется методом трапеций с пределами интегрирования от -7 до $+7$, интервал интегрирования разбивается на 100 шагов. При вычислении профиля линии учитываются четыре механизма уширения коэффициента поглощения: затухание вследствие излучения, доплеровское уширение, уширение квадратичным эффектом Штарка и эффектом Ван-дер-Ваальса. Таким образом, переменные функции Фойгта записываются в виде

$$a = (\Delta\lambda_R + \Delta\lambda_{st} + \Delta\lambda_w)/\Delta\lambda_D, \quad v = (\Delta\lambda + d)/\Delta\lambda_D,$$

где $\Delta\lambda_R$ – ширина линии вследствие затухания излучения, $\Delta\lambda_{st}$ – штарковская ширина, обусловленная эффектом Ван-дер-Ваальса, d – штарковский сдвиг; $\Delta\lambda_w$ вычисляется по приближенной формуле Унзольда:

$$\Delta\lambda_w = \lambda^2/4\pi c \cdot C_6^{0.4} \cdot (34 \cdot N(\text{He I})) \cdot (8kT/\pi m_{\text{H}})^{0.3},$$

при этом учитывается уширение линии за счет соударений с нейтральными атомами водорода и гелия. Константа C_6 может быть задана или вычислена по формуле

$$C_6 = 6.5 \cdot 10^{-9} \cdot (((Z+1)^2 + 13.595)/\chi_{up})^{4/5},$$

где Z – заряд иона, χ_{up} – потенциал ионизации с верхнего уровня.

Для учета квадратичного эффекта Штарка в программе KONTUR есть две возможности. Если имеются данные точных расчетов, то для линии задаются зависящие от температуры электронная ударная полуширина w, ионная ударная полуширина α и сдвиг d. Тогда штарковская ширина линии и сдвиг вычисляются в каждой точке по глубине по формулам

$$\Delta\lambda_{st} = 2w \cdot N_e \cdot 10^{-16}(1 + \alpha N_e^{1/4} A),$$

$$d = w \cdot N_e \cdot 10^{-16} \cdot (d/w + \alpha N_e^{1/4} B),$$

где $A = 1.75(1 - 0.75r)$, $B = 2(1 - 0.75r)$ для нейтральных атомов и $A = 1.75(1 - 1.2r)$, $B = 2(1 - 1.2r)$ для ионов, r – дебаевского экранирования,

$$r = 1.85\pi^{1/6} \cdot N_e^{1/6} \cdot (e^2/kT)^{1/2}.$$

Если данные о параметрах w, α, d отсутствуют, то для оценки уширения Штарка принимается аппроксимация $\Delta\lambda_{st} = \lambda^2/4\pi c \cdot C_4 \cdot N_e$, где константа C_4 может быть задана или вычислена по формуле

$$C_4 = 10^{-8} \cdot (((Z+1)^2 + 13.595)/\chi_{up})^{5/2}.$$

При расчете бленд профиль коэффициента поглощения вычисляется отдельно для каждой линии, после чего коэффициенты поглощения суммируются в каждой точке по длине волны и глубине. Для вычисления потока в линии используется суммарный коэффициент поглощения, учитывающий вклад всех линий, образующих бленду.

Алгоритм программы следующий: после ввода параметров элементов, линий и моделей вычисляется поток в континууме в указанной длине волны центра линии с заданным шагом H_0. Затем начинается расчет профиля линии с заданным шагом по $\Delta\lambda$. Сначала вычисляется длинноволновое крыло, потом, если линия ассиметричная, – коротковолновое. В каждой точке по $\Delta\lambda$ вычисляется коэффициент поглощения, поток в линии H_λ и отношение

$$r_\lambda = H_\lambda/H_0.$$

Счет продолжается до тех пор, пока после учета всех бленд r_λ не станет меньше указанного значения. Сразу при нахождении r_λ в каждой точке выполняется интегрирование для вычисления эквивалентной ширины линии:

$$w_\lambda = \int_0^\infty (1 - r_\lambda) d\lambda.$$

Интеграл вычисляется методом Симпсона с переменным шагом, который может изменяться при расчетах изолированных линий и крыльев бленд.

Одновременно с вычислением потока и эквивалентной ширины рассчитывается глубина формирования потока

$$<\tau_\lambda>= \int_0^\infty S_\lambda(t) E_2(t) t dt \Bigg/ \int_0^\infty S(t) E_2(t) dt$$

и глубина формирования эквивалентной ширины

$$<\tau_w>= \int_0^\infty (1 - r_\lambda)\tau_\lambda d\lambda \Bigg/ \int_0^\infty (1 - r_\lambda) d\lambda.$$

Для сравнения теоретических профилей с наблюдаемыми необходимо учитывать уширение линий из-за вращения звезд. В программе профиль линии $\Phi(\lambda)$ для вращающейся звезды вычисляется путем свертки профиля $r(\lambda)$, неуширенного вращением, с функцией вращения $G(\Delta\lambda)$:

$$\Phi(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\lambda - \Delta\lambda) G(\Delta\lambda) d\Delta\lambda. \tag{4}$$

Функция вращения при законе потемнения диска к краю $I_\theta = I_c((1-\beta) + \beta\cos\theta)$ имеет вид

$$G(\Delta\lambda) = \begin{cases} \dfrac{2(1-\beta)(1-(\Delta\lambda/\Delta\lambda_L)^2)^{1/2} + 1/2\pi\beta(1-(\Delta\lambda/\Delta\lambda_L)^2)}{\pi\Delta\lambda_L(1-\beta/3)}, & |\Delta\lambda| \le \Delta\lambda_L, \\ 0, & |\Delta\lambda| > \Delta\lambda_L, \end{cases}$$

где $\Delta\lambda_L = \lambda \cdot v/c \cdot \sin i$.

Интеграл (4) вычисляется методом трапеций с шагом в 1 пм, пределы интегрирования определяются нулями функции $G(\Delta\lambda)$.

В последнем варианте программы KONTUR реализована также возможность проводить свертку профиля линии $G(\Delta\lambda)$ с инструментальным профилем. При этом принимается, что инструментальный профиль имеет форму гауссианы:

$$\phi(\Delta\lambda) = A \cdot \exp(-\Delta\lambda/\sigma)^2,$$

где $A = 1/\sqrt{\pi}\sigma$, σ – полуширина инструментального профиля. Вычисления проводятся как при учете уширения вращением, но интегрирование по $\Delta\lambda$ здесь прерывается, когда $\phi(\Delta\lambda)$ становится меньше 0.01.

При расчете линейчатых спектров учитывается уширение, обусловленное естественным затуханием, линейным и квадратичным эффектом Штарка, эффектом Ван-дер-Ваальса, эффектом Зеемана и вращением звезды как целого. Программное определение коэффициентов прямой регрессии для величин $\lg N$ (элемента) от эквивалентной ширины соответствующей линии позволяет достаточно объективно определить микротурбулентную скорость в атмосферах звезд. То же самое для зависимостей $\lg N$ от фактора Ланде для линий какого-либо элемента примерно одинаковых эквивалентных ширин дает возможность определения напряженности магнитного поля в атмосфере звезды. Исследование o Peg и ϕ Her этим методом позволило определить различие в природе металличности этих двух металлических звезд.

РАСЧЕТЫ ДИНАМИКИ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ И СУММАРНОГО СПЕКТРА

Программы расчетов суммарного спектра кратной системы позволяют разделить наблюдаемый спектр покомпонентно совместно с определением параметров каждого из компонентов. Одновременный расчет динамических характеристик орбит дает исходные данные для такого расчета.

Алгоритм расчета динамики описан ниже.

Массы компонентов системы: $M_1/M_\odot$, $M_2/M_\odot$, a – большая полуось относительной орбиты, $a = a_1 + a_2$, где a_1 и a_2 – полуоси эллипсов абсолютного движения компонентов вокруг центра тяжести системы, $M_1/M_2 = a_2/a_1$, следовательно $a_1 = a/(1 + M_1/M_2)$.

Секториальная скорость компонента определяется равенством $f = 1/2 \cdot r^2 \cdot d\theta/dt$ и по второму закону Кеплера постоянна.

Расстояние компонента от фокуса соответствующего эллипса определяется радиусом-вектором и равно $r = a(1 - e^2/(1 + e \cdot \cos\theta)$.

Соотношение между фазой периода $\Phi = t/P$ и угловым положением компонента θ можно получить из второго закона Кеплера

$$\int f \cdot dt = 1/2 \int r^2 \cdot d\theta = \pi a \cdot b \cdot t/P.$$

Последнее дает

$$\Phi = (2\pi a \cdot b)^{-1} \int b^4 \cdot a^{-2}/(1 + e \cdot \cos\theta) \cdot d\theta = (1 - e^2)^{3/2}/(2\pi) \int (1 + e \cdot \cos\theta)^{-2} \cdot d\theta.$$

После интегрирования получим:

$$\Phi = (1 - e^2)^{1/2}/(2\pi) \cdot (2/(1 - e^2)^{1/2} \cdot \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}(\theta/2) \cdot (1 - e)/(1 - e^2)^{1/2}) - e \cdot \sin\theta/(1 + e \cdot \cos\theta)).$$

Величина скорости движения компонента по эллипсу определяется по формуле:

$$V = ((r \cdot d\theta/dt)^2 + (dr/dt)^2)^{1/2},$$

где $r \cdot d\theta/dt = (2\pi/P) \cdot (a \cdot b/r)$ и $dr/dt = (2\pi/P) \cdot b \cdot \sin\theta/(1 - e^2)$.

С другой стороны, период вращения системы определяется общим соотношением через массы компонентов и большую полуось относительного движения:

$$2\pi/P = (G \cdot (M_1 + M_2)/a^3)^{1/2}.$$

Таким образом, абсолютное значение скорости движения каждого из компонентов по своему эллипсу можно записать в виде

$$V_{1,2} = (G \cdot (M_1 + M_2)/a^3)^{1/2} \cdot a_{1,2} \cdot ((1 + 2e\cos\theta + e^2)/(1 - e^2))^{1/2}.$$

Для вычисления наблюдаемого значения лучевой скорости каждого из компонентов разложим полученное значение скорости на составляющие, перпендикулярную к большой полуоси ($V_\perp$) и параллельную ей ($V_\|$):

$$V_\perp = V \cdot (e + \cos\theta)/(1 + 2e\cos\theta + e^2)^{1/2},$$

$$V_\| = V \cdot \sin\theta/(1 + 2e\cos\theta + e^2)^{1/2}.$$

Тогда наблюдаемое значение лучевой скорости каждого из компонентов будет равно

$$V_r = (V_\perp \cdot \cos(180^\circ - \omega) + V_\| \cdot \cos(90^\circ - \omega)) \cdot \sin i,$$

где i – угол наклонения плоскости орбиты к картинной плоскости, а ω – угол между линией узлов и большой полуосью эллипса движения.

РАСЧЕТ ЯДЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВЕЩЕСТВА В ЗВЕЗДЕ

При расчетах ядерной эволюции рассчитываются изменения содержания элементов в результате выгорания водорода в pp- и CNO-циклах и выгорание He в реакциях тройного альфа-процесса и в реакциях ^{12}C + ^{4}He, ^{16}O + ^{4}He, ^{20}Ne + ^{4}He. Программы позволяют включать горение в ядре и слоевом источнике с перемешиванием между ними. Эти программы используют для анализа систем, компонентами которых являются экстремальные гелиевые звезды типа ν Sgr и KS Per.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обсуждаемый комплекс программ рассчитан на анализ спектрального материала с высоким разрешением и отношением сигнал/шум 100 и выше. Такой материал доступен при наблюдениях на 2-м телескопе МЦ АМЭИ с эшельным спектрометром в фокусе кудэ. Такой же спектральный материал мы получаем и на телескопах САО РАН, что позволяет проводить комплексные синхронные наблюдения, а применение описанного программного комплекса способствует проведению адекватных исследований физики и эволюции звезд.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 01-07-90183 и № 00-02-16213-а).

[1] SAO Spec. Rept.–1971.–**309**.

[2] *Harris D. L.* On the line-absorption coefficient due to Doppler effect and damping // Astrophys. J.–1948.–**108**, N 1.–P. 112–115.

ЗВЕЗДЫ ВОЛЬФА–РАЙЕ, НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ И ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

А. М. Черепащук

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Университетский пр., 13, 119992 Москва, Россия
e-mail: cher@sai.msu.ru

Выполнен анализ распределения финальных масс углеродно-кислородных ядер звезд Вольфа–Райе (WR) в двойных системах. При этом учтена потеря массы в виде клочковатого звездного ветра звезд WR. Распределение финальных масс CO-ядер звезд WR непрерывно и лежит в широком диапазоне $(1-2) \div (20-44)M_{\odot}$. Этот диапазон охватывает возможные массы нейтронных звезд и черных дыр: $1 \div 16M_{\odot}$. Хотя распределение финальных масс CO-ядер звезд WR – производителей релятивистских объектов – непрерывно, соответствующее распределение масс релятивистских объектов бимодально: массы нейтронных звезд лежат в узком интервале $1 \div 2M_{\odot}$, массы черных дыр лежат в диапазоне $4 \div 16M_{\odot}$. В интервале $2 \div 4M_{\odot}$ в двойных системах не наблюдается ни нейтронных звезд, ни черных дыр. Показано, что этот провал может быть вызван эффектами наблюдательной селекции.

WOLF–RAYET STARS, NEUTRON STARS, AND BLACK HOLES IN BINARY SYSTEMS, by Cherepashchuk A. M. – Distribution of final masses of carbon–oxygen (CO) cores of WR-stars in binary systems has been analysed. The mass loss via blobbed stellar wind from WR-stars was taken into account. Final masses of CO-cores of WR-stars are continuously distributed. They cover a wide range between $(1-2)$ and $(20-44)M_{\odot}$. This range includes possible masses of neutron stars (NS) and black holes (BH), which are equal $1 \div 16M_{\odot}$. Although final masses of CO-cores of WR-stars, which are the progenitors of relativistic objects are continuously distributed, corresponding masses of relativistic objects are distributed in a bimodal way: masses of NS lie in a narrow range $1 \div 2M_{\odot}$, those of BH lie in a range $4 \div 16M_{\odot}$. There is a gap in the mass distribution from 2 to $4M_{\odot}$. It implies that there are no binary systems containing either NS or BH with masses from this interval. The gap is shown to be caused by the observational selection effects.

ВВЕДЕНИЕ

Звезды Вольфа–Райе (WR) были открыты в 1867 году французскими учеными М. Вольфом и Дж. Райе [1]. Характерная особенность звезд WR – наличие в их спектрах сильных и широких линий излучения атомов гелия, азота, углерода и кислорода в разных стадиях ионизации. Мы рассмотрим лишь массивные ($m = 5 - 50M_{\odot}$, $M_{\odot}$ – масса Солнца) звезды WR I типа населения Галактики, которые в среднем концентрируются к галактической плоскости. Полное число звезд WR в Галактике оценивается в одну-две тысячи. В последнее время выявляется тесная связь между эволюцией звезд WR, вспышками сверхновых типа I b/c, образованием нейтронных звезд (н.з.) и черных дыр (ч.д.) [2–4], а также генерацией космических гамма-всплесков [5, 6].

По современным представлениям звезды WR являются обнаженными гелиевыми ядрами первоначально массивных ($m > 30 - 40M_{\odot}$) звезд, потерявших основную часть своих водородных оболочек либо в результате обмена веществом в тесных двойных системах [7], либо вследствие интенсивного истечения одиночных наиболее массивных звезд в виде звездного ветра [8, 9]. Мощный эмиссионный линейчатый спектр звезд WR формируется вблизи основания звездного ветра, истекающего со скоростями в 1–3 тысячи км/с, по-видимому, под действием давления радиации горячего “ядра” с темпом потери массы $\sim 10^{-5}M_{\odot}$/год (см., например, [10]).

Звезды WR как массивные, горячие, невырожденные, в основном гелиевые звезды, находящиеся на поздней стадии эволюции, должны взрываться как сверхновые типа I b/c и формировать в результате коллапса своих CO-ядер релятивистские объекты: н.з. и ч.д. [11]. Кроме того, поскольку звезды WR лишены мощных водородных оболочек, это облегчает трансформацию энергии коллапса в наблюдаемое гамма-излучение, что позволяет рассматривать звезды WR как возможные производители космических гамма-всплесков [5, 6].

К настоящему времени измерены массы 23 звезд WR в двойных WR+O-системах и массы 34 релятивистских объектов (19 н.з. и 15 ч.д.) в рентгеновских двойных системах и двойных системах с радиопульсарами (см. обзоры [3, 12–14] и ссылки в них). Представляет интерес сравнение масс звезд WR и их углеродно-кислородных ядер (CO-ядер) в конце эволюции с массами релятивистских объектов. Производителями релятивистских объектов могут быть не только звезды WR, но и другие массивные звезды нормального поверхностного химсостава, например красные и голубые сверхгиганты. Однако, поскольку мы измеряем массы релятивистских объектов и звезд WR исключительно в двойных системах, сравнение масс н.з. и ч.д. с массами звезд WR является корректным, поскольку в тесной двойной системе массивная звезда под влиянием притяжения спутника всегда быстро теряет водородную оболочку и превращается в звезду WR [7]. Наблюдательные свидетельства обмена масс в двойных системах, содержащих звезду WR и нормальную горячую звезду спектрального класса O (WR+O-системах) получены недавно в [17]: величина переходного орбитального периода P_{tr}, соответствующего переходу от круговых орбит к эллиптическим, составляет $P_{tr} = 14$ сут для двойных WR+O-систем и $P_{tr} = 2$–3 сут для OB+OB-систем, содержащих непроэволюционировавшие горячие массивные звезды спектральных классов O–B. То, что величина P_{tr} для WR+O-систем в пять раз больше, чем для OB+OB-систем, непосредственно указывает на наличие у WR+O-систем механизма округления орбит, дополнительного к тому, который действует в OB+OB-системах (диссипация энергии орбитального движения вследствие радиативного подавления динамических приливов [18]). Этот дополнительный механизм округления орбит в WR+O-системах естественно связать с эволюционным увеличением радиуса первоначально более массивной звезды и перетеканием вещества от более массивного к менее массивному компоненту системы. В большинстве эволюционных сценариев для тесных двойных систем, содержащих массивную звезду, последняя в конце концов теряет свою водородную оболочку и порождает звезду WR, ядро которой, коллапсируя, образует н.з. или ч.д. [15, 16]. Лишь в случае радиопульсаров в двойных системах с круговыми орбитами и спутниками – маломассивными белыми карликами рассматривается возможность образования н.з. в результате коллапса белого карлика, нарастившего свою массу до чандрасекаровского предела вследствие аккреции вещества спутника – маломассивной невырожденной звезды [15]. Таким образом, можно считать, что все н.з. и ч.д. в рентгеновских двойных системах и большая часть н.з.-радиопульсаров в двойных системах образуются в результате коллапсов CO-ядер звезд WR.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС Н.З. И Ч.Д.

Как было отмечено в [2, 19], наблюдаемое распределение масс релятивистских объектов в двойных системах бимодально: массы н.з. лежат в узком интервале $m_{\text{н.з.}} = (1-2)M_\odot$, массы ч.д. сконцентрированы в диапазоне $m_{\text{ч.д.}} = (4-6)M_\odot$. В интервале масс $(2-4)M_\odot$ не наблюдается ни н.з., ни ч.д. Новейшие данные по массам релятивистских объектов приведены в таблице и на рис. 1.

Видно, что не наблюдается зависимости масс релятивистских объектов от масс спутников: и н.з., и ч.д. встречаются в двойных системах как с массивными, так и с маломассивными спутниками. Ситуация в данном случае подобна той, которая имеет место в классических двойных звездных системах, где наблюдаются любые комбинации компонентов [20]. Подчеркнем, что измеренные массы рентгеновских и радиопульсаров (н.з.) не превышают $3M_\odot$ – теоретического верхнего предела масс н.з., предсказываемого ОТО Эйнштейна. В то же время ни один из 15 массивных ($m_x > 3M_\odot$) компактных рентгеновских источников в двойных системах (кандидатов в ч.д.) не является ни рентгеновским пульсаром, ни рентгеновским барстером 1-го типа, также в согласии с предсказанием ОТО.

Новые данные подтверждают вывод о бимодальном распределении масс релятивистских объектов [2, 19]. Массы 19 н.з. заключены в узком интервале $m_{\text{н.з.}} = (1-2)M_\odot$, среднее значение массы н.з. $<m_{\text{н.з.}}>= (1.35 \pm 0.15)M_\odot$. Средняя масса н.з.-радиопульсаров в хорошо изученных двойных системах равна $(1.35 \pm 0.04)M_\odot$ [14]. В работе [21] на основе новых спектральных наблюдений подтверждено сравнительно высокое значение массы н.з. в рентгеновской двойной системе Vela X-1: $m_{\text{н.з.}} = (1.86 \pm 0.16)M_\odot$, что имеет важное значение для уточнения уравнения состояния вещества н.з. Однако даже это, наиболее высокое значение $m_{\text{н.з.}}$, не выходит за пределы $2M_\odot$.

Массы 15 ч.д. в двойных системах лежат в пределах $m_{\text{ч.д.}} = (4-16)M_\odot$. Среднее значение массы ч.д. равно $< m_{\text{ч.д.}} >= (8-10)M_\odot$. В интервале масс $m_x = (2-4)M_\odot$ в двойных системах не наблюдаются ни н.з., ни ч.д. Этот провал в распределении масс m_x релятивистских объектов, по-видимому, не может быть связан с эффектами наблюдательной селекции [4, 12, 19].

Рассмотрим возможные эффекты наблюдательной селекции, которые могут приводить к видимому бимодальному распределению масс релятивистских объектов в двойных системах, хотя в действительности распределение масс н.з. и ч.д. может быть непрерывным.

Параметры двойных систем с черными дырами

Система	Спектр оптич. зв.	P_{orb}, сут	$f_v(m)/M_\odot$	$m_x/M_\odot$	$m_v/M_\odot$	V_{pec}, км/с	Прим.
Cyg X–1 V 1357 Cyg	O 9.7 Iab	5.6	0.24 ± 0.01	16 ± 5	33 ± 9	2.4 ± 1.2	стац.
LMC X–3	B3 Ve	1.7	2.3 ± 0.3	9 ± 2	6 ± 2	–	стац.
LMC X–1	O (7–9) III	4.2	0.14 ± 0.05	7 ± 3	22 ± 4	–	стац.
AO 620–00 (V616 Mon)	K5 V	0.3	2.91 ± 0.08	10 ± 5	0.6 ± 0.1	-15 ± 5	транз.
GS 2023+338 (V404 Cyg)	K0 IV	6.5	6.08 ± 0.06	12 ± 2	0.7 ± 0.1	8.5 ± 2.2	транз.
GRS 1124–68 (GU Mus)	K2 V	0.4	3.01 ± 0.15	6 (+5, –2)	0.8 ± 0.1	26 ± 5	транз.
GS 2000+25 (QZ Vul)	K5 V	0.3	4.97 ± 0.10	10 ± 4	0.5 ± 0.1	–	транз.
GRO J0422+32 (V518 Per)	M2 V	0.2	1.13 ± 0.09	10 ± 5	0.4 ± 0.1	–	транз.
GRO J1655–40 (XN Sco 1994)	F5 IV	2.6	2.73 ± 0.09	7 ± 1	2.5 ± 0.8	-114 ± 19	транз.
H 1705–250 (V2107 Oph)	K5 V	0.5	4.86 ± 0.13	6 ± 1	0.4 ± 0.1	38 ± 20	транз.
4U 1543–47 (HL Lup)	A2 V	1.1	0.22 ± 0.02	5 ± 2.5	~ 2.5	–	транз.
GRS 1009–45 (MM Vel)	(K6–M0)V	0.3	3.17 ± 0.12	3.6–4.7	0.5–0.7	–	транз.
SAX J1819.3–2525 (V4641 Sgr)	B9 III	2.8	2.74 ± 0.12	9.61 (+2.08, –0.88)	6.53 (+1.6, –1.03)	–	транз.
XTE 1118+480	(K7–M0)V	0.17	6.1 ± 0.3	6.0–7.7	0.09–0.5	–	транз.
GRS 1915+105	(K–M)III	33.5	9.5 ± 3.0	14 ± 4	1.2 ± 0.2	–	транз.

Примечание. Здесь P_{orb} – орбитальный период, $f_v(m) = \dfrac{m_x^3 \sin^3 i}{(m_x + m_v)^2}$ – функция масс оптической звезды, m_x, m_v – массы релятивистского объекта и оптической звезды соответственно, V_{pec} – пекулярная лучевая скорость центра масс двойной системы

1. Распад двойной системы в диапазоне масс релятивистских объектов $m_x = (2-4)M_\odot$, обусловленный сбросом более половины суммарной массы вследствие взрыва сверхновой [4]. Такой распад наиболее вероятен для двойных систем, содержащих наименее массивные релятивистские объекты, т.е. н.з., что не согласуется с наблюдениями: имеется много маломассивных рентгеновских двойных систем с н.з., причем среди рентгеновских новых доля двойных систем с н.з. составляет около 30 % [3].
2. Нагрев и стабилизация аккреционного диска в двойной системе рентгеновским излучением центрального релятивистского объекта. Предполагается [13], что из-за этого эффекта в диапазоне масс релятивистских объектов $m_x = (2-4)M_\odot$ все рентгеновские новые находятся постоянно в активном состоянии и имеют яркие аккреционные диски, что не позволяет увидеть линии в спектре спутника и измерить массу релятивистского объекта. Но условия для прогрева аккреционного диска наиболее благоприятны в случае аккрецирующей н.з. В то же время среди рентгеновских новых 30 % систем содержат н.з.
3. Сильная потеря массы в виде звездного ветра звездами WR в двойных системах, предшественниках н.з. и ч.д. [22]. Это может приводить к тому, что в двойных системах образуются только н.з., а ч.д. не образуются. Как отмечалось в работах [2, 3], с учетом клочковатости ветра звезд WR мы должны уменьшить темп потери массы звездами WR в несколько раз, поэтому эффект радиальной потери массы звездой WR не должен сильно мешать образованию ч.д. в двойных системах.
4. В процессе аккреции вещества н.з. и ч.д. в двойных системах наращивают массу, поэтому

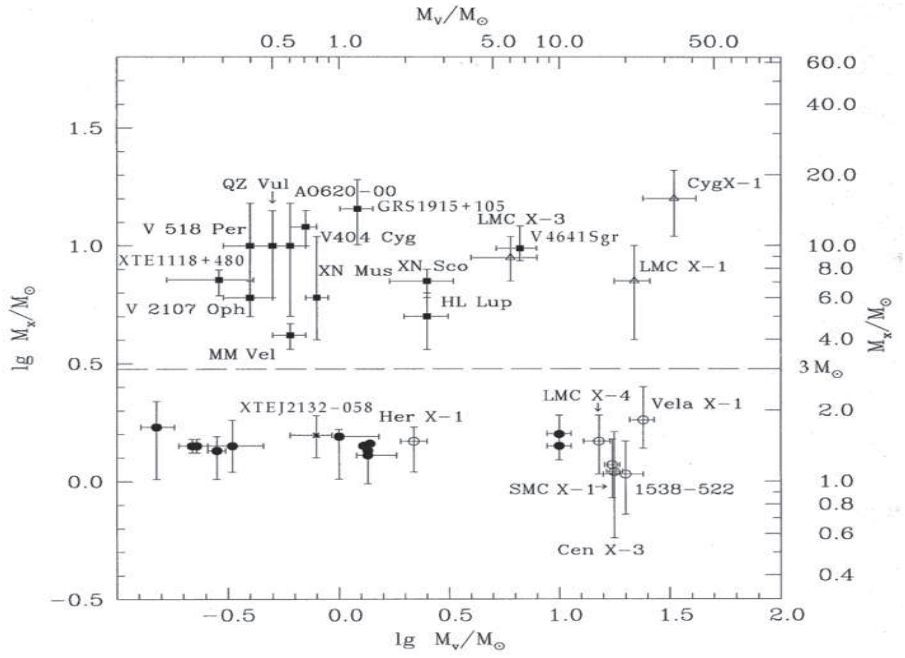


Рис. 1. Зависимость масс m_x н.з. (кружки и крестик) и ч.д. (треугольники и квадратики) от масс спутников m_v в тесных двойных системах (ТДС). Темные кружки соответствуют радиопульсарам, светлые кружки – рентгеновским пульсарам, крестик – н.з. в рентгеновской новой XTE J2132–058. Темные квадратики соответствуют ч.д. в рентгеновских новых, светлые треугольники – ч.д. в квазистационарных рентгеновских двойных системах с O–B компонентами

их массы могут систематически отличаться от масс одиночных н.з. и ч.д. Как показано в работе [3], этот эффект также несущественен, в частности потому, что большинство спутников в двойных системах – рентгеновских новых являются маломассивными K–M-звездами главной последовательности, которые не могут обеспечить значительный прирост массы аккрецирующих релятивистских объектов.

Таким образом, трудно придумать эффект наблюдательной селекции, который бы так немонотонно зависел от массы релятивистского объекта и обеспечивал наблюдаемый провал в распределении масс релятивистских объектов в диапазоне $(2-4)M_\odot$. Есть все основания считать этот провал реальным: по какой-то глубокой причине в двойных системах не рождаются массивные н.з. ($m_{\text{н.з.}} > 2M_\odot$) и маломассивные ч.д. ($m_{\text{ч.д.}} < 4M_\odot$). С учетом изложенного этот же вывод можно отнести и к одиночным релятивистским объектам.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС ЗВЕЗД WR И ИХ УГЛЕРОДНО–КИСЛОРОДНЫХ ЯДЕР В КОНЦЕ ЭВОЛЮЦИИ

При сравнении масс н.з. и ч.д. с массами звезд WR необходимо учесть радиальную потерю массы этими звездами в виде звездного ветра с темпом $\dot{M} \simeq 10^{-5} M_\odot$/год. Впервые учет потери массы для звезд WR в зависимости от массы звезды M_{WR} был выполнен в работе [23]:

$$\dot{M}_{WR} = -(0.6 \div 1.0)\left(\frac{M_{WR}}{M_\odot}\right)^{2.5}. \tag{1}$$

Использование этой формулы приводит к известному эффекту сходимости: практически независимо от начальной массы звезды WR из-за сильной потери массы в виде ветра масса CO-ядра звезды WR в конце эволюции получается весьма малой: $M^f_{CO} \approx (2-4)M_\odot$. Но тогда как понять существование ч.д. с массами $(10-15)M_\odot$ (см. таблицу и рис. 1)?

Главный источник информации о темпах потери массы звездами WR $\dot{M}_{WR}$ – наблюдения потоков радиоизлучения от них. До последнего времени величины $\dot{M}_{WR}$ определялись по наблюдаемым радиопотокам в модели непрерывного звездного ветра, истекающего на больших расстояниях от звезды WR с постоянной скоростью.

В работах [24, 25] была выявлена клочковатость звездного ветра звезд WR. Есть основания полагать, что до 80 % вещества звездного ветра WR состоит из компактных ($r < 0.1R_\odot$) плотных (скачок плотности $\frac{\Delta\rho}{\rho} \simeq 10 \div 100$) облаков газа, участвующих в общем движении ветра WR [26]. Как отмечено в [26], поскольку интенсивность теплового радиоизлучения ветра WR квадратично зависит от плотности, интерпретация радионаблюдений клочковатого ветра WR в модели непрерывного ветра приводит к завышению величин $\dot{M}_{WR}$ в несколько раз, поэтому величины $\dot{M}_{WR}$ должны быть пересмотрены в сторону более низких значений.

В работе [4] с учетом эффекта клочковатости ветра звезд WR, который позволяет уменьшить величины $\dot{M}_{WR}$ примерно в 3 раза, вычислены финальные массы звезд WR и их CO-ядер. При этом использовалась эмпирическая зависимость

$$\dot{M}_{WR} = KM^{\alpha}_{WR}\,, \tag{2}$$

полученная из анализа поляризационных наблюдений около десятка двойных систем WR+O группой Моффата [27]. Согласно [27] в формуле (2) $\alpha = 1 \div 2$, причем $\alpha = 1$ более предпочтительно. Решая дифференциальное уравнение 2 для случаев $\alpha = 1$ и $\alpha = 2$, с уменьшенным ввиду клочковатости ветра WR коэффициентом K, получаем зависимость массы звезды WR от времени:

$$M_{WR}(t) = M^{i}_{WR}\exp(-7\cdot 10^{-7}\cdot t), \qquad \alpha = 1,$$

$$M_{WR}(t) = \frac{M^{i}_{WR}}{1 + 7\cdot 10^{-8} M^{i}_{WR}\cdot t}, \qquad \alpha = 2,$$

где M^{i}_{WR} – начальная масса звезды WR (в $M_\odot$).

Далее, используя аппроксимационное выражение для массы CO-ядра [28]

$$\frac{M_{CO}}{M_\odot} \approx 0.45\left(\frac{M_{WR}}{M_\odot}\right)^{1.2}$$

и выражение для времени эволюции звезды WR [4]

$$T = \frac{1.74\cdot 10^{6}}{\sqrt{\frac{M_{WR}}{M_\odot}}} \quad \text{лет},$$

можно с помощью итерационной процедуры вычислить финальные массы наблюдаемых звезд WR и их CO-ядер в конце эволюции, непосредственно перед коллапсом и формированием релятивистского объекта [4].

Результаты расчетов финальных масс CO-ядер M^{f}_{CO} для 23 звезд WR с известными массами (для случаев $\alpha = 1$ и $\alpha = 2$) [4] приведены на рис. 2. Здесь даны распределения масс M^{f}_{CO} и масс M_x 34 релятивистских объектов.

Видно, что в нашем случае не наблюдается эффекта сходимости: величины M^{f}_{CO} распределены непрерывно и в широком интервале $M^{f}_{CO} = (1-2)M_\odot \div (20-44)M_\odot$, охватывающем диапазон масс релятивистских объектов $M_x = (1-16)M_\odot$. Провалы в распределениях M^{f}_{CO} для больших значений $M^{f}_{CO} > 12M_\odot$ связаны с малым числом наблюдаемых звезд WR в интервале больших масс.

Средняя масса $< M^{f}_{CO} >= 7.4M_\odot$ для $\alpha = 2$ и $< M^{f}_{CO} >= 10.3M_\odot$ для $\alpha = 1$. Средняя масса CO-ядра $< M^{f}_{CO} >= (7.4 \div 10.3)M_\odot$ близка к средней массе ч.д. $< M_{\text{ч.д.}} >= (8-10)M_\odot$.

Суммируем данные по массам релятивистских объектов и CO-ядер звезд WR в конце эволюции.

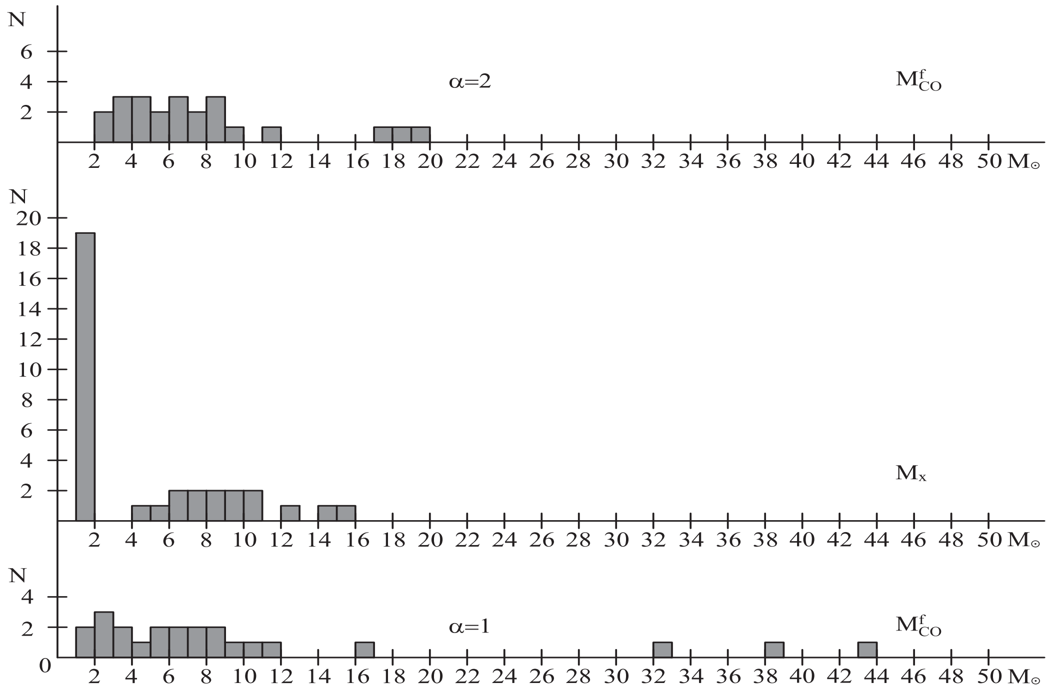


Рис. 2. Гистограммы распределения конечных масс углеродно-кислородных ядер M^f_{CO} для 23 звезд WR с известными массами (нижний график соответствует случаю $\alpha = 1$ в уравнении 2, верхний – случаю $\alpha = 2$). В середине показана гистограмма распределения масс M_x для 34 релятивистских объектов в ТДС. Высокий пик в диапазоне $(1-2)M_\odot$ соответствует н.з. Распределения M^f_{CO} непрерывны, а распределение M_x бимодально с провалом в области значений масс $M_x = (2-4)M_\odot$

- Массы релятивистских объектов:

$$M_x = (1-16)M_\odot \qquad (34 \text{ объекта}).$$

  Распределение масс M_x бимодально.

- Массы CO-ядер звезд WR:

$$M^f_{CO} = (1-2)M_\odot - (20-44)M_\odot \qquad (23 \text{ объекта}).$$

  Распределение масс M^f_{CO} непрерывно.

- Массы н.з.:

$$M_{\text{н.з.}} = (1-2)M_\odot \qquad (19 \text{ объектов}).$$

- Массы ч.д.:

$$M_{\text{ч.д.}} = (4-16)M_\odot \qquad (15 \text{ объектов}).$$

- Средняя масса н.з.:

$$< M_{\text{н.з.}} >= (1.35 \pm 0.15)M_\odot \qquad (19 \text{ объектов}).$$

- Средняя масса ч.д.:

$$< M_{\text{ч.д.}} >= (8-10)M_\odot \qquad (15 \text{ объектов}).$$

- Средняя масса CO-ядер звезд WR:

$$< M^f_{CO} >= (7.4-10.3)M_\odot \qquad (23 \text{ объекта}).$$

В интервале масс релятивистских объектов $M_x = (2-4)M_\odot$ в двойных системах имеется провал в распределении масс M_x, который, по-видимому, не может быть связан с эффектами наблюдательной селекции.

Недавно для 18 хорошо изученных вспышек сверхновых типа I bc, по-видимому, связанных с коллапсами ядер звезд WR, заподозрено возможное бимодальное распределение по светимостям в максимуме [29]. Средняя абсолютная звездная величина в голубых лучах в максимуме блеска составляет $M_B = -17.61^m$ для нормальных сверхновых типа I bc (по 13 сверхновым) и $M_B = -20.26^m$ для ярких сверхновых этого типа (по 5 сверхновым). Таким образом, светимости в максимуме для нормальных и ярких сверхновых типа I bc – результатов коллапсов CO-ядер звезд WR, различаются на порядок величины. Если этот результат подтвердится на большем наблюдательном материале, можно будет утверждать, что не только конечные продукты коллапса CO-ядер звезд WR имеют бимодальное распределение, но также бимодальна и энергетика сопутствующих им вспышек сверхновых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемое распределение масс релятивистских объектов бимодально ($M_{\text{н.з.}} = (1-2)M_\odot$, $M_{\text{ч.д.}} = (4-16)M_\odot$), несмотря на то, что распределение масс их производителей – CO-ядер звезд WR в конце эволюции непрерывно ($M_{CO}^f = (1-2)M_\odot - (20-44)M_\odot$). Распределение светимостей в максимуме для сверхновых типа I bc, связанных с коллапсом CO-ядер звезд WR в конце эволюции, также может быть заподозрено как бимодальное ($M_B = -17.61^m$ для нормальных сверхновых типа I bc и $M_B = -20.26^m$ для ярких сверхновых этого типа). Такое различие распределений масс и энергетики вспышек сверхновых типа I bc дает основания предполагать, что не только масса предшественника определяет природу сформировавшегося релятивистского объекта (нейтронная звезда, черная дыра), но и другие параметры предшественника – магнитное поле, вращение, статистический исход коллапса, обусловленный влиянием различных неустойчивостей и т.п. (см., например, [30]).

Эффекты вращения для некоторых звезд WR были измерены в последние годы по деполяризации излучения в эмиссионных линиях (см., например, [31]). Доля быстро вращающихся звезд WR составляет 15–20 % [31].

Дальнейшие исследования различия распределений масс релятивистских объектов и их производителей – CO-ядер звезд WR в двойных системах представляются весьма перспективными. Для этого требуются интенсивные наблюдения как релятивистских объектов, так и звезд WR в двойных системах.

В работе [32] сделан качественный вывод о том, что провал в распределении масс релятивистских объектов в области $M_x = (2-4)M_\odot$ может быть объяснен, если предположить мягкое уравнение состояния вещества н.з. (верхний предел массы н.з. около $1.5M_\odot$) и учесть действие магниторотационного механизма [33], который при определенных условиях препятствует обратному падению части сброшенной оболочки сверхновой на сформировавшуюся в процессе коллапса быстро вращающуюся, сильно намагниченную н.з. В работе [34] отмечено, что бимодальное распределение масс релятивистских объектов может быть объяснено, если предположить ступенчатую функцию для зависимости энергии взрыва сверхновой от массы предсверхновой M_{prog}: $E = 2.5 \cdot 10^{44}$ Дж для $M_{prog} < 23M_\odot$ и $E = 0$ для $M_{prog} \geq 23M_\odot$.

В работе [6] обоснована гипотеза о том, что коллапсы ядер звезд WR, лишенных водородных оболочек, могут быть источниками космических гамма-всплесков, поскольку средняя масса CO-ядра звезды WR в конце эволюции $< M_{CO}^f >= (7.4 \div 10.3)M_\odot$ близка к средней массе ч.д. $< M_{\text{ч.д.}} >= (8-10)M_\odot$, и следовательно, в среднем мала масса сброшенной оболочки сверхновой типа I bc. Это позволяет гамма-излучению, рождающемуся в результате различных неустойчивостей, возникающих при коллапсе CO-ядра или при формировании джета в диске, более свободно покидать оболочку сверхновой и быть наблюдаемым по сравнению с обычными массивными звездами, обладающими мощными водородными оболочками.

[1] *Wolf M., Rayet G.* // Compte Rendue Acad. Sci.–1867.–**65**.–P. 292.

[2] *Cherepashchuk A. M.* // Modern problems of stellar evolution: Proc. Int. Conf., Zvenigorod / Ed. D. S. Wiebe.–Moscow: Geos Edition, 1998.–P. 198.

[3] *Cherepashchuk A. M.* // Space Sci. Rev.–2000.–**93**.–P. 473.

[4] *Черепащук А. М.* // Астрон. журн.–2001.–**78**.–С. 145.

[5] *Гериштейн С. С.* // Письма в Астрон. журн.–2000.–**26**.–С. 848.

[6] *Постнов К. А., Черепащук А. М.* // Астрон. журн.–2001.–**78**.–С. 602.

[7] *Paczynski B.* // Wolf-Rayet and High Temperature Stars: IAU Symp. N 49 / Eds M. Barry, J. Sahade.–Dordrecht: Reidel, 1973.–P. 143.

[8] *Bisnovatyi-Kogan G. S., Nadyozhin D. K.* // Astrophys. and Space Sci.–1972.–**15**.–P. 353.

[9] *Conti P. S.* // Mem. Soc. Roy. Sci. Liege.–1976.–**9**, N 6–P. 193.

[10] *Lamers H. J. G. L. M., Cassinelli J. P.* Introduction to Stellar Winds.–Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.–P. 248.

[11] *Woosley S. E., Langer N., Weaver T. A.* // Astrophys. J.–1993.–**411**.–P. 823.

[12] *Черепащук А. М.* // Успехи физ. наук.–2002.–**172**.–С. 959.

[13] *Charles P.* // Black Holes in Binaries and Galactic Nuclei / Eds L. Kaper, E. P. J. van den Heuvel, P. A. Woudt.–Berlin: Springer-Verlag, 2001.–P. 27.

[14] *Thorsett S. E., Chakrabarty D.* // Astrophys. J.–1998.–**512**.–P. 288.

[15] *Shore S. N., Livio M., van den Heuvel E. P. J.* Interacting Binaries.–Berlin: Springer-Verlag, 1994.

[16] *Iben I., Tutukov A. V., Yungelson L. R.* // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1995.–**100**.–P. 233.

[17] *Черепащук А. М., Каретников В. Г.* // Астрон. журн.–2003.–в печати.

[18] *Zahn J.-P.* // Astron. and Astrophys.–1977.–**57**.–P. 383.

[19] *Bailyn C. D., Jain R. K., Coppi P., Orosz J. A.* // Astrophys. J.–1998.–**499**.–P. 367.

[20] *Мартынов Д. Я.* // Успехи физ. наук.–1972.–**108**.–С. 701.

[21] *Barziv O., Kaper L., van Kerkwijk M. H., et al.* // Astron. and Astrophys.–2002.–in press.

[22] *Wijers R. A. M.* // Evolutionary Processes in Binary Stars / Eds A. M. J. Ralph *et al.*.–NATO ASI Series C, 1996.–**477**.–P. 327.

[23] *Langer N.* // Astron. and Astrophys.–1989.–**220**.–P. 135.

[24] *Cherepashchuk A. M., Eaton J. A., Khaliullin Kh. F.* // Astrophys. J.–1984.–**281**.–P. 774.

[25] *Moffat A. F. J., Drissen L., Lamontagne R., Robert C.* // Astrophys. J.–1988.–**334**.–P. 1038.

[26] *Черепащук А. М.* // Астрон. журн.–1990.–**67**.–С. 955.

[27] *Moffat A. F. J.* // Wolf-Rayet Stars: Binaries, Colliding Winds, Evolution: IAU Symp. N 163 / Eds K. A. van der Hucht and P. M. Williams.–Dordrecht: Kluwer, 1995.–P. 213.

[28] *Paczynski B.* // Acta Astron.–1971.–**21**.–P. 1.

[29] *Richardson D., Branch D., Casebeer D., et al.* // 2001.–astro-ph/0112051.

[30] *Ergma E., van den Heuvel E. P. J.* // Astron. and Astrophys.–1998.–**331**.–P. L29.

[31] *Harries T. J., Hillier D. J., Howarth I. D.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1998.–**296**.–P. 1072.

[32] *Постнов К. А., Прохоров М. Е.* // Астрон. журн.–2001.–**78**.–С. 1025.

[33] *Бисноватый-Коган Г. С.* // Астрон. журн.–1970.–**47**.–С. 813.

[34] *Fryer C. L., Kalogera V.* // Astrophys. J.–2001.–**554**.–P. 548.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ ШАРОВЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ И КАРЛИКОВЫМИ ГАЛАКТИКАМИ – ОБЪЯСНЕНИЕ АССОЦИАЦИЙ КВАЗАРОВ С ГАЛАКТИКАМИ ?

А. В. Ющенко[1,2], Ч. Х. Ким[2], А. В. Сергеев[3]

[1] *Астрономическая обсерватория при Одесском национальном университете парк Шевченко, 65014 Одесса, Украина*
e-mail: yua@odessa.net

[2] *Кафедра наук о Земле, Чонбук Национальный университет 561-756, Чонджю (Южная) Корея*
e-mail: chkim@mail.chonbuk.ac.kr

[3] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований ул. Академика Заболотного 27, 03680 Киев, Украина*
e-mail: sergeev@burbonz.nalnet.ru

Ассоциации квазаров с галактиками могут быть объяснены гравитационным линзированием удаленных активных галактик шаровыми звездными скоплениями и карликовыми галактиками, расположенными в гало галактик и в малых группах галактик. Мы предлагаем наблюдательный тест для проверки этой гипотезы. Использовался обзор неба SUPERCOSMOS для исследования поверхностной плотности звездообразных объектов вокруг галактик, взятых из каталога CfA3. Приводятся результаты вычислений поверхностной плотности звездообразных объектов с нулевыми собственными движениями в окрестностях 19413 галактик. Проведена трехцветная фотометрия площадок вокруг некоторых галактик с использованием 2-м телескопа обсерватории Терскол и 1.8-м телескопа обсерватории Bohyunsan (Корея). По результатам этих наблюдений отобраны экстремально линзированные объекты для спектральных наблюдений.

GRAVITATIONAL LENSING BY GLOBULAR CLUSTERS AND DWARF GALAXIES – THE EXPLANATION OF QUASAR-GALAXY ASSOCIATIONS?, by Yushchenko A., Kim C., Sergeev A. – Quasar-galaxy associations can be explained as gravitational lensing by globular clusters, located in the halos of the foreground galaxies and dwarf galaxies in small groups of galaxies. We propose an observational test for checking this hypothesis. We used the SUPERCOSMOS sky survey to find the overdensities of star-like sources with zero proper motions in the vicinities of the foreground galaxies from the CfA3 catalog. The results obtained for 19413 galaxies are presented. Two different effects can explain the observational data: lensing by globular clusters and lensing by dwarf galaxies. We carried out the CCD 3-color photometry with the 2.0-m telescope of the Terskol Observatory and the 1.8-m telescope of the Bohyunsan Observatory (South Korea) to select extremely lensed objects around several galaxies for future spectroscopic observations.

ВВЕДЕНИЕ

Ассоциации квазаров с галактиками были открыты Арпом [1]. В качестве одной из возможных гипотез, объясняющих это явление, выдвигалась гипотеза о гравитационном линзировании удаленных активных галактик. Но природа объектов, которые играют роль гравитационных линз, оставалась невыясненной. Ни галактики, ни звезды в коронах галактик не могли полностью объяснить наблюдаемую картину. Барышев и др. [3], Ющенко и др. [6], Ющенко и Райков [9] предположили, что ядра шаровых звездных скоплений и карликовых галактик, расположенных в гало больших галактик и в небольших группах галактик, могут быть гравитационными линзами, объясняющими эти ассоциации. Ющенко и др. [6] было разработано программное обеспечение для вычисления коэффициента усиления протяженных источников света гравитационными линзами, в которых масса распределена по закону Кинга. Усиление может достигать 5–10 звездных величин для типичных случаев. Барышев и Езова [2] и Ющенко [7] предложили наблюдательные тесты для проверки этой гипотезы. Ющенко [7, 8] было показано, что поверхностная плотность звездообразных объектов вокруг галактик может быть использована в качестве теста – шаровые скопления и карликовые галактики, действуя как гравитационные линзы, увеличивают яркость объектов фона.

Ющенко и др. [10] опубликовали первые результаты обработки обзора южного неба SUPERCOSMOS [4]. Природа оказалась более удивительной, чем мы можем себе ее представить – было обнаружено как увеличение поверхностной плотности звездообразных объектов с нулевыми собственными движениями вокруг галактик, так и уменьшение плотности этих объектов вокруг галактик. В этой работе представлены результаты обработки всего обзора SUPERCOSMOS и делается попытка интерпретации полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ОБЗОРА SUPERCOSMOS

Обзор южного неба SUPERCOSMOS [4] создан в результате оцифровки фотографических пластин, полученных на широкоугольных телескопах системы Шмидта в две различные эпохи. Он полон до 21 звездной величины. В обзоре содержатся координаты, звездные величины (в трех фильтрах), собственные движения и классификация (звезда/галактика) всех объектов, зафиксированных на фотопластинках. Мы отобрали из этого обзора только объекты, классифицированные как звезды, с малыми собственными движениями, в качестве объектов фона.

Была исследована плотность этих объектов в окрестностях 19413 галактик каталога CfA3 [5]. Мы рассчитали поверхностную плотность объектов фона в концентрических кольцах шириной $30''$ вокруг каждой галактики и вокруг фиктивных центров, не содержащих галактики. Вокруг каждой галактики выбиралось четыре фиктивных центра. Как и ожидалось, поверхностная плотность исследуемых объектов вокруг фиктивных центров, в зависимости от расстояния от этих центров, оказалась постоянной.

Мы ожидали найти избыток исследуемых объектов вокруг галактик, но результаты оказались разными для различных групп галактик. На рисунке (a, b) показаны типичные результаты для групп галактик с различными красными смещениями.

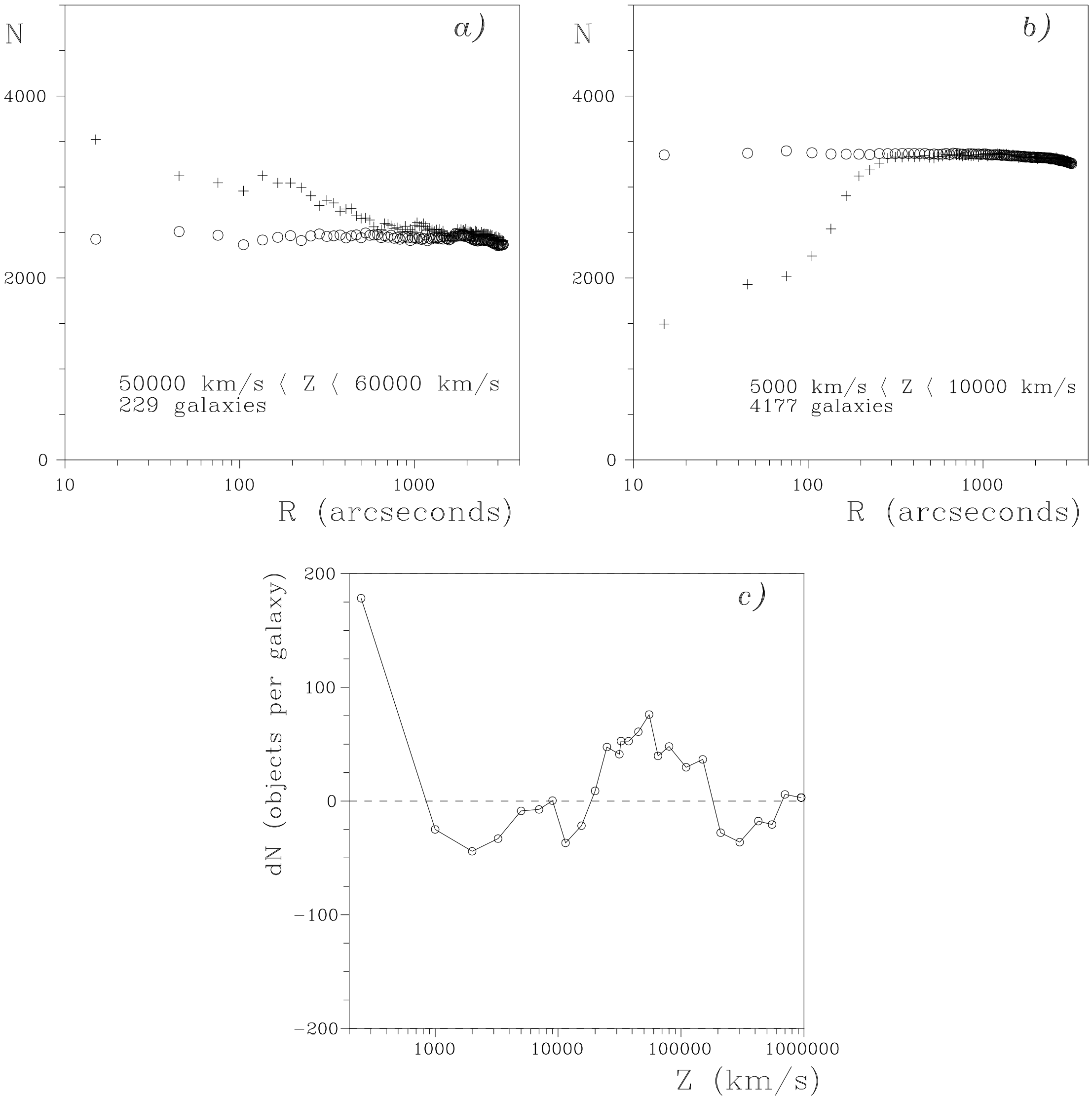
Ожидаемый избыток объектов фона хорошо заметен для первой группы галактик – с большими красными смещениями. Для галактик с красными смещениями от 5 000 до 10 000 км/с наблюдается дефицит объектов фона.

Если проинтегрировать площадь между кривой линией, показывающей поверхностную плотность объектов фона на разных расстояниях вокруг галактик, и почти прямой линией плотности этих объектов вокруг фиктивных центров, то мы получим количество объектов фона, которые создают наблюдаемый избыток или дефицит. На рисунке (c) показано количество объектов, создающих вариации плотности фона для групп галактик с разными красными смещениями.

ПЗС-ФОТОМЕТРИЯ

Результаты, полученные по обзору SUPERCOSMOS, являются среднестатистическими. Для более уверенного подтверждения нашей гипотезы необходимо подтвердить внегалактическую природу объектов, которые создают наблюдаемый избыток плотности. Для этого необходимо указать эти объекты на небе и измерить их красные смещения. Мы провели наблюдения площадок вокруг некоторых галактик на 2-м телескопе обсерватории Терскол и на 1.8-м телескопе обсерватории Bohuynsan (Южная Корея). Наблюдения проводились в трех фильтрах. Полученные результаты позволили построить двуцветные диаграммы для исследуемых площадок и выделить объекты для последующих спектральных наблюдений с целью определения красных смещений. Использованная методика более подробно изложена Ющенко и др. [11].

Конечно, космологические значения красных смещений найденных объектов не являются окончательным подтверждением гипотезы. Они лишь покажут, что объекты, создающие избыток, находятся на космологических расстояниях, значительно превышающих расстояния до галактик фона. Однако основной трудностью, с которой сталкиваются гипотезы, объясняющие природу квазаров, является высокая светимость квазаров. Согласно данным, полученным нами по обзору SUPERCOSMOS, блеск объектов, создающих избыток поверхностной плотности, сравним, а для небольшой части объектов даже больше, чем блеск фоновых галактик, находящихся существенно ближе. Любая другая гипотеза, за исключением гипотез, принимающих во внимание усиление блеска вследствие гравитационного линзирования, столкнется с необходимостью объяснить высокую светимость этих объектов.



Средняя поверхностная плотность N звездообразных объектов с нулевыми собственными движениями вокруг галактик по данным обзора SUPERCOSMOS:
a) – в окрестностях 229 галактик с красными смещениями от 50 000 до 60 000 км/с. R – расстояние от центра галактики, N – поверхностная плотность объектов на квадратный градус. Кружки и крестики – средние результаты для фиктивных центров и для центров с галактиками;
b) – то же для 4177 галактик с красными смещениями от 5 000 до 10 000 км/с;
c) – средний избыток или дефицит dN исследуемых объектов вокруг галактик с различными красными смещениями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка обзора SUPERCOSMOS была предпринята для нахождения избытка поверхностной плотности звездообразных объектов с малыми собственными движениями в окрестностях более близких галактик. Результат обработки показал более сложную картину. Мы нашли ожидаемый избыток вогруг галактик с красными смещениями $Z = 0.08 - 0.5$. Но вокруг галактик с красными смещениями $Z < 0.08$ найден дефицит исследуемых объектов.

Как было указано Ющенко [10], при интерпретации полученных результатов необходимо принимать во внимание эффекты микролинзирования на отдельных звездах, входящих в состав шаровых скоплений и карликовых галактик. Нами был написан комплекс программ для расчета прохождения пучка света через шаровое скопление. Первые результаты расчетов показывают, что эффекты микролинзирования могут объяснить дефицит плотности исследуемых объектов вокруг близких галактик. Для этого шаровые скопления должны содержать большое количество объектов с массами порядка массы Юпитера (планет).

Для галактик с красными смещениями $Z = 0.08 - 0.5$ необходимо принимать во внимание влияние карликовых сфероидальных галактик. Наши расчеты показывают, что на этих расстояниях dSpH галактики могут проявлять себя как эффективные гравитационные линзы. При этом большой коэффициент усиления достигается за счет линзирования на ядре dSpH-галактики. Количество dSpH-галактик в Местной группе сравнимо с найденным нами избытком звездообразных объектов вокруг галактик с $Z = 0.08 - 0.5$. dSph-галактики в малых группах галактик, таких как Местная группа, и шаровые скопления в гало обычных галактик могут объяснить наблюдаемый избыток.

Избыток и дефицит звездообразных объектов с малыми собственными движениями вокруг галактик с разными красными смещениями являются хорошей иллюстрацией сохранения среднего потока от удаленных источников ансамблем гравитационных линз.

Следует отметить, что наблюдаемый дефицит исследуемых объектов вокруг фоновых галактик позволяет поставить еще одну проблему. Шаровые скопления на близких расстояниях имеют коэффициент гравитационного усиления блеска далеких источников меньше единицы и создают дефицит поверхностной плотности звездообразных объектов вокруг галактик. Дефицит должен регистрироваться относительно некоторого среднего значения. Избыток плотности для групп галактик с $Z = 0.08 - 0.5$ мог быть зарегистрирован относительно нулевого фона. Но наличие групп галактик, вокруг которых наблюдается дефицит, позволяет утверждать, что фон не является нулевым. Это означает, что есть некоторое количество объектов, которые составляют этот фон. Яркость этих удаленных объектов усилена вследствие гравитационного линзирования. Поверхностная плотность объектов, создающих фон, составляет не менее нескольких десятков на квадратный градус. Сохранение среднего потока в таком случае должно соблюдаться для комплекса гравитационных линз в существенно большем диапазоне красных смещений.

Данная работа была поддержана грантом постдокторантуры Национального университета Чонбук (Южная Корея) за 2002 год.

[1] *Arp H.* Relation Between Quasi-Stellar Radio Sources and Radio-Compact and Radio N Galaxies // Astrophys. J.–1968.–**153**.–P. L33–37.

[2] *Baryshev Yu. V., Ezova Yu. L.* Gravitational mesolensing by King objects and quasar-galaxy associations // Astron. Rep.–1997.–**41**, N 4.–P. 436–446.

[3] *Baryshev Yu. V., Raikov A. A., Yushchenko A. V.* Quasar-galaxy associations as a result of gravitational lensing by objects of medium masses // Gravitational Lenses in the Universe: Proc. of 31 Liege Astrophys. Coll., Liege, Belgium / Ed. J. Surdej.–1993.–P. 307–310.

[4] *Hambly N. C., MacGulliver H. T., Read M. A., et al.* The SuperCOSMOS Sky Survey – I. Introduction and description // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2001.–**326**.–P. 1279–1294.

[5] *Huchra J. P., Geller M. J., Clemens C. M., et al.* 1995, ADC CD ROM, Vol. **3**.

[6] *Yushchenko A. V., Baryshev Yu. V., Raikov A. A.* Quasar-galaxy associations as a lensing by middle mass objects // Astron. and Astrophys. Transactions.–1998.–**17**.–P. 9–14.

[7] *Yushchenko A. V.* Globular clusters as gravitational lenses. Observational test // Odessa Astron. Publ.–1999.–**12**.–P. 85–86.

[8] *Yushchenko A. V.* Globular clusters as gravitational lenses. Results of superamplification // Kinematics and Physics of Selectial Bodies. Suppl. Ser.–2000.–N 3.–P. 174–177.

[9] *Yushchenko A. V., Raikov A. A.* Associations of quasars with galaxies – consequence of gravitational lensing by globular clusters in the halos of galaxies // Selected problems of astronomy and astrophysics: Proc. 2nd Conf., Lviv, Ukraine.–1998.–P. 185.

[10] *Yushchenko A. V., Niarchos P. G., Terpan S., Manimanis V.* Globular clusters as gravitational lenses. Influence of microlensing // Odessa Astron. Publ.–2001.–**14**.–P. 211–214.

[11] *Yushchenko A. V., Niarchos P. G., Manimanis V.* Globular clusters as gravitational lenses. Search for lensed objects in the vicinity of 6 galaxies // Proc. of 5th Hellenic Astronomical Conf., Crete, Greece, Sept. 20–22, 2001, http://astrophysics.physics.uoc.gr/conf/fpap.htm

Workshop A6

New Perspectives for Ground-Based Astronomy

Convener: Ya. Yatskiv
Editors: A. Cherepashchuk, V. Leushin

SINGULAR SOURCES OF ENERGY IN STARS AND PLANETS

B. Zhilyaev

Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine
e-mail: zhilyaev@mao.kiev.ua
International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research
27 Akademika Zabolotnoho, 03680 Kyiv, Ukraine

СИНГУЛЯРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ЗВЕЗДАХ И ПЛАНЕТАХ, Жиляев Б. – Если реликтовые маломассивные черные дыры (PBH) существуют во Вселенной, то многие звезды и планетные тела могут быть "инфицированы" ими. Это справедливо также в отношении Солнца и, вероятно, Юпитера и Сатурна. Наличие даже самого мало массивного внутреннего релятивистского реактора может привести к существенным изменениям в сценарии эволюции небесного тела на протяжении его жизни. Черные дыры внутри звезд могут быть найдены или вследствие процесса захвата или инкорпорации в течение формирования звезды из межзвездных облаков. Удивительно, что в равновесии рост PBH – долговременный процесс с характерным временем в миллиарды лет. Можно представить себе PBH, вращающейся внутри Солнца. Наши рассмотрения показали, что PBH испытывает очень небольшое трение при прохождении через материю звезд. Если масса PBH – более чем $10^{-5} M_\odot$, главный вклад в светимость вносит релятивистский гравитационный реактор. В таком случае звезда эволюционирует к пределу Эддингтона. Это должно вести к значительному расширению звезды и глобальной потери стабильности. Микроскопические PBH могут существовать также и внутри планетных тел. Чтобы производить требуемый избыток тепловой энергии на Юпитере и Сатурне, массы PBH должны составлять 10^{19} и 10^{18} г соответственно. Эти микроскопические объекты сопоставимы по размеру с атомом водорода. Можно представить даже планетное тело с PBH, действующим как самостоятельный источник нагревания. Такая планета не нуждается в солнце, чтобы поддержать жизнь на ее поверхности. Это может длиться эоны.

If primordial low-mass black holes (PBH) exist in the Universe than many of stars and planetary bodies appear to be "infected" by them. This is also true in regard to the Sun and likely Jupiter and Saturn. The availability of even the very low-mass inner relativistic reactor may lead to essential changes in evolution scenario of a celestial body on its lifetime scale. Black holes in stellar interior may be found either in consequence of captures process or incorporation during the formation of a star from interstellar clouds. Surprisingly that in the equilibrium state a PBH growth is a long-lived process with e-folding rise time of billion years. One can envision a PBH orbiting inside the Sun. Our considerations showed that the PBH experiences very little friction in passing through the stellar matter. If the BH mass is above $10^{-5} M_\odot$ the major contribution to the luminosity comes from the relativistic gravitational reactor. In such a case a star evolves towards the Eddington limit. This should lead to a considerable expansion of the star and to the global stability loss. Microscopic PBHs can exist in the interior of planetary bodies too. To produce the required excess of thermal energy on Jupiter and Saturn the masses of PBH captured are assumed to be reached of $4 \cdot 10^{19}$ and $7 \cdot 10^{18}$ g , respectively. These microscopic objects are comparable to the hydrogen atom in size. One can envision even a planet with the PBH acting as the self-sufficient source of heating. Such a planet does not need a sun to maintain animal life on its surface. This may last eons.

BASIC CONCEPT

Is it the case that a small black hole captured inside a star causes its collapse? That is not the case, otherwise, if such a situation would be present that should produce observable signatures in the form of supernova explosions at a fantastic rate as will be seen below.

Hawking (1971) first pointed out that gravitationally collapsed objects, which were formed in the early Universe, could have accumulated at the center of a star like the Sun. The presence of such a hypothetical situation requires a more detailed consideration.

Following Beckenstein (1974) and Sciama (1976), one can consider the black hole (BH) in thermostat as a heat engine with an available thermodynamic efficiency of $(2-\sqrt{2}) = 0.59$. Such a relativistic reactor may be competitive in power with the nuclear burning. Here we attempt to answer the questions: (1) where are BHs from in stellar interior? (2) how does this feature change the stellar structure and evolution? (3) may one expect some observable signatures of this feature in the Universe?

CAPTURE AND INCORPORATION

The most important problem we are interested in is the manner in which stars with singular source of energy arise. Black holes in stellar interior may be found either in consequence of captures processes or incorporation during the formation of a star from interstellar clouds. We will refer to these as "captured" or "incorporated" BHs. First we consider the BH capture process, *i.e.*, the collisions between field stars and primordial black holes (henceforth PBH). In this way the BH moves down through the stellar atmosphere and loses its kinetic and orbital angular momenta. Eventually the BH may be captured. A critical question is the estimation the proportion of stars invaded a BH. Consider collisions between a star and a BH. Assume that the direction of motion of the BH is distributed isotropic. Then the number of collisions is given by

$$N \approx \sqrt{2} \cdot n_{BH} < v_{BH} > \sigma \Delta t, \tag{1}$$

where n_{BH} is the BH number density, $<v_{BH}>$ is the average velocity, σ is the capture cross-section and Δt is the time interval of interest. The star-BH cross-section is taken approximately equal to the star's cross-section. The determination of the PBH number density is the most vague problem. The credible source of PBHs is usually identified with the earliest stages of the Universe. This is undoubtedly one of the most discussing topics of cutting-edge cosmology. As discussed by many authors (Fukuda *et al.*, 1998; Turner, 1999), only about one-tenth of the baryons are visible in the form of bright stars. At very large red shifts, according to the latest data on Light Echoes of radio sources, the baryonic density of the Universe is still lower and comes to only ~ 0.001 of the total (Sholomitskii, 1997). From the empirical standpoint, this may support the argument that some fraction of dark matter in the Universe exists in the form of PBHs. Primordial black holes either formed naturally, as being produced by the collapse during the radiation era before $\sim 10^{-4}$ s since the beginning of the Universe, when the density was greater than nuclear density, or fed into the Universe *ab initio*, as discussed by Lin *et al.* (1976). They have also noted that primordial black holes could grow up to the horizon mass of about $1\, M_{\odot}$ at 10^{-4} s. On the other hand, PBHs of less then $\sim 10^{15}$ g should have evaporated by now through the Hawking process. This introduces a low-mass cut-off in the spectrum. According to Carr (1976), the present number density of PBHs for initial mass around $m_0 \simeq 10^{15}$ g should be

$$n(m) = n_0 \left(\frac{m}{m_0} \right)^{-k}, \tag{2}$$

where the exponent k lies in the range $2 < k < 3$, depending on the equation of state in the early Universe. These PBHs had formed at time around 10^{-23} s. There is some uncertainty about the exponent k because of uncertainties involved in what model one adopts for the early Universe. It appears that PBHs with mass of $\sim 10^{15}$ g are the most plentiful, irrespective of the model. If we will require only an approximate solution of the problem we may assume that all the PBHs are of some single mass, M, *i.e.*, $n(m) \sim \delta(m - M)$. Assume that PBHs amount to α fraction of the total mass in the Galaxy. Using the data given by Allen (1973) on the density in the solar vicinity ($\rho_0 \simeq 6 \cdot 10^{-24}\, \mathrm{g\, cm^{-3}}$) and the $\delta(m - m_0)$ approximation for the mass spectrum, we find the PBH density,

$$n_{BH} = \frac{\alpha\, \rho_0}{m_0} \simeq 6 \cdot 10^{-39}\ \alpha,\ \mathrm{cm}^{-3}. \tag{3}$$

Adopting the value of $<v_{BH}> = 100\ \mathrm{km\, s^{-1}}$ and $\Delta t = 5\,\mathrm{Gyr}$ for the Sun lifetime we find the number of BH collision events,

$$N \simeq 2 \cdot 10^{9}\, \alpha. \tag{4}$$

Even though the total density of PBHs is by nine orders of magnitude less than that in the Galaxy we may deduce that most of stars expected to be "infected" by PBHs during their lifetime. Unlike the solid body, a BH would suffer very little friction in passing through the stellar material. This distinctive feature of BH was first noticed by Hawking (1971). To illustrate this it is sufficient to consider the BH interaction with the ambient stellar matter as the local straight-line inelastic impact. Using the equation for the conservation of momentum, we may write

$$v_1 = v_0 \frac{m_{BH}}{m_{BH} + m}, \tag{5}$$

where v_0, v_1 denote the pre- and post-impact velocities, m is the total atmospheric mass which undergo the impact, $m \simeq \pi R_{BH}^2 <\rho> 2 R_{\rm star}\,{\rm g}$. The mass is restricted to a column with the BH in cross-section $\times$ the stellar diameter in length. We obtain

$$v_1 \simeq v_0 \left(1 - \frac{m}{m_{BH}}\right). \tag{6}$$

For the Sun and the most of stars the quantity m/m_{BH} is vanishing small ($\sim 10^{-17}$). So, the BH passes practically unobstructed through the body of a star, as through a vacuum. This means that the capture process can take place involving only three bodies, for example, a star and one of its planets. In such a case the BH may be in an orbit deep inside star, over billion years, until it is brought to rest at its center. In the scenario of "incorporated" PBH its mass should be proportional to some degree to the fraction of the PBH matter in the density of baryons in the Universe. Even though the proportion of PBHs is vanishing small ($\alpha \sim 10^{-16}$), the absorption probability value of a microscopic PBH by a protostar keeps close to one. The incorporation of PBHs during the formation of stars and other gravitationally bound objects was analyzed by Derishev & Belyanin (1999). The detailed description of a gravitational incorporation requires exact calculations of the collapse dynamics. Two of the simplest cases were analyzed. These authors argued that in the free-fall contraction relationship between the PBH density and the average one remains constant. PBHs become trapped out inside a protostar. In the case of an adiabatic contraction an appreciable fraction of PBHs forms the gravitationally captured haloes around the protostar. On the whole, from these calculations we can draw the conclusion that some fraction of PBHs appears to be trapped out inside a star during the contraction of protostellar clouds.

An estimate of the space density of primordial black holes can be obtained from the flux of the diffuse extragalactic γ-rays (Chapline, 1975; Page and Hawking, 1976; Lin *et al.*, 1976; MacGibbon and Carr, 1991). This radiation was produced in the quantum-mechanical decay of the low-massest PBHs created in the early Universe. The moment of PBH formation t_0 depends on its starting mass (Zeldovich and Novikov, 1966), $t_0({\rm s}) \simeq GM/c^3 \simeq 2 \cdot 10^{-39}\, M({\rm g})$. The hypothesis of PBHs formation near the cosmological singularity from density and metric fluctuations validated through numerical calculations by Novikov *et al.* (1979). Observations place an upper limit on an average space density of PBHs about of $10^4\,{\rm pc}^{-3}$. But if PBHs are clustered into galaxies, the local density can be greater by a factor exceeding $\sim 10^6$ (Page and Hawking, 1976; Wright, 1996). This provides an upper limit of about $n_{BH} \sim 4 \cdot 10^{-46}\,{\rm cm}^{-3}$ in the Galaxy (Chapline, 1975; Wright, 1996). Observations of the Hawking radiation from the globular clusters can provide next observational signature of PBHs. Gravitationally captured PBH haloes around the globular clusters were considered by Derishev and Belyanin (1999). EGRET observations of the γ-ray luminosity above 100 MeV of five nearby massive globular clusters placed, however, only the upper limits on the total mass of PBHs and their mass ratio in these clusters ($\alpha \leq 2 \cdot 10^{-6}$).

LONG LIFE

Let us suppose that a small BH exists in the center of a star and explore the consequences stemmed from this hypothesis. We may assume that a BH was either captured by star from space or incorporated during the process of star formation or occurred for some another reason. The advanced theoretical treatment of both thermo- and gas-dynamical structure of a BH in dense thermostat is that to be still investigated in detail. Now, we are interested in the overall picture of the problem. In the ambient BH atmosphere the radiation pressure is considered to balance the gravity in the equilibrium state. The radiation pressure arises because of the accretion of gas onto the BH when some part β of the original rest-mass of particles is radiated away. So, in treating the problem the Eddington solution (Eddington, 1926) is appropriate to use with a sufficient degree of accuracy. For hydrogen plasma with the Thomson scattering the BH luminosity should be no more than Eddington's limit

$$L_c = \frac{4\pi G m_{\rm p} c M}{\sigma_{\rm T}} = 3 \cdot 10^4 L_\odot \frac{M}{M_\odot}, \tag{7}$$

where G is the gravitational constant, $m_{\rm p}$ is the proton mass, c is the speed of light, $\sigma_{\rm T}$ is the Thomson cross-section and M is the BH mass. At low BH mass it may be thought that significant fluxes of photons with energies greater than ~1 MeV could be produced. In this case the scattering cross-section in (7) must be replaced by the cross-section for Compton scattering. If the accretion rate sets the pace for energy release at a level of Eddington's limit, the BH mass growth rate is given by equation (Zeldovich & Novikov, 1971)

$$-\varphi(r)\frac{dM}{dt} = \frac{GM}{R}\frac{dM}{dt} = L_c\,, \tag{8}$$

where $-\varphi(r) = \beta c^2$ is the effective gravitational potential. For a Schwarzschild and a Kerr black hole β equals about 6 % and 42 %, respectively (Petropoulos & Mavrogiannis, 1995). The BH mass growth rate may be written as

$$\frac{1}{M}\frac{dM}{dt} = \frac{4\pi G m_{\rm p}}{\beta c \sigma_{\rm T}} = 7 \cdot 10^{-17}\beta^{-1}{\rm s}^{-1} = (0.5\,\beta\ {\rm Gyr})^{-1}. \tag{9}$$

Surprisingly that in the equilibrium state BH growth is a long-lived process with e-folding rise time of billion years. As expected, specific boundary conditions have to stabilize the neighborhood of the BH. The stability arises because the gravitational reactor is immersed into a huge reservoir of dense heat-retaining matter, of the kind of "prison stability". The behavior of an unstable mode can be investigated if it is viewed as oscillator. Strong restoring forces are supplied by the radiation pressure with increasing the accretion rate and by the gravity with its decreasing. One of the characteristic frequencies governing the dynamic stability of the BH near environment is the Lamb frequency (Unno *et al.*, 1979), given by the local sound speed divided by the BH size. Due to its dramatically high value of about tens of MHz compared with that of the solar core p- and g-modes, these instabilities it seems to be damped. It is pertinent to cite one illustrative example. The contribution of the PBH of $M = 10^{-5}M_\odot$ to the total solar luminosity is estimated to be 30 % according to (7). The BH size is $R = 2GM/c^2 \simeq 1$ cm, its effective temperature $T_{\rm eff} \simeq 10^8$ K, the mass growth rate $\simeq 10^{10}\,{\rm g\,s^{-1}}$. Adopting the central density and temperature $\rho = 160\,{\rm g\,cm^{-3}}$, $T = 1.5{\cdot}10^7$ K, as given by Allen (1973), we get for the speed of accretion a value of about $10^8\,{\rm cm\,s^{-1}}$. The speed of sound at the center of a solar model is $4 \cdot 10^7\,{\rm cm\,s^{-1}}$. Its value increases to $1.1 \cdot 10^8$ cm s^{-1} if the more realistic central temperature $T = T_{\rm eff}$ has been adopted, as mentioned above. Hence, it seems likely that the subsonic accretion would result in the vicinity of the BH. Of great importance that such a low mass BH is capable to initiate the essential rearrangement of the solar structure. The striking central temperature peak may produce the convective core. Within the self-consistent solar model based on a couple of sources of energy the thermonuclear burning has decreased in importance with the trend towards smaller thermal and, in particular, neutrino fluxes. This last presents the most challenging question of contemporary solar physics. The availability of a couple of sources of energy may have an immense action on stellar evolution. For above cited example it is easy to see that growth of the BH mass up to $M \simeq 10^{-4}M_\odot$ tends to increase the solar luminosity by several times in comparison with its present value on a time scale of $\sim 10^9$ years. In all appearance, the truthful stellar evolutionary tracks may differ markedly from those described by the present-day theory based on the orthodox thermonuclear scenario.

FINAL

Both the capture and the incorporation of primordial black hole is perhaps the most dramatic aspect of stellar evolution. From this point onwards the star begins to follow another evolutionary history than it is normally expected via the thermonuclear scenario. Duration of this mode may extend either over billion years or may be very transient. It is only a question of proportion between the primary stellar mass and the initial BH mass captured. From the condition (7) we may see that if the BH mass is above $\sim 10^{-5}M_\odot$, the major contribution to the luminosity comes from the relativistic gravitational reactor. In such a case the star evolves towards the Eddington limit. This should lead to considerable expansion of a star and a global stability loss. Amongst stars, which show similar physical properties, are the R Coronae Borealis (RCB) type variables. These low-mass hydrogen-deficient super giants show F–G Ib spectra and semi-regular light variations. Only between 30 and 40 of these stars have been identified. The estimated number of RCB stars in the Galaxy could be up ~ 1000 (Lawson *et al.*, 1990). The models proposed for the formation of RCB stars may not maintain the required luminosity and surface characteristics (Iben *et al.*, 1996). As discussed by Asplund & Gustafsson (1996), these stars evolve from sub-Eddington to super-Eddington luminosity.

All the above-mentioned arguments appear to reveal that many of stars come into contact with primordial black holes during their lifetime. Can this provoke the collapse? If so, supernovae should occur at the rate of a few events a month. Assume the Chapline-Hawking-Page limit on the number density of PBH with initial masses around 10^{15} g. If PBHs are clustered in the Galaxy to the same degree as the visible matter, we obtain an order of magnitude estimate $n_{BH} \sim 10^9 \div 10^{10}\,\mathrm{pc}^{-3}$. Then about 100 stars of our Galaxy may suffer fatal collisions with PBHs yearly. In the chromosphere and upper photosphere a downward-moving PBH should produce the gamma ray burst with the duration as short as a few seconds. The same should occur when the upward-moving PBH escapes from the star. The total luminosity of the bursts must have been roughly of $L \sim 10^{38} M/M_{\odot}\,\mathrm{erg\,s}^{-1}$, according to the condition (7). One can envision a PBH orbiting inside the Sun. The above considerations showed that a PBH experiences very little friction in passing through the stellar matter. The period P of revolution is given by Kepler's third law

$$P = \left(\frac{3\pi}{G\overline{\rho}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.2 \cdot 10^4\, \overline{\rho}^{\,-\frac{1}{2}}, \tag{10}$$

where $\overline{\rho}$ is the mean density of solar matter within the circular orbit. It is varied from 675 s in the vicinity of the solar center to 167 min at its surface. The latter practically coincides with the 160 min periodicity in radial velocity discovered by Severny, Kotov, and Tsap (1976). One may speculate that this is the tidal forced oscillation due to the BH companion, which is in orbital motion inside the Sun. This is in general agreement with the existence of a high degree of the phase coherence of oscillations over many years.

The microscopic PBHs can exist in the interior of planetary bodies too. An important hint of such a case may be found in the Solar system. In particular, an excess of heat flux, amounting ~ 200 per cent of the solar absorbable power is observed in Jupiter and Saturn, $\sim 4.8 \cdot 10^{11}$ and $\sim 8.6 \cdot 10^{10}$ MW, respectively (Ingersoll *et al.*, 1975; Reese, 1971). Measurements of the outward heat flux from another solar planets indicate excess, amounting to a few percent only. It had been suggested that Jupiter and Saturn could be in the core contraction stage responsible for the production of additional internal heat flux. This raises, however, the question of why the internal source of energy does not exist in the case of Uranus, as with Jupiter and Saturn, whereas their internal constitutions are closely similar. At present this question has not yet been settled. To produce the required excess of thermal energy on Jupiter and Saturn the masses of PBHs captured are assumed to be reached of $\sim 4 \cdot 10^{19}$ and $\sim 7 \cdot 10^{18}$ g, respectively, according to (7). These microscopic objects are comparable to the hydrogen atom in size ($\sim 10^{-8}$ cm). Not a single PBH, and more likely, a swarm of them orbits freely inside the planets. These PBHs each about of 10^{15} g release permanently about of $5 \cdot 10^6$ MW of energy, according to (7). One can envision even a planet with the PBH acting as the self-sufficient source of heating. Such a planet does not need the central sun for the maintenance of animal life on its surface. This may last eons. The singular source of energy cannot be exhausted and cannot die out.

[1] *Allen C. W.* Astrophysical quantities.–University of London: The Athlone Press, 1973.

[2] *Asplund M., Gustafsson R.* Hydrogen-Deficient Stars / Eds C. S. Jeffery and U. Heber.–ASP Conf. Ser.–1996.–**96**.–P. 39.

[3] *Bekenstein J. D.* // Phys. Rev. D.–1973.–**7**.–P. 2333.

[4] *Chapline G. F.* // Nature.–1975.–**253**.–P. 251.

[5] *Derishev E. V., Belyanin A. A.* // Astron. and Astrophys.–1999.–**334**.–P. 1.

[6] *Eddington A. S.* The Internal Constitution of the Stars.–Cambridge, 1926.

[7] *Fukuda Y., et al.* (Super Kamiokade Collaboration) // Phys. Rev. Lett.–1998.–**81**.–P. 1562.

[8] *Iben I. Jr., Tutukov A. V., Yungelson L. R.* Hydrogen-Deficient Stars / Eds C. S. Jeffery and U. Heber.–ASP Conf. Ser.–1996.–**96**.–P. 409.

[9] *Ingersoll A. P., Munch G., Neigebauer G., et al.* // Science.–1975.–**188**.–P. 472.

[10] *Hawking S. W.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1971.–**152**.–P. 75.

[11] *Hawking S. W.* // Phys. Rev. D.–1976.–**13**.–P. 191.

[12] *Lawson W. A., Cottrell P. L., Kilmartin P. M., et al.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1990.–**247**.–P. 91.

[13] *MacGibbon J. H., Carr B. J.* // Astrophys. J.–1991.–**371**.–P. 447.

[14] *Novikov I. D., Polnarev A. G., Starobinsky A. A., Zeldovich Ya. B.* // Astron. and Astrophys.–1979.–**80**.–P. 104.

[15] *Page D. N., Hawking S. W.* // Astrophys. J.–1976.–**206**.–P. 1.

[16] *Petropoulos B., Mavrogiannis M.* // Proc. 2nd Hellenic Astron. Conf.–Thessaloniki, 1995.–P. 490.

[17] *Reese E. J.* // Icarus.–1971.–**15**, N 3.–P. 466.

[18] *Sciama D. W.* // Vistas Astron.–1976.–**19**.–P. 385.

[19] *Severny A. B., Kotov V. A., Tsap T. T.* // Nature.–1976.–**259**.–P. 87.

[20] *Sholomitskii G. B.* // Astrophys. and Space Sci.–1997.–**252**.–P. 177.

[21] *Turner M. S.* // Publs Astron. Soc. Pacif.–1999.–**111**, N 757.–P. 264.

[22] *Unno W., Osaki Y., Ando H., Shibahashi H.* Nonradial Oscillations of Stars.–Univ. of Tokio Press.

[23] *Wright E. L.* // Astrophys. J.–1996.–**459**.–P. 487.

[24] *Zeldovich Ya. B., Novikov I. D.* // Astron. Zh.–1966.–**43**.–P. 758. (in Russian).

[25] *Zeldovich Ya. B., Novikov I. D.* Theory of Gravitation and Stellar Evolution.–Moscow: Nauka, 1971. (in Russian).

ПРЕДЛОЖЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ КИЕВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА К НАБЛЮДАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ МЦ АМЭИ

И. Б. Вавилова, Б. И. Гнатык, В. И. Жданов, В. В. Клещенок

Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
ул. Обсерваторная, 3, 04053 Киев, Украина
e-mail: `ivavi@observ.univ.kiev.ua`

Обсуждаются предложения АО КНУ по кооперативной наблюдательной программе, которая может быть реализована на 2-м телескопе и АЦУ-26 высокогорной обсерватории МЦ АМЭИ на пике Терскол.

PROPOSALS OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE KYIV NATIONAL UNIVERSITY TO THE OBSERVATIONAL PROGRAM OF ICAMER, by Vavilova I. B., Hnatyk B. I., Zhdanov V. I., Kleshchonok V. V. – The proposals of AO KNU to the co-operative observational program, which could be realized at the 2-m telescope and ACM-26 of the high-altitude observatory of ICAMER at Terskol Peak, are discussed.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее перспективными направлениями совместных исследований Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко (АО КНУ) и МЦ АМЭИ на пике Терскол, с точки зрения актуальности предлагаемых научных задач, имеющегося опыта проведения наблюдений, характеристик 2-м телескопа и АЦУ-26, нам представляются следующие: спектральные исследования комет, измерение точного диаметра Солнца и его вариаций, исследование покрытий звезд астероидами, исследование гравитационно-линзовых систем, поиск оптического послесвечения гамма-вспышек.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КОМЕТ

Для понимания физических процессов в кометных атмосферах, для исследования еще неизученных явлений активности и спектральной переменности, а также проблемы происхождения комет наиболее ценную информацию дают спектральные наблюдения комет.

Спектры разных комет существенно различаются. Кроме "стандартных" спектров комет с типичными кометными эмиссиями, есть спектры с различными аномалиями, указывающими на значительные различия в химическом составе ядер комет. Иногда наблюдаются редкие эмиссии C_2^-, CO и других молекул [1]. Само появление отрицательных ионов C_2^- свидетельствует о возможности протекания химических реакций в условиях околоядерной кометной атмосферы. Основные линии молекул CO, которые получаются при резонансных переходах, наблюдаются в ультрафиолетовом участке спектра. В видимом диапазоне спектра полосы молекул CO должны иметь очень маленькую интенсивность. Их появление можно объяснить только рождением этих радикалов в возбужденном состоянии путем распада родительских молекул. Поскольку появление полос CO в видимой области зарегистрировано для небольшого числа активных комет [2–4], то, скорее всего, родительские молекулы появляются при обнажении внутренних кометных слоев в результате ее активности. Детальный анализ интенсивностей отдельных линий, особенно внутри вращательных полос, и их пространственное распределение позволит определить ряд физических параметров молекулы и отождествить родительскую молекулу, ответственную за возникновение радикалов CO.

Несомненный интерес для кометных исследований имеет изучение люминесцентного континуума, впервые обнаруженного в комете Галлея. Этот эффект можно выявить в кометах в околоядерной области только по наблюдениям на крупных телескопах, которые дают высокое пространственное разрешение [5–6]. Считается, что источником люминесцентного континуума являются легколетучие частицы, которые действительно были обнаружены при прямых космических исследованиях кометы Галлея как CHON-частицы. Из-за сложности исследования люминесцентного континуума его основные спектральные и пространственные характеристики, а следовательно, и вклад этих частиц в формирование кометной комы известны плохо.

Для продолжения традиционных спектральных исследований перечисленных сложных процессов, наблюдающихся в кометах, представляет значительный интерес проведение спектральных исследований комет с эшеле-спектрографом, установленным в кудэ-фокусе 2-м телескопа обсерватории Терскол. Использование высокой разрешающей способности указанного спектрографа позволит детально исследовать распределение интенсивности отдельных линий, определять изотопный состав комет, более точно исследовать спектральные характеристики, проводить как уверенное отождествление различных кометных эмиссий, так и поиск неизвестных. Особый интерес к таким исследованиям вызван в связи с предстоящей миссией космического аппарата РОЗЕТТА в феврале 2004 г. к периодической комете Чурюмова–Герасименко.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЧНОГО ДИАМЕТРА СОЛНЦА. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД АСТЕРОИДАМИ

Исследования распределения яркости на краю видимого диска Солнца в его приэкваториальной зоне методом дрейфового сканирования для определения вариаций диаметра и формы целесообразно проводить на солнечных телескопах на высокогорных обсерваториях. Для этой цели можно использовать горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 на пике Терскол. Значительная высота места расположения телескопа позволяет уменьшить влияние размывания и дрожания изображения края диска на точность измерения яркости при значениях косинуса угла между направлениями нормали к солнечной поверхности и линией зрения $\mu < 0.10$ и, возможно, за границей видимого диска. Указанный метод позволяет по данным измерений в течение дня достичь точности порядка $0.01''$ при определении диаметра солнечного диска.

Для измерения может быть использована ПЗС-камера с интеренференционным фильтром (с полосой пропускания порядка 1 нм), установленная в фокальной плоскости телескопа, или же ПЗС-камера (ПЗС-линейка), установленная после выходной щели монохроматора или спектрографа.

Кроме измерения диаметра Солнца, астрометрический отдел АО КНУ предлагает включить в наблюдательную программу исследование покрытий звезд астероидами, которое можно реализовать на высокоскоростном двухканальном звездном фотометре. По этим наблюдениям можно уточнить диаметр, форму, орбиту астероида, а также исследовать параметры связи динамической и звездной реализаций систем координат.

НАБЛЮДЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-ЛИНЗОВЫХ СИСТЕМ

Во внегалактических гравитационно-линзовых системах (ГЛС) наблюдаются два и более изображений одного квазара, возникающие под действием гравитационного поля галактики-линзы. Это обстоятельство позволяет получать уникальную информацию о структуре центральной области квазара, о распределении масс в линзовой галактике, о поперечных скоростях и т. п. [7]. Как правило, разделение между изображениями составляет несколько секунд дуги, а звездные величины объектов – 17^m и выше. До сих пор достаточно подробно исследована лишь небольшая часть известных гравитационных линз. Кратко перечислим типичные задачи наблюдений ГЛС.

Первым этапом изучения внегалактической ГЛС включает исследование ее морфологии, окружения, а также отождествление линзирующего объекта. Важнейшим элементом является сравнение спектров разных изображений. Следует отметить, что эти спектры не обязаны быть тождественными при наличии микролинзирования. Следующим этапом является определение времени относительной задержки между изображениями. Для этого одним из основных методов служит мониторинг кривых яркости каждого изображения в отдельности. В качестве примера приведем недавно выполненные наблюдения “Первой Линзы” Q0957+561 [8], в которых участвовали 12 обсерваторий разных стран. В будущем фотометрические программы было бы целесооообразно дополнить более информативными наблюдениями спектров изображений.

Определение времен относительной задержки делает возможным относительное сравнение яркостных и спектральных вариаций блеска в разных изображениях, обусловленных эффектами микролинзирования. Неоднократные наблюдения эффектов микролинзирования дадут ключ к решению ряда задач, которые сейчас интенсивно обсуждаются. Отметим некоторые из них.

• Сравнение кривых яркости в четырехкратной системе Q2237+030 с модельными расчетами событий микролинзирования с сильным усилением вплотную приближает к определению структуры излучающей области квазара [9]. Для достоверного выбора среди имеющихся теоретических моделей распределения яркости по диску источника необходимо иметь кривые блеска с точностью на уровне $\Delta m = 0.01$.

• Анализ кривых яркости в изображениях Q0957+561 показывает наличие небольших колебаний яркости (порядка несколько сотых по Δm) с характерным временем около 100 дней, интерпретация которых важна для понимания как модели квазара, так и структуры темной материи в линзовой галактике. Чтобы выяснить природу этих флуктуаций, необходимы новые экспериментальные и теоретические исследования. Заметим, что подобные явления наблюдались и в других системах. Возможно, что флуктуации обусловлены мелкомасштабными неоднородностями источника; с другой стороны, в работе [10] предложена интерпретация в модели микролинзирования с планетарными массами ($\sim 10^{-5} M_{\odot}$).

• Гравитационная линза по-разному усиливает широкие эмиссионные линии (ШЭЛ) и непрерывной спектр квазара из-за разных размеров излучающих областей. Благодаря этому возможно отождествление эффектов микролинзирования путем сравнения спектров изображений, разделенных на время задержки. Сравнивая отношения интенсивности ШЭЛ и непрерывного спектра, можно получить независимую информацию о размерах источника, а также оценить оптическую плотность микролинз. Соответствующие эффекты отмечены, например, в ГЛС Q2237+030, однако систематического мониторинга для нее не проводилось. Микролинзирование должно немного искажать и профили ШЭЛ, но этот эффект пока не наблюдался.

Необходимость разделения изображений предъявляет соответствующие требования как к аппаратуре, так и к условиям наблюдения, определяющим ширину функции рассеяния точки. Последнее обстоятельство значительно усложняет наблюдение ГЛС с расстоянием между изображениями 1–2$''$. Вместе с тем имеются и более удобные в этом смысле системы. В частности, в Q0957+561 изображения разделены на 6$''$; причем несмотря на то, что эта линза – одна из наиболее изученных, здесь тоже требуется проведение детальных фотометрических и спектральных наблюдений.

Требования к условиям наблюдения плюс дефицит времени на больших телескопах заставляют искать возможности исследования ГЛС на более доступных небольших телескопах, не прибегая при этом к разделению изображений. На больших телескопах с хорошим астроклиматом организовать непрерывные длительные наблюдения в рамках одной программы практически невозможно, и независимые наблюдения суммарного потока позволят заполнить соответствующие пробелы во времени. Сотрудниками отдела астрофизики АО КНУ показана принципиальная возможность использования интегрального потока от всех изображений, наблюдаемых в ГЛС, и предложен метод восстановления кривых яркости отдельных изображений и определения времени задержки, когда данные по яркости этих изображений не образуют непрерывного временного ряда, но имеется непрерывная информация о суммарном потоке от всех изображений. Такая информация может быть получена в результате независимых наблюдений на небольших телескопах, где разделение изображений невозможно, но интегральный поток можно измерять с достаточно высокой точностью.

ПОИСКИ ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЫШЕК

30 лет назад было открыто новое астрофизическое явление [11] – кратковременные (0.1 – 700 с) спорадические вспышки гамма-излучения (ВГИ) в диапазоне 10 – 1000 КэВ, характеризующиеся нетепловым (приблизительно со степенным спектральным индексом $\alpha = 1.8 \ldots 2.0$) спектром и значительной переменностью на протяжении вспышки (в ярчайших вспышках проинтегрированный по времени поток достигал 10^{-11} Дж/см^2). Главной неожиданностью стало изотропное распределение ВГИ по небу и отсутствие корреляции с какими-либо астрофизическими объектами [12]. Природа вспышек оставалась неясной вплоть до 1997 г., когда КА “ВеррoSAX” зарегистрировал рентгеновское излучение от гамма-вспышки GRB970228 [13]. По известному с высокой точностью положению рентгеновского источника удалось пронаблюдать оптическое послесвечение ВГИ – транзиентный объект 20^m на фоне далекой галактики с $m_V = 25.7$. Ряд подобных последующих регистраций подтвердил связь источников гамма-вспышек с далекими галактиками на космологических расстояниях z$\sim$1 и, тем самым, их уникальность. А именно, светимости вспышек оказались порядка 10^{44} Дж/с: на несколько секунд гамма-источник становится ярчайшим объектом Вселенной.

Считается, что гамма-излучение генерируется в результате неизвестного еще механизма быстрого выделения энергии ($\sim 10^{45}$ Дж) в малом объеме ($\sim 10^6$ см). Возникающее при этом релятивистское облако плазмы – фейербол – расширяется во внешнюю среду, генерируя ультрарелятивистскую ударную волну с Лоренц-фактором порядка 100 – 1000. Ускоренные на фронте волны частицы (электроны) генерируют синхротронное излучение, которое фиксируется удаленным наблюдателем как гамма-вспышка [12]. По мере замедления ударной волны излучение смещается в длинноволновую область: в рентгеновский, оптический, радиодиапазон. Поэтому исследование оптического послесвечения дает уникальную информацию о динамике фейербола и о физических условиях в области вспышки.

В оптическом диапазоне послесвечение затухает по степенному закону с показателем степени 0.8 – 2.0, достигая величины $19^m - 21^m$ к концу первого дня после гамма-вспышки. При временах порядка 1 часа после вспышки блеск достигает величины 14^m, доступной для наблюдений, в том числе на 2-м телескопе. Более того, фейербольная модель предсказывает в некоторых случаях оптическую вспышку, почти синхронную с гамма-вспышкой. Такая вспышка была зарегистрирована: телескоп ROTSE зафиксировал через 22 с после гамма-вспышки GRB990123 оптическую вспышку с $m \approx 11.7$, возросшую до $m \approx 8.9$ на 47-й секунде [14].

Изучение природы ВГИ – одна из актуальных проблем астрофизики, для ее решения космические гамма-телескопы HETE II, Swift, AGILE, INTEGRAL и др., ведущие постоянный мониторинг гамма-вспышек, ориентированы на срочную передачу координат источников наземным обсерваториям. Первые работы с участием украинских ученых по регистрации оптического послесвечения ВГИ уже сделаны в МЦ АМЭИ и КрАО. АО КНУ, где ведутся теоретические исследования ВГИ, готова уточнить предложения по организации кооперативных наблюдений оптического послесвечения ВГИ на 2-м телескопе, а также на АЗТ-8 в с. Лесники Киевской области.

[1] *Churyumov K. I., Chorny G. F.* The first identification of C_2^- emission bands in comet Scorichenko–George (1989e1) spectrum // Asteroids, Comets, Meteors 1991: Proc. Intern. Conf.–1992.– P. 117–120.

[2] *Churyumov K. I., Lukyanyk I. V., Vlassyuk V. V., Borisov N. V.* Spectra of split comet C/1999 S4 (LINEAR) // Earth, Moon and Planets.–2002.–**90**.– P. 141–146.

[3] *Churyumov K. I., Lukyanyk I. V., Berezhnoi A. A., et al.* Optical spectroscopy of comet C/2000 WM1 (LINEAR) at the Guillermo Harro Astrophysical Observatory in Mexico // Earth, Moon and Planets.–2002.–**90**.– P. 361–368.

[4] *Picazzio E., de Almeida A., Churyumov K. I., et al.* The optical spectroscopy and near infrared observations of comet C/2000 WM1 (Linear) in December, 2001 in Chile and Brazil // Earth, Moon and Planets.–2002.–**90**.–P. 391–400.

[5] *Churyumov K. I., Kleshchonok V. V., Mussaev F. A., et al.* Observations of high resolution spectra of comet Hale–Bopp (C/1995 O1) at the SAO of the RAS // Earth, Moon and Planets.–1999.–**78**, N 1.– P. 105–110.

[6] *Churyumov K. I., Kleshchonok V. V., Vlassyuk V. V.* Spectra of comet Hale–Bopp (C/1995 O1) obtained with the 6-m BTA reflector at Mount Pastukhov // Earth, Moon and Planets.–1999.–**78**, N 2.– P. 111–117.

[7] *Schneider P., Ehlers J., Falco E. E.* Gravitational Lenses.–New York: Springer, 1992.–422 p.

[8] *Coley W. N., Schild R. E., Abajas C., et al.* Around the clock observations of the Q0957+561 A, B gravitationally lensed quasar. II. // http://xxx.sissa.it, astro-ph/02104000.–2002.

[9] *Богданов М. В., Черепащук А. М.* // Астрон. журн.–2002.–**79**, № 8.–С. 691.

[10] *Schild R., Vakulik V.* Microlensing of a ring model for quasar structure // http://xxx.sissa.it, astro-ph/0303356–2003.–**1**.

[11] *Klebesadel R. W., Strong I. B., Olson R. A.* Observation of gamma-ray bursts of cosmic origin // Astrophys. J. Lett.–1973.–**182**.–L85–L88.

[12] *Piran T.* Gamma-ray bursts and the fireball model // Phys. Rep.–1999.–**314**.–P. 575.

[13] *Costa E., Frontera F., Heise J., et al.* Discovery of an X-ray afterglow associated with the gamma-ray burst of 28 February 1977 // Nature.–1997.–**387**.–P. 783–785.

[14] *Akerlof C., Balsano R., Barthelemy S., et al.* Observation of contemporaneous optical radiation from a gamma-ray burst // Nature.–1999.–**398**.–P. 400–402.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫБОРА МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ ПО ЗАПАЗДЫВАНИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

Е. Г. Вертоградова, Ю. С. Гришкан, В. Б. Петков

Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН
пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: vpetkov@yandex.ru

Эффект дисперсии скорости света (вследствие влияние квантовых флуктуаций на распространение электромагнитных волн в четырехмерном пространстве-времени) может быть наблюдаем на космологических расстояниях. В качестве источника фотонов предлагается использовать γ-всплески космологического происхождения. Рассчитано время задержки излучения для плоской, открытой и закрытой космологических моделей. Делается вывод, что космологические модели Вселенной могут быть селектированы по данным о времени задержки излучения различной энергии от γ-всплесков, при этом точность измерения параметра $\Delta t/\Delta E_\gamma$ должна быть не хуже 10^{-6} с/МэВ.

TIME DELAY OF GAMMA–RAY BURST RADIATION AND THE POSSIBILITY OF DETERMINING THE FATE OF COSMOLOGICAL EXPANSION, by Grishkan Yu. S., Petkov V. B., Vertogradova E. G. – The effect of light velocity dispersion caused by quantum fluctuations at the Planck scale is discussed. We suppose that the effect could be observable at cosmological distances. The time delay of photons from a cosmological source of radiation is calculated in terms of cosmological vacuum model. The cosmological gamma-ray bursts are taken as the sources of radiation. It is shown that the delay depends on the model of the Universe. We conclude that to know the fate of the Universe, measurement accuracy of the parameter $\Delta t/\Delta E_\gamma$ should be better than 10^{-6} s/MeV.

ВВЕДЕНИЕ

Недавно была выдвинута гипотеза о том, что глобальная лоренц-инвариантность в природе является только приближенной симметрией и может быть нарушена при достаточно высоких энергиях элементарных частиц, принимающих участие в различных физических взаимодействиях [1–3]. В качестве одного из возможных механизмов такого нарушения рассматривается механизм генерации нелоренцевских компонентов метрики пространства-времени за счет квантовых флуктуаций [4]. При распространении в таком пространстве фотонов и других (почти) безмассовых частиц (например нейтрино) происходит рассеяние их на дефектах и генерация в процессе рассеяния недиагональных компонентов метрики пространства-времени [5]

$$g_{0\alpha} \sim \frac{u_\alpha}{c}.$$

Здесь греческие индексы пробегают значения $\alpha = 1, 2, 3$, c – постоянная скорости света. Наличие макроскопического вектора скорости отдачи u_α нарушает глобальную лоренц-инвариантность [2] и приводит к изменению дисперсионных свойств распространяющихся в пространстве световых волн:

$$c(E) = c\left(1 - \frac{u}{c}\right), \tag{1}$$

где $E = \hbar\omega$ – энергия квантов света частоты ω. В квантовой теории гравитации, в частности в теории пространственно-временной пены [6], вектор скорости u_α должен возникнуть вследствие квантовых флуктуаций, и при данной энергии E имеет порядок отношения масштаба энергии регистрируемых квантов света к масштабу энергии, на котором проявляются квантовые флуктуации пространства-времени:

$$\frac{u}{c} \sim \frac{E}{M_{QG}}, \tag{2}$$

где M_{QG} – характерный энергетический масштаб квантовой гравитации. Временная задержка светового сигнала от излучающего источника, возникающая вследствие разности хода между фотонами, распространяющимися со скоростями c и $c - \Delta u$, в первом приближении есть

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{c} = \int_t^{t_0} \frac{\Delta u(E)}{c}\, dt. \tag{3}$$

Здесь L – расстояние, которое проходит свет, t – момент времени излучения квантов света, t_0 – время детектирования квантов света, которое соответствует возрасту Вселенной.

Так как свет распространяется в пространстве, заполненном малыми квантовыми флуктуациями, то состоящая из них пространственно-временная пена может быть просвечена сигналами от удаленных источников излучения (прежде всего γ-источников), имеющих достаточно большую энергию E. Тогда при временах задержки сигналов, поступающих от источников излучения (Δt), фундаментальная физическая постоянная M_{QG}, характеризующая порядок величины квантовых гравитационных процессов, может быть получена как отношение

$$M_{QG} \sim \frac{L \Delta E}{c\, \Delta t}. \tag{4}$$

В качестве импульсных источников высокоэнергетических γ-квантов можно использовать γ-всплески внегалактического происхождения. Следует заметить, что при этом пренебрегают возможностью появления задержки во времени прихода фотонов различной энергии, обусловленной природой γ-всплесков.

ЗАДЕРЖКА СВЕТА В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

В расширяющейся Вселенной Фридмана–Робертсона–Уокера с произвольной кривизной трехмерного пространства 0–0 компонент уравнений Эйнштейна имеет вид [11, 12]

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} = H_0^2 \left[\Omega_m \left(\frac{a_0}{a} \right)^3 + \Omega_\Lambda \left(\frac{a_0}{a} \right)^{3(w+1)} + \Omega_r \left(\frac{a_0}{a} \right)^4 \right], \tag{5}$$

где a_0 – масштабный фактор в настоящий момент времени, a – масштабный фактор в некоторый момент времени t, параметр $k = 1, 0, -1$ – для закрытой, плоской и открытой модели Вселенной соответственно. Параметры Ω_Λ, Ω_m, Ω_r представляют собой отношения плотностей энергии вакуума, материи и излучения в настоящий момент времени t_0 к критической плотности

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}.$$

Параметр $-1 < w < 0$ задает уравнение состояния $p = w\rho$ для квинтэссенции [11, 13, 14], значение постоянной Хаббла взято из работы [15]:

$$H_0 = 100\, h \,\text{км}\, \text{с}^{-1}\, \text{Мпс}^{-1}, \quad h = 0.7 \pm 0.1.$$

При не очень больших красных смещениях $z \ll 1000$ плотностью энергии излучения можно пренебречь и выписать уравнение (5) непосредственно через красное смещение и безразмерную кривизну трехмерного пространства Ω_K:

$$z = \frac{a_0}{a} - 1, \qquad \Omega_K = -\frac{kc^2}{a_0^2 H_0^2},$$

$$H^2 = \frac{\dot{a}^2}{a^2} = H_0^2 \left[\Omega_m (1+z)^3 + \Omega_\Lambda (1+z)^{3(w+1)} + \Omega_K (1+z)^2 \right]. \tag{6}$$

Из (6) следует условие связи между космологическими параметрами:

$$\Omega_m + \Omega_\Lambda + \Omega_K = 1. \tag{7}$$

Как известно из наблюдений [15, 16], на эти параметры наложены следующие ограничения:

$$\Omega_m = 0.3 \pm 0.1, \qquad \Omega_\Lambda = 0.7 \pm 0.1, \qquad \Omega_K = 0.0 \pm 0.06.$$

Интегрируя (6) совместно с (3), получим выражение для времени задержки света от источника в виде

$$\Delta t = \frac{1}{H_0} \int_1^{z+1} \frac{\Delta u}{c} \frac{dx}{x \left[\Omega_m x^3 + \Omega_\Lambda x^{3(w+1)} + \Omega_K x^2\right]^{1/2}}. \tag{8}$$

Учтем теперь, что дисперсия света в линейном приближении при его распространении в искривленном пространстве-времени дается выражениями (1), (2), а разность энергий между квантами меняется как $\Delta E = \Delta E_\gamma (1+z)$, где ΔE_γ – разница энергий фотонов в момент регистрации. Тогда отношение времени задержки к разнице энергий детектируемых квантов излучения принимает вид

$$\frac{\Delta t}{\Delta E_\gamma} = \frac{1}{H_0 M_{QG}} \int_1^{z+1} \frac{dx}{\left[\Omega_m x^3 + \Omega_\Lambda x^{3(w+1)} + \Omega_K x^2\right]^{1/2}}. \tag{9}$$

При $w = -1$ (стабильный космический вакуум без квинтэссенции) асимптотические выражения для Δt совпадают с точностью до констант порядка единицы с выражениями, приведенными в [7]:

$$\frac{\Delta t}{\Delta E_\gamma} = \frac{1}{\Omega_\Lambda^{1/2} H_0 M_{QG}}\, z, \quad z \to 0, \tag{10}$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta E_\gamma} = \frac{2}{\Omega_m^{1/2} H_0 M_{QG}} \tilde{z}, \quad z \to \infty, \tag{11}$$

где $\tilde{z} = 1 - (1+z)^{-1/2}$.

Формула (10) соответствует расширению Вселенной по закону Хаббла, а (11) – расширению Вселенной по закону Фридмана.

Таким образом, формула (11) в теории Эйнштейна получается лишь в пределе $z \to \infty$. Именно поэтому зависимость эффекта задержки сигнала от красного смещения меняется в точной теории по сравнению с результатом, полученным в плоской модели Фридмана [7], что оказывается важным при анализе экспериментальных данных.

ВОЗМОЖНОСТЬ СЕЛЕКЦИИ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Стабильный космический вакуум [17, 14] входит в число наиболее вероятных возможностей реализации “темной энергии” в нашей Вселенной. Поэтому все расчеты выполнены без учета квинтэссенции ($w = -1$). На рис. 1 приведены зависимости, полученные по формуле (9), параметра $\Delta t/\Delta E_\gamma$ от красного смещения z в области больших красных смещений $3 < z < 5.5$ для трех космологических моделей. Здесь кривая 1 соответствует плоской космологической модели, 2 – закрытой космологической модели, 3 – открытой космологической модели. Энергетический масштаб квантовой гравитации при этом зафиксирован планковским значением 10^{19} ГэВ. Из рисунка видно, что модели различимы между собой, если точность измерения параметра $\Delta t/\Delta E_\gamma$ не хуже 10^{-6} с/МэВ.

Таким образом, для выбора космологической модели (и определения энергетического масштаба квантовой гравитации) нужны измерения временных задержек между γ-квантами различной энергии и красного смещения γ-всплесков. В работе [7] по данным детекторов BATSE и OSSE [9, 10] изучалась задержка во времени прихода γ-квантов различной энергии для пяти γ-всплесков с хорошо известным красным смещением. На рис. 2 приведены полученные нами по данным из работы [7] значения параметра $\Delta t/\Delta E_\gamma$ для пяти γ-всплесков и двух каналов измерения энергии как функция красного смещения z. Из сравнения рис. 1 и 2 можно увидеть, что точность современных экспериментальных данных не позволяет сделать выбор между космологическими моделями даже при заданном значении M_{QG}.

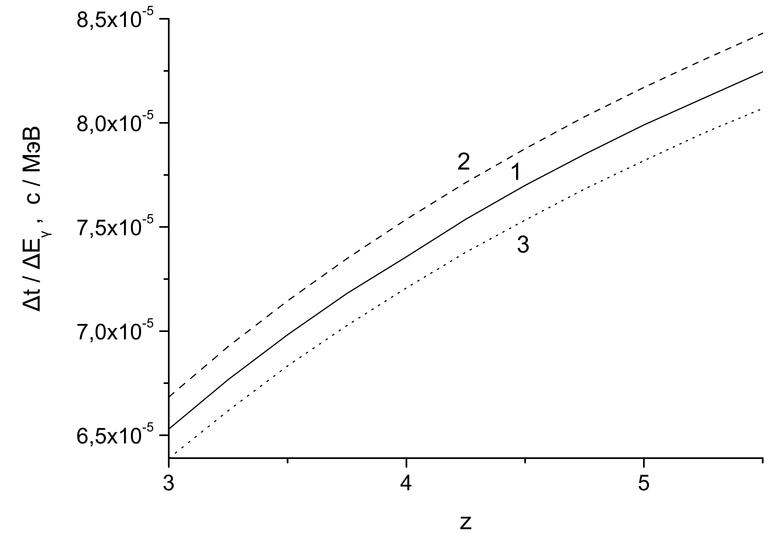


Рис. 1. Теоретические кривые зависимости $\Delta t / \Delta E_\gamma$ от красного смещения z для различных значений параметра k

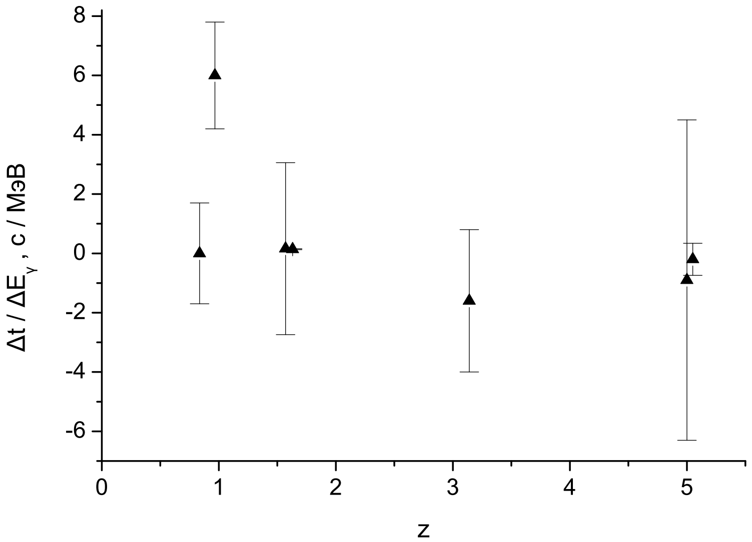


Рис. 2. Результаты фита экспериментальных данных по γ-всплескам из каталогов BATSE и OSSE

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что экспериментальные данные по задержке γ-излучения различной энергии от γ-всплесков с известными z не позволяют одновременно определить масштаб квантовой гравитации M_{QG} и космологические параметры.

Возможны два варианта измерений:

1. Параметр M_{QG} определяется из независимых измерений, например, по временной задержке γ-квантов различной энергии от вспышек ядер активных галактик. Для Маркарян 421 такие измерения были проведены в обсерватории Whipple [18], что позволило поставить ограничение на масштаб квантовой гравитации

$$M_{QG} \gtrsim 10^{16} \text{ ГэВ}.$$

Тогда при известном M_{QG} зависимость величины $\Delta t / \Delta E_\gamma$ от z позволяет, в принципе, определить космологические параметры.

2. Космологические параметры могут быть надежно определены по фотометрическому расстоянию D_L для сверхновых [13, 17, 19–22]. Тогда предлагаемые измерения позволяют получить масштаб квантовой гравитации M_{QG}. Отметим, что в настоящее время в литературе обсуждается возможность использования γ-всплесков (и их оптических послесвечений) при больших красных смещениях $z \gtrsim 5$ для изучения крупномасштабной структуры ранней Вселенной [23].

Использование экспериментальных данных [7] и формулы (9) позволяет сделать оценку снизу на масштаб квантовой гравитации:

$$M_{QG} \gtrsim 10^{15} \text{ ГэВ}.$$

Если предположить, что энергетический масштаб квантовой гравитации есть величина порядка $M_{pl} \sim 10^{19}$ ГэВ, то для изучения эффектов запаздывания сигналов от γ-всплесков космологического происхождения отношение $\Delta t/\Delta E_\gamma$ должно измеряться с точностью порядка 10^{-6} с/МэВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-16095) и ФЦП "Интеграция" (проект И0586/920).

[1] *Amelino-Camelia G., et al.* // Nature.–1998.–**393**.–P. 763.

[2] *Coleman S., Glashow S. L.* // Phys. Rev. D.–1999.–**59**.–P. 116008.

[3] *Stecker F. W., Glashow S. L.* // Astropart. Phys.–2001.–**16**.–P. 97.

[4] *Ellis J., et al.* // Mod. Phys. Lett.–1998.–**A13**.–P. 303.

[5] *Ellis J.* astro-ph/0010474.

[6] *Ellis J., Mavromatos N. E., Nanopoulos D. V.* CERN-2000-136; preprint gr-qc/0005100.

[7] *Ellis J., et al.* // Astrophys. J.–2000.–**535**.–P. 139.

[8] *Nanopoulos D. V.* // Ядерная физика.–2000.–**63**, N 6.–С. 1163.

[9] *Paciesas W. S., et al.* // Astrophys. J. Suppl. Ser.–1999.–**122**.–P. 465.

[10] *OSSE Collaboration* Gamma Ray bursts time profiles.–1999.
http://www.astro.nwu.edu/astro/OSSE/bursts/.

[11] *Sahni V., Starobinsky A. A.* // Int. J. of Modern Phys. D.–2000.–**9**.–P. 373.

[12] *Hagiwara K., et al.* // Phys. Rev. D.–2002.–**66**.–P. 010001-1.

[13] *Huterer D., Turner M. S.* // Phys. Rev. D.–1999.–**60**.–P. 08130.

[14] *Peebles P., Ratra B.* astro-ph/0207347.

[15] *Wang X., Tegmark M., Zaldiaga M.* astro-ph/0105091.

[16] *Efstatiou G., et al.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–in press; astro-ph/0109159.

[17] *Saini T. D., et al.* // Phys. Rev. Lett.–2000.–**85**.–P. 1162.

[18] *Biller S. D., et al.* // Phys. Rev. Lett.–1999.–**83**.–P. 2108.

[19] *Старобинский А. А.* // Письма в Журн. эксперим. и теор. физики.–1998.–**68**.–С. 721.

[20] *Nakamura T., Chiba T.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–1999.–**306**.–P. 696.

[21] *Weller J., Albrecht A.* astro-ph/0106079.

[22] *Kujat, et al.* astro-ph/011221.

[23] *Lamb D. Q., Reichart D. E.* // Astrophys. J.–2000.–**536**.–P. 1–18.

ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕР И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ 50 ЗВЕЗД С ПЛАНЕТАМИ, ОТКРЫТЫХ В 1995–2000 ГОДАХ

А. И. Галеев, И. Ф. Бикмаев

Казанский университет, кафедра астрономии
ул. Кремлевская, 18, 420008 Казань, Россия
e-mail: almaz@ksu.ru

После открытия осенью 1995 г. планетной системы вокруг звезды 51 Peg началась эра внесолнечных планет. В настоящее время астрономам известно более 80 звезд с планетами. Поэтому можно начать статистические исследования данной группы звезд. Мы исследовали распределения различных параметров 50 звезд, обладающих планетами, на основе опубликованных в литературе данных: фотометрии (V, $B-V$, M_v), физических параметров (T_{eff}, $\lg g$, [Fe/H], V_{tur}, M, R, V_{rot}, возраст), кинематических характеристик, а также содержаний химических элементов.

ATMOSPHERIC PARAMETERS AND CHEMICAL COMPOSITION OF 50 STARS WITH PLANETS DISCOVERED IN 1995–2000, by Galeev A., Bikmaev I. – After a planetary system was discovered in Autumn 1995 around 51 Peg by Mayor and Queloz the era of extrasolar planets has begun. At present astronomers know more than 80 stars with planets. It is possible to start with statistical studies of this group of stars. We investigated the distributions of various parameters and chemical compositions of 50 planet-harboring stars. A great number of sources was inspected to collect and analyze the photometric properties (V, $B-V$, M_v), physical parameters (T_{eff}, $\lg g$, [Fe/H], V_{tur}, M, R, V_{rot}, age), kinematic characteristics, and element abundances.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ

В ноябре 1995 г. в очередном номере журнала “Nature” вышла статья об открытии планетной системы у звезды 51 Peg [1], которая положила начало эре изучения внесолнечных планет. Но лишь первое время это было исключительным событием, постепенно число внесолнечных планет начало исчисляться десятками, ведь с каждым годом их открывают все больше и больше. В 1996 г. было открыто 2 планеты, в 1997 – 5, в 1998 – 7, в 1999 г. планеты были обнаружены у 9 звезд, а в 2000 – уже у 25! То есть, в течение последних шести лет XX века были открыты планеты у 49 звезд. И число их продолжает расти, известны уже целые планетные системы, состоящие из 2–3 планет.

Большое число планет у других звезд позволяет начать статистические исследования характеристик этих объектов (и планет, и звезд). В данной работе мы решили ограничиться только выборкой из 50 звезд с планетами (ЗСП), известных к началу нового столетия (в это число мы включили и Солнце), и рассмотреть распределения различных параметров этих звезд.

Мы привлекли большое количество литературных источников (более 50), чтобы собрать и провести анализ фотометрических свойств (видимая и абсолютная звездная величина, показатели цвета), физических параметров (эффективная температура, логарифм ускорения силы тяжести, металличность, скорости вращения и турбулентности, масса, радиус, возраст и т. д.), содержаний химических элементов (в частности лития) и кинематических характеристик (компоненты пекулярной скорости V_{space} – U, V, W – движения в Галактике) данной группы звезд. Некоторые параметры (светимости, радиусы) были рассчитаны нами на основе других данных.

Для сравнения мы рассмотрели выборку из 150 звезд солнечного типа (“звезд поля”), исследованных и любезно предоставленных нам Клаусом Фурманом. Эта выборка более однородна (параметры всех звезд получены одним методом), но она содержит и несколько ЗСП. Поэтому ее удобно использовать для сравнения параметров звезд в этих двух выбороках.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Найденные для исследованных звезд с планетами параметры изменяются в широких пределах. Это возникает благодаря неоднородности этой выборки, ведь они отбирались по критерию

наличия у звезды планетоподобного спутника. К примеру, данная группа объединяет звезды от красного карлика Gl 876 (M4, $T_{eff} = 3200$ K) до F-субгиганта HD 120136 ($T_{eff} = 6390$ K), хотя большинство этих звезд все же попадают в область звезд солнечного типа с эффективными температурами 5000–6000 K и $\lg g$ от 4.00 до 4.50 dex.

Около 50 % ЗСП имеют светимости, заметно отличающиеся от солнечной. Массы данных звезд заключены в пределах от 0.78 $M_\odot$ (у HD 192263) до 1.46 $M_\odot$ (у HD 89744). Распределение масс этих звезд повторяет аналогичное распределение звезд поля Фурмана и показывает четкий пик на 1 $M_\odot$ (рис. 1). Гистограммы, построенные для других параметров звезд, показывают распределение с пиком, соответствующим солнечному значению.

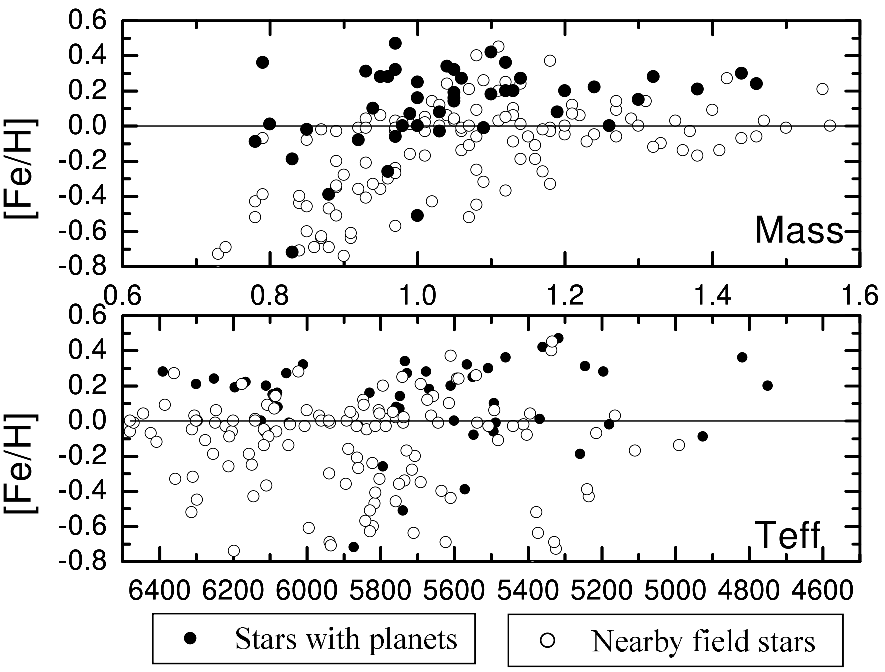


Рис. 1. Зависимости металличности рассмотренных звезд с планетами и звезд поля от массы (вверху) и температуры (внизу)

Только распределение металличности обнаруживает значительные отклонения от распределения, наблюдаемого у одиночных звезд солнечного типа (рис. 2). Металличности звезд с планетами изменяются от –0.72 dex (HD 114762) до +0.47 (HD 145675). Но кроме HD 114762 $[Fe/H] < -0.10$ имеют лишь 4 звезды. В итоге оказывается, что большинство ЗСП расположено в области металличностей –0.1 ... +0.5 dex с максимумом на 0.2 dex. Проблема такого распределения рассматривается в работах [2, 3].

2. Химический состав данных звезд, обладающих планетами, определялся в работах Гонзалеза и др. [4–6] и Сантоса и др. [7]. К этим данным мы добавили результаты для HD 6434 [8], HD 19994 [9], HD 95128 [10], и HD 9826, HD 186427, HD 217014, исследованных нами. Количество рассмотренных элементов растет от 4 (Si, Ca, Ti, Fe) у HD 177830 до 22 (HD 19994) и 36 (HD 186427), но большинство звезд (которые рассмотрены Гонзалезом) представляют содержания только 13–15 элементов. Всего мы проанализировали химический состав атмосфер 40 звезд выборки.

По химическому составу данные звезды также можно разбить на группы (рис. 3). Пять звезд, HD 6434, HD 13445, HD 37124, HD 114762 и HD 143761, относятся к объектам с пониженной металличностью $[Fe/H] < -0.10$. Шесть звезд (HD 95128, HD 117176, HD 130322, HD 192263, HD 209458 и HD 222582) показывают солнечный химсостав. У оставшихся звезд – сильные избытки металлов, особенно у HD 75732 и HD 145675 значения $\Delta\epsilon(star - sun) > 0.3$ для всех элементов (кроме лития). Также как у аналогов Солнца [11], распределения содержаний имеют различный вид у разных звезд. Хорошо заметна повышенная металличность ЗСП, если сравнить усредненные распределения содержаний химических элементов этих звезд и звезд-аналогов Солнца (рис. 4). Сравнение содержаний лития у 32 звезд не показывает их корреляции с содержаниями других элементов.

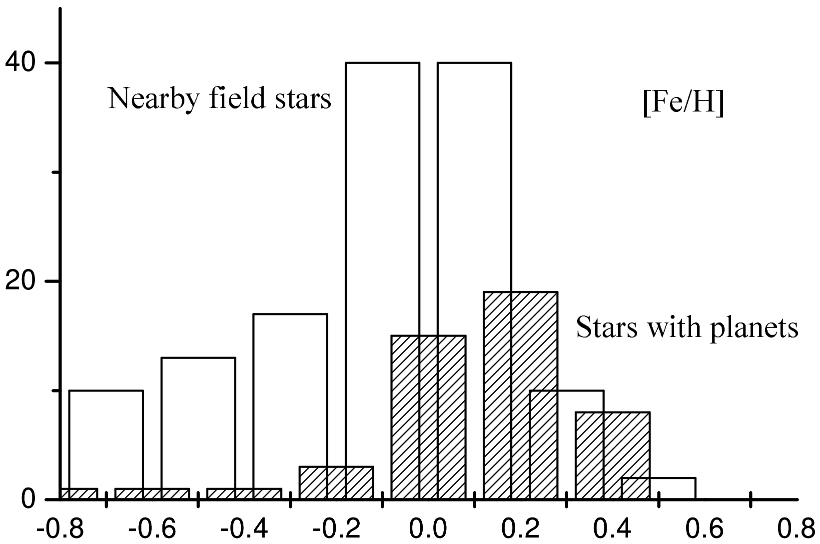


Рис. 2. Число звезд разной металличности среди рассмотренных звезд с планетами и звезд поля

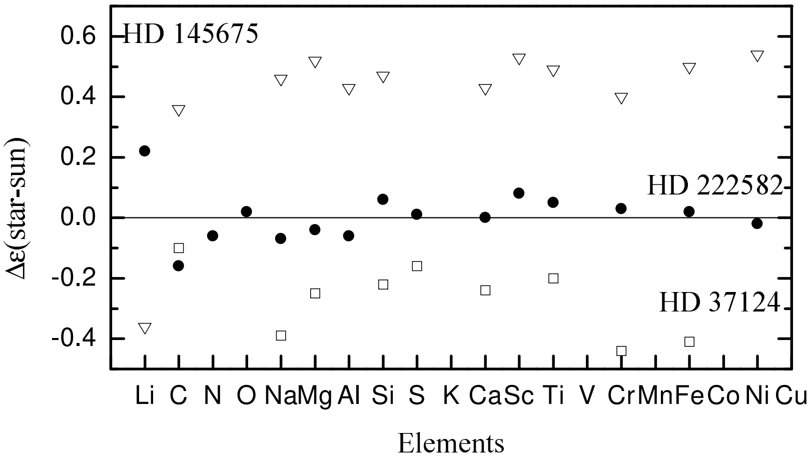


Рис. 3. Содержания химических элементов в атмосферах трех звезд с планетами, которые демонстрируют: избыток металлов (HD 145675), солнечный химсостав HD 222582 и пониженную металличность (HD 37124)

3. На основе собранных параметров звезд с планетами, мы попытались отобрать объекты, которые можно отнести к аналогам Солнца. В итоге мы выбрали 5 звезд (HD 6434, HD 12661, HD 186427, HD 217014, HD 222582), у которых почти все характеристики близки к солнечным. Но первые четыре звезды имеют химический состав, отличающийся от солнечного. Только HD 222582 показывает удивительное совпадение с солнечными данными “по всем пунктам”. Мы предполагаем, что эта звезда может считаться наилучшим солнечным аналогом в этой группе звезд и кандидатом в двойники Солнца.

4. По кинематическим характеристикам ЗСП ничем особенным не выделяются. Значения компонентов скорости движения этих звезд в Галактике лежат в “общем облаке”. Распределение кумулятивной скорости ($V_{space} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$) рассмотренных звезд идентично такому же распределению у звезд поля (с учетом того, что количество звезд в этих выборках отличается в 3 раза).

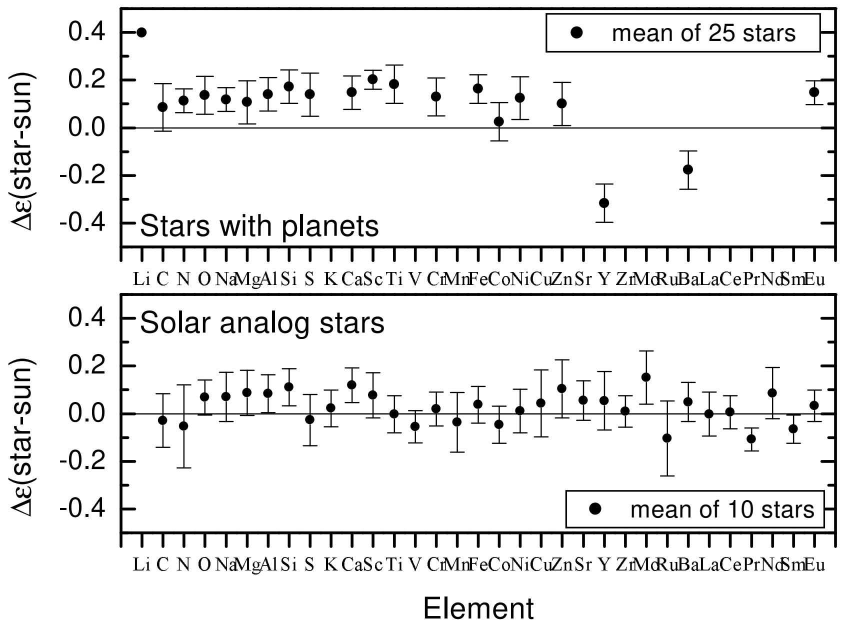


Рис. 4. Сравнение усредненного химического состава 25 звезд с планетами и 10 звезд-аналогов Солнца (на графиках показаны бары ошибок содержаний для каждого элемента)

Авторы выражают благодарность К. Фурману за предоставленные данные, С. Горде за эмпирические зависимости масса-радиус [12] и А. Хайруллиной за помощь в работе с данными.

[1] *Mayor M., Queloz D. et al.* A Jupiter-Mass Companion to a Solar-Type Star // Nature.–1995.–**378**.–P. 355.

[2] *Santos N. C., Israelian G., Mayor M.* The metal-rich nature of stars with planets // Astron. and Astrophys.–2001.–**373**.–P. 1019–1031.

[3] *Reid N.* On the Nature of Stars with Planets // Publs Astron. Soc. Pacif.–2002.–**114**.–P. 306–329.

[4] *Gonzalez G.* Spectroscopic analyses of the parent stars of extrasolar planetary system candidates // Astron. and Astrophys.–1998.–**334**.–P. 221–238.

[5] *Gonzalez G., Laws C.* Parent Stars of Extrasolar Planets. V. HD 75289 // Astron. J.–2000.–**119**.–P. 390–396.

[6] *Gonzalez G., Laws C., Tyagi S., Reddy B. E.* Parent Stars of Extrasolar Planets. VI. Abundance Analyses of 20 New Systems // Astron. J.–2001.–**121**.–P. 432–452.

[7] *Santos N. C., Israelian G., Mayor M.* Chemical analysis of 8 recently discovered extra-solar planet host stars // Astron. and Astrophys.–2000.–**363**.–P. 228–238.

[8] *Carretta E., Gratton R. G., Sneden C.* Abundances of light elements in metal-poor stars. III. Data analysis and results // Astron. and Astrophys.–2000.–**356**.–P. 238–252.

[9] *Smith V. V., Cunha K., Lazzaro D.* The Abundance Distribution in the Extrasolar-Planet Host Star HD 19994 // Astron. J.–2001.–**121**.–P. 3207–3218.

[10] *Chen Y. Q., Nissen P. E., Zhao G., et al.* Chemical composition of 90 F and G disk dwarfs // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–2000.–**141**.–P. 491–506.

[11] *Галеев А. И., Бикмаев И. Ф., Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А.* Исследование звезд – фотометрических аналогов Солнца по спектрам, полученным на 2-м телескопе обсерватории Терскол // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–2003.–№ 4.–С. 97.

[12] *Gorda S. Yu., Svechnikov M. A.* Empirical L-M, R-M, and M-Teff relations for main-sequence stars: Components of close binary systems and low-mass stars // Astron. Rep.–1999.–**43**.–P. 521–525.

ОПТИЧЕСКАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ ЛЕБЕДЬ X-1

Е. А. Карицкая

Институт астрономии РАН
Пятницкая 48, 119017 Москва, Россия
e-mail: karitsk@sai.msu.ru

В последнее время в ходе исследования первого кандидата в черные дыры Лебедь X-1 было обнаружено множество новых фотометрических эффектов. Например, помимо орбитальной переменности были выявлены различного типа вспышки, так называемый прецессионный период 147/294 дней, а также значительная корреляция между долговременными оптическими и рентгеновскими (2–10 кэВ) вариациями, которые запаздывают на одну или две недели. Для понимания физической природы этих явлений необходим детальный спектральный анализ, включая доплеровскую томографию. В статье обсуждается потенциал прецизионной спектроскопии высокого разрешения для изучения способа перетекания газа между компонентами этой двойной системы, физические характеристики газа как в области аккреционной структуры (особенно во время вспышек, причиной которых по-видимому является возрастание потока втекающей материи), так и истекающего из сверхгиганта, происхождение 147-дневного периода и т. д. Использование эшеле-спектрометра на 2-м телескопе обсерватории Терскол для этих наблюдений рассматривается в качестве наилучшего варианта.

THE OPTICAL DOPPLER TOMOGRAPHY AS A METHOD FOR INVESTIGATION OF THE X-RAY BINARY CYGNI X-1, by Karitskaya E. A. – Recently numerous photometric effects were found during the investigation of the first black hole candidate Cyg X-1. For example, in addition to orbital variations, there are different kinds of flares, the so-called precession period of 147/294 days, and a significant correlation between the long-time optical variations and the 2–10 keV X-ray variations with the time lag of one or two weeks. Detailed spectral analysis (including the Doppler tomography) is necessary for understanding the physical nature of these phenomena. In this report we discuss the high-resolution spectroscopy potentialities for recognizing the manner of gas flow between the components, the origin of a 147-day period as well as for determining the physical characteristics of gas both in the region of accretion structure (especially during the flares caused by an increasing accretion matter flux) and outflowing from supergiant, and so on. The echelle-spectrometer of the Terskol 2-m telescope could be very useful for these purposes.

ВВЕДЕНИЕ

Лебедь X-1 – это уникальная рентгеновская двойная система, релятивистский компонент которой является первым кандидатом в черные дыры. Средняя орбитальная кривая блеска с периодом 5.6 дня объясняется приливной деформацией оптической звезды – сверхгиганта O9.7Iab в поле тяжести релятивистского объекта. Сверхгигант почти заполняет свою полость Роша. Истекающая с него материя образует вокруг релятивистского компонента аккреционную структуру – по современным представлениям маленький аккреционный диск и вокруг него некую газовую структуру. Современные модельные гидродинамические расчеты перетекающего газа в тесных двойных системах, например, проводимые группой А. А. Боярчука с сотрудниками [2], способны получить детальную картину распределения газа, поле скоростей и другие его физические параметры. Для этих расчетов необходимо знать параметры системы. Однако, несмотря на многолетние интенсивные исследования, эти параметры известны до сих пор довольно плохо из-за отсутствия рентгеновского затмения. Особенно это касается угла наклона орбиты. А. М. Черепащук [6] дает его оценку $28^\circ - 63^\circ$, исходя из решений кривой блеска. Herrero *et al.* [9], используя свои спектральные данные для Лебедя X-1, получают другие оценки параметров, которые несколько выходят за рамки областей допустимости параметров, полученных с использованием фотометрических методов. Имеется также некоторое противоречие между оценкой расстояния до Лебедя X-1, полученной по межзвездным линиям, и светимостью звезды, полученной Herrero *et al.* [9] с помощью их унифицированной модели. Видимо, требуется более точная спектроскопия и расчеты профилей линий. Также некоторые спектральные линии состоят из нескольких компонентов соответственно различным областям их происхождения, и необходимо аккуратно разделить эти компоненты. Кроме того, необходимо принимать во внимание вытянутую форму сверхгиганта – так называемое гравитационное потемнение при расчете эффекта эллипсоидальности.

Согласно последним работам есть наблюдательные свидетельства нестационарного перетекания вещества с оптического компонента [10]. Нестационарность перетекания может вызвать ударные волны в окружающем газе и при втекании в аккреционный диск, а также перераспределение рассеивающей и поглощающей материи вблизи релятивистского компонента. Наблюдения [3] выявили вспышки, которые, по-видимому, возникают вследствие появления временных горячих областей – так называемых "горячих пятен", и одновременно с ними спадов рентгеновского излучения (дипов), которые могут быть следствием появления поглощающего газа на луче зрения. Каждый из этих факторов должен оказать влияние на спектральные линии. Поэтому для их проверки требуются спектральные исследования.

В последнее время обнаружена корреляция между долговременными изменениями оптического и рентгеновского потока с запаздыванием рентгеновской переменности относительно оптической в среднем примерно на 7 дней (в 1996 г.) и 12 дней (в 1997–1998 гг.) [3, 4]. Такие же запаздывания были обнаружены между оптическими и рентгеновскими вспышками. Согласно предложенной физической интерпретации они являются характерным временем, которое требуется для прохождения вещества через аккреционную структуру [3]. Изучение изменения профилей линий относительно указанных вариаций помогло бы проследить последовательность прохождения вещества через эту структуру.

Несмотря на то, что о существовании аккреционных дисков известно уже давно, до сих пор не вполне ясны динамика взаимодействия газовых потоков с их внешними частями и сам процесс истекания вещества из оптического компонента. Особенно это касается системы Лебедь X-1, в которой сверхгигант на несколько процентов недозаполняет свою полость Роша. С одной стороны, следует ожидать перенос вещества с помощью сфокусированного звездного ветра [8], а с другой стороны, в связи с тем, что верхние слои атмосферы заполняют полость Роша, следует ожидать формирование струи. Расчет модели атмосферы сверхгиганта, выполненный в разных точках с учетом звездного ветра и падающего снаружи рентгеновского потока, и сравнение расчетных профилей линий с наблюдаемыми позволили бы понять формирование потока оттекающей материи.

ОПТИЧЕСКАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК АКТУАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕБЕДЬ X-1

Как было сказано во введении, параметры рентгеновской двойной Лебедь X-1 известны недостаточно хорошо. Имеется сильное влияние некоторых параметров (например степени заполнения полости Роша) на течение газа в системе. С другой стороны, современный расчет газодинамических моделей способен дать довольно подробную геометрическую и кинематическую картину газовых потоков в тесных двойных системах. Поэтому сравнивая теоретическую картину с наблюдаемой, можно было бы в принципе судить о значениях параметров этой системы. В последнее время стал бурно развиваться метод томографии в астрофизике (см. статью Бочкарева [1]), который в принципе может позволить получить наблюдаемую газодинамическую картину.

Метод доплеровской томографии позволяет построить доплеровскую карту (томографическую карту) распределения интенсивности эмиссионной линии на плоскости скоростей $I(V_x, V_y)$, используя последовательные спектрограммы этой эмиссионной линии – последовательные профили $I(\lambda, t)$ (или иначе $I(V_R, \varphi)$, где φ – фаза двойной системы). Имея достаточно хорошее представление о распределении скоростей в двойной системе, можно также получить распределение материи, излучающей эту эмиссионную линию. Эта задача является неоднозначной, так как могут существовать точки, имеющие одинаковые радиальные скорости, но располагающиеся в разных местах двойной системы. При этом они будут давать вклад в одно и то же место доплеровской карты. В работе Кузнецова, Боярчука, Бисикало и др. [5] использовался более корректный метод для изучения тесной двойной системы IP Peg. Авторы сравнивали теоретические томографические карты, которые они рассчитывали с помощью газодинамических моделей, с наблюдаемыми. Такой метод позволяет более точно судить о модели и параметрах системы. Выполнение такого анализа в свете вышесказанного представляется особенно важным именно для Лебедя X-1. Для этого необходимо получить много высококачественных спектрограмм, распределенных достаточно часто и однородно по орбитальным фазам, желательно за один орбитальный период.

Первая попытка провести томографический анализ профилей линий H_α системы Лебедь X-1 (Sowers *et al.* [11]) показала перспективность этого метода и вместе с тем сложность его применения к данной системе, несмотря на сильную регулярную переменность профилей линий с орбитальным периодом 5.6 дня. В этой работе было получено только $I(V_R, \varphi)$, но был сделан вывод, что эта линия излучается двумя областями – сверхгигантом и эмиссионным компонентом, находящимся в потоке материи между двумя компонентами. Необходимы более рафинированные методы наблюдений и анализа:

А. Следует принимать во внимание вариации параметров спектральных линий по поверхности звезды вследствие гравитационного потемнения и эффекта отражения.

Б. Необходимо повысить точность измерений и улучшить спектральное разрешение.

В. Следует использовать линии, являющиеся индикатором аккреционной структуры (например He II 468.6 нм).

Г. Для анализа процесса истечения вещества из сверхгиганта необходимо использовать линии, образующиеся в разных слоях атмосферы звезды. Например, для этих целей целесообразно получить высокоточные спектральные наблюдения двух участков спектра:

– от линии He II 468.6 нм до линии H_β;

– содержащий линии H_α, He I 667.1 нм и He II 668.3 нм (переход между уровнями 13 и 11).

Звездная величина Лебедя X-1 равна $B = 9.7^m$, $V = 8.9^m$. Спектральные наблюдения, необходимые для решения проблемы, целесообразно проводить на телескопе умеренного размера, чтобы было возможно выполнять не слишком короткие ряды спектральных наблюдений с достаточно высокими – спектральным разрешением (15 000 – 50 000), временным разрешением (десятки минут – часы) и отношением сигнала к шуму S/N, превышающим 100. Необходимо охватывать все предварительно выбранные участки спектра по возможности одновременно. Наблюдения с помощью эшеле-спектрометра на 2-м телескопе обсерватории Терскол могли бы удовлетворить этим требованиям. Этот эшеле-спектрометр перекрывает спектральный диапазон от 0.3–0.4 мкм до 1 мкм со спектральным разрешением 45 000. В течении часа наблюдений можно достичь требуемого сигнала к шуму S/N. Такое высокое спектральное разрешение делает эту задачу почти предельной для этого телескопа. Однако есть надежда, что в следующем году появится другая мода спектрографа со спектральным разрешением 20 000. Такое разрешение достаточно для этой задачи и позволит наблюдать Лебедь X-1 каждую ясную ночь независимо от ее качества.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕБЕДЬ X-1, ТРЕБУЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАЛЬНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Прецизионная спектроскопия высокого разрешения (в особенности в сочетании с фотометрическими, рентгеновскими и радио наблюдениями) открывает широкие возможности для исследования процесса истекания вещества из сверхгиганта, спорадических и квазипериодических нестационарностей перетекания вещества, взаимодействия газового потока с внешними частями аккреционной структуры (см. введение). Можно получить информацию о геометрии и кинематике газовых течений из наблюдательных данных с использованием численных расчетов профилей спектральных линий.

Однако для адекватного анализа наблюдений столь высокого качества необходимо использовать новые методы, которые включают сопоставление наблюдаемых профилей линий с модельными теоретическими, рассчитанными в NLTE-приближении, в истекающих звездных атмосферах, облучаемых снаружи излучением рентгеновского компонента. Основой для соответствующего метода анализа могут служить алгоритмы, разработанные группой Н. А. Сахибуллина (Казанский университет).

Из полученных спектров предполагается отобрать несколько пар или групп по возможности близких по длинам волн спектральных линий, имеющих разный потенциал возбуждения и образующихся в существенно разных областях течения вещества (в разных слоях атмосферы O-сверхгиганта или аккреционного течения), и изучить по возможности зависимость этих линий от фаз орбитального периода и периода 147/294 дня. Эти линии должны быть удобны для теоретических расчетов в NLTE-приближении. На основе полученных моделей атмосферы можно будет рассчитывать в NLTE-приближении профили отобранных наблюдаемых линий в разных точках поверхности звезды и выполнять интегрирование по поверхности для получения модельных профилей, пригодных для сопоставления с наблюдениями. Сравнение их с наблюдаемыми в зависимости от орбитальной фазы позволит понять процесс истекания вещества из звезды, а также определить величину приливного искажения формы сверхгиганта в поле тяжести второго компонента.Это даст ключ к более точному определению параметров системы, например, отношения масс компонентов. Изучение линий, образующихся в разных слоях атмосферы сверхгиганта, даст возможность исследовать истекание газа из сверхгиганта, формирование газового потока вблизи внутренней точки Лагранжа, а также определить, каким способом перетекает вещество в виде струи или сфокусированного звездного ветра.

Предыдущий опыт исследования показывает, что сопоставление полученных данных позволяет выделить эффекты, связанные с нестационарностью перетекания. В связи с тем, что излучение в разных спектральных диапазонах образуется в разных частях аккреционной структуры, следует изучать запаздывание во времени проявлений нестационарности в разных диапазонах спектра совместно с изменениями в спектральных линиях друг относительно друга. Это позволит исследовать строение аккреционной структуры и динамику процесса аккреции непосредственно исходя из наблюдений.

В заключение кратко перечислим актуальные задачи, которые по нашему представлению могут быть решены с помощью высокоточных спектральных наблюдений с высоким разрешением, полученных эшеле-спектрографом на 2-м телескопе.

1. По наблюдаемым профилям линий в разных орбитальных фазах:

а) получить с помощью метода томографии картину распределения газа в системе или хотя бы томографическую карту; полученную картину сравнить с результатами газодинамических расчетов, например, проведенных в ИНАСАН группой А. А. Боярчука, Д. В. Бисикало и др. Это позволит получить представления о параметрах системы и судить более точно о модели системы;

б) использовать полученные спектры для уточнения функции масс двойной системы Лебедь X-1 и других параметров системы.

2. Из анализа линий, принадлежащих ионам с существенно разными потенциалами ионизации (H I, He I, He II), получить:

а) градиенты скорости оттока газа от сверхгиганта;

б) распределение свойств параметров атмосферы вдоль поверхности оптического компонента;

в) ограничения на возможные вариации характера движения газа в атмосфере с фазой так называемого прецессионнного периода 147/294 дня, которые могут пролить свет на природу этого периода.

3. Из сопоставления “спорадических” вариаций спектров со вспышечными явлениями уточнить природу:

а) оптических вспышек длительностью порядка дней [3, 7];

б) переходов между “жестким” и “мягким” состояниями рентгеновского спектра Лебедь X-1.

Исследование поддержано Федеральной научно-технической целевой программой “Астрономия” Российской Федерации.

[1] *Бочкарев Н. Г.* Томография в астрофизике // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–2003.–№ 4.–С. 91–96.

[2] *Бисикало Д. В., Боярчук А. А., Кузнецов О. А., et al.* Свидетельства отсутствия ударного взаимодействия струи и диска (“горячего пятна”) в полуразделенных двойных системах // Астрон. журн.–1998.–**75**, № 1.–С. 40–53.

[3] *Карицкая Е. А., Горанский В. П., Гранкин К. Н., Мельников С. Ю.* Исследование переменности Cyg X-1 (V1357 Cyg) в 1995–1996 гг. во время “жесткого” и “мягкого” состояний спектра рентгеновского излучения // Письма в Астрон. журн.–2000.–**26**, № 1.–С. 27–40.

[4] *Карицкая Е. А., Волошина И. Б., Горанский В. П. и др.* Результаты наблюдений Cyg X-1 (V1357 Cyg) по кооперативной программе стран СНГ в 1994–1998 гг. // Астрон. журн.–2001.–**78**, № 5.–С. 408–420.

[5] *Кузнецов О. А., Бисикало Д. В., Боярчук А. А. и др.* Синтетические доплеровские томограммы газовых потоков в двойной системе IP Peg // Астрон. журн.–2001.–**78**, № 1.–С. 997–1007.

[6] *Черепащук А. М.* Массы черных дыр в двойных звездах // Успехи физ. наук.–1996.–**166**, № 8.–С. 809–832.

[7] *Bochkarev N. G., Karitskaya E. A., Lyuty V. M.* Optical flares of Cyg X-1 // Modern Problem of Stellar Evolution: Proc. Intern. Conf. / Ed. D. S. Wiebe.–Moscow: Geos, 1998.–P. 187–191.

[8] *Gies D. R., Bolton C. T.* The optical spectrum of HDE 226868 = Cygnus X-1. III. A focused stellar wind model for He II λ4686 emission // Astrophys. J.–1986.–**304**.–P. 371–381.

[9] *Herrero A., Kudritzki R. P., Gabler R., et al.* Fundamental parameters of galactic luminous OB stars. II. A spectroscopic analysis of HDE 226868 and the mass of Cygnus X-1 // Astron. and Astrophys.–1995.–**297**.–P. 556–566.

[10] *Karitskaya E. A.* Optical and X-ray variability of Cyg X-1: evidences of non-stationary accretion in 1996 // Modern Problem of Stellar Evolution: Proc. Intern. Conf. in honour of Professor A. G. Massevitch's 80th birthday (Zvenigorod, Russia, Oct. 13–15, 1998) / Ed. D. S. Wiebe.–Moscow: Geos, 1998.–P. 181–186.

[11] *Sowers J. W., Gies D. R., Bagnuolo W. G. Jr, et al.* Tomographic analysis of H_α profiles in HDE 226868/Cygnus X-1 // Astrophys. J.–1998.–**506**.–P. 424–430.

ПОИСК ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

В. Б. Петков, В. В. Алексеенко, В. И. Волченко, А. Н. Заиченко, С. Н. Карпов, $\boxed{\text{В. Я. Поддубный,}}$ А. В. Радченков, Д. В. Смирнов, Н. С. Хаердинов, А. Б. Черняев, А. Ф. Янин

Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН
пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: vpetkov@yandex.ru

На установке “Андырчи” Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН проведен поиск гамма-всплесков высокой энергии и высокоэнергичного ($E_\gamma \geq 10$ ГэВ) излучения в корреляции с зарегистрированными при низких энергиях (BATSE, $E_\gamma = 30-500$ кэВ) гамма-всплесками. По данным за 1996–2001 гг. получено ограничение на частоту гамма-всплесков с длительностями $\Delta t = 1-50$ с и потоками энергии $W(\Delta t) \geq 5.6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\Delta t}$ эрг/см^2 в полосе склонений $10^\circ \leq \delta \leq 70^\circ$: $\Omega_{lim} = 2.0 \cdot 10^{-8}$ с$^{-1}$ на 90 % доверительном уровне. За период 1996–2000 гг. 147 событий BATSE попали в поле зрения установки “Андырчи” ($\theta \leq 50^\circ$). Диапазон ограничений на поток энергии, уносимый высокоэнергичными гамма-квантами в этих всплесках: $W_{max} = 6.5 \cdot 10^{-4} - 0.15$ эрг/см^2.

A SEARCH FOR HIGH-ENERGY GAMMA-RAY BURSTS, by Petkov V. B., Alekseenko V. V., Volchenko V. I., Zaichenko A. N., Karpov S. N., $\boxed{\text{Poddubny V. Ya.,}}$ Radchenkov A. V., Smirnov D. V., Khaerdinov N. S., Chernyaev A. B., Yanin A. F. – The ground-based extensive air shower array “Andyrchy” of the Baksan Neutrino Observatory was used for the search of high-energy gamma-ray bursts as well as the high-energy radiation ($E_\gamma \geq 10$ GeV) within the gamma-ray bursts, which have been recorded in the low-energy range ($E_\gamma \geq 30-50$ keV) on the BATSE. The results obtained in 1996–2000 in the sky survey and in coincidence with the BATSE events are presented.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени гамма-излучение высокой энергии (от единиц до тысяч ГэВ) от гамма-всплесков изучено слабо из-за очень малых потоков в этом диапазоне. Гамма-излучение от гамма-всплесков порядка нескольких ГэВ впервые было обнаружено прибором EGRET на борту космического аппарата CGRO [1]. Особенно большой интерес был вызван регистрацией фотона с энергией 18 ГэВ от всплеска GRB 940217 [2].

Гамма-всплески с энергией фотонов больше нескольких ГэВ могут быть зарегистрированы наземными установками большой площади, расположенными на высоте гор и работающми в режиме регистрации одиночной компоненты космических лучей [3–8]. Это означает, что в подобном эксперименте измеряется суммарный темп счета всех детекторов установки. Так как первичный спектр круто падающий, основной вклад в темп счета вносят дошедшие до уровня наблюдения одиночные частицы от малых ливней, рожденных первичными частицами (преимущественно протонами) с энергиями 10–100 ГэВ. Гамма-всплески в такого рода экспериментах могут проявить себя как (кратковременное) увеличение темпа счета.

Следует заметить, что поиск высокоэнергичных гамма-всплесков и поиск высокоэнергичного гамма-излучения в уже зарегистрированных (в диапазоне низких энергий) гамма-всплесках не есть одно и то же. Нельзя исключить, что есть популяция гамма-всплесков с достаточно жестким спектром, которые не могут быть обнаружены приборами на космических аппаратах из-за триггерных условий, но могут быть зарегистрированы наземными установками большой площади. Для поиска высокоэнергичного “хвоста” гамма-излучения анализируется поведение темпа счета во время уже зарегистрированного гамма-всплеска.

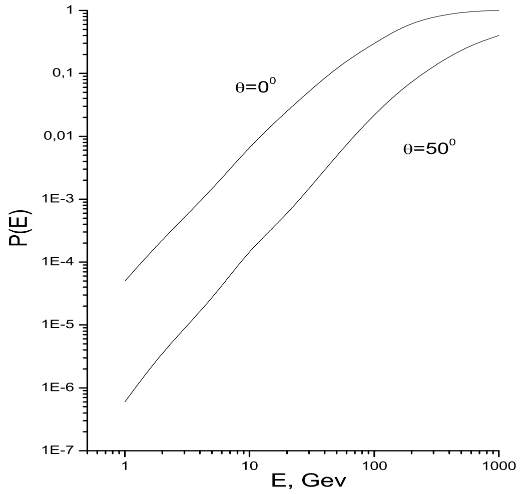


Рис. 1. Вероятность регистрации гамма-квантов детектором бесконечной площади как функция первичной энергии

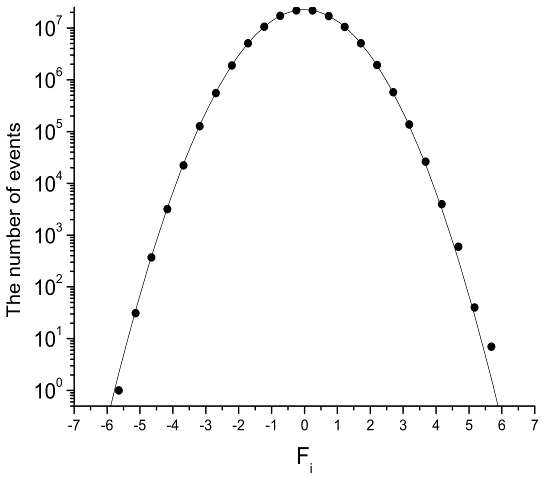


Рис. 2. Экспериментальное распределение количества событий N по F_i. Точки – эксперимент, линия – аппроксимация распределением Гаусса

ЭКСПЕРИМЕНТ

Ливневая установка "Андырчи" [9, 10] расположена на высоте 2060 м над уровнем моря (глубина в атмосфере 800 г/см^2) и состоит из 37 детекторов на основе пластмассового сцинтиллятора. Каждый сцинтиллятор имеет площадь 1 м^2, толщину 5 см и просматривается одним фотоумножителем ФЭУ-49 (диаметр 15 см). Каждый детектор оснащен системой терморегуляции; температура ФЭУ и регистрирующей электроники изменяется не более, чем на 1°С, температура сцинтиллятора – не более, чем на 3°С. Наиболее вероятное энерговыделение в детекторе от одиночных частиц – порядка 10 МэВ, порог срабатывания детектора составляет 5 МэВ (1/2 от наиболее вероятного). Средний темп счета детектора на этом пороге около 310 с$^{-1}$. Поиск гамма-всплесков по изменению суммарного темпа счета установки проводится в условиях большого фона космических лучей, что требует высокой стабильности и надежности работы всей аппаратуры. Суммарный темп счета детекторов установки (37 м^2) измеряется каждую секунду (~11500/с). Контроль за стабильностью осуществляется посредством одновременных измерений (также каждую секунду) темпов счета четырех частей установки (10, 9, 9 и 9 детекторов). Набор информации по всем решаемым на установке задачам начат в марте 1996 г.

Большинство частиц от ливней, рожденных первичными гамма-квантами с энергией 10–100 ГэВ, поглощаются в атмосфере до того, как достигнут уровня установки. Вероятности $P(E,\theta)$ зарегистрировать вторичную частицу в гипотетическом детекторе "Андырчи" бесконечной площади от гамма-кванта с первичной энергией E и зенитным углом θ были получены посредством моделирования электромагнитных каскадов в атмосфере и детекторе. На рис. 1 представлена зависимость $P(E)$ для двух значений зенитного угла. Для определения эффективной энергии первичных гамма-квантов, кроме вероятности регистрации $P(E,\theta)$, необходимо задать спектр фотонов во всплеске. Средний дифференциальный спектр можно достаточно хорошо описать степенным законом вида $I(E) \propto E^{-\gamma}$ с $\gamma = 2.0$ [1], в этом случае медианная энергия первичных гамма-квантов равна 10 ГэВ.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для предварительного анализа экспериментальных данных мы используем два параметра: F_i и D_i. Первый параметр – F_i – представляет собой отклонение в единицах пуассоновской сигмы темпа счета N_i за i-ю секунду 15-минутного интервала от среднего за интервал $\overline{N}$:

$$F_i = (N_i - \overline{N})/\sqrt{\overline{N}}. \tag{1}$$

Поскольку вариациями интенсивности космических лучей за 15 мин в первом приближении можно пренебречь, и средний темп счета достаточно велик ($\overline{N} = 11440$ за 6 лет набора информации), можно ожидать, что параметр F_i подчиняется распределению Гаусса со средним значением $V = 0$ и средним квадратичным отклонением $\sigma = 1.0$.

Параметр D_i используется для характеристики отклонений в темпе счета между частями установки:

$$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{4} (F_i^j - \overline{F}_i)^2. \tag{2}$$

Здесь F_i^j – отклонение j-й части установки, $\overline{F}_i$ – среднее четырех значений F_i^j за i-ю секунду 15-минутного интервала.

В последующей обработке использовались только те секундные точки, для которых выполнялось условие

$$D_i \leq D_{bound}(F_i). \tag{3}$$

Значения $D_{bound}(F_i)$ были получены методом Монте-Карло в предположении справедливости распределения Пуассона для N_i. Это условие дает возможность исключить точки с неразумно большими отклонениями в темпе счета между частями установки, т. е. исключить аппаратурные погрешности. Полезные события (секундные точки) могут быть отброшены с вероятностью $2 \cdot 10^{-9}$ для всех событий и с вероятностью $1.3 \cdot 10^{-3}$ для событий с $F_i \geq 5$. Из всего объема экспериментальных данных по условию (3) было отброшено около 0.01 % событий.

ПОИСК ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

На рис. 2 приведено экспериментальное распределение количества событий по параметру F_i за шесть лет набора информации (1319.6 сут чистого времени). Данные аппроксимируются распределением Гаусса со средним значением $V = -(0.00238 \pm 0.00007)$ и средним квадратичным отклонением $\sigma = 1.0441 \pm 0.0008$. Отклонение от ожидаемых в первом приближении значений $V = 0$ и $\sigma = 1.0$ объясняется пуассоновским поведением темпа счета: моделирование методом Монте-Карло в предположении, что N_i подчиняются распределению Пуассона, дало значения $V = -(0.0022 \pm 0.0007)$ и $\sigma = 1.0414 \pm 0.0008$.

Отсутствие больших превышений над средним темпом счета в данных может быть интерпретировано как отсутствие “коротких” гамма-всплесков (длительностью $\Delta t \leq 1$ с) с соответствующим потоком энергии. Предполагая степенной спектр фотонов, поток энергии $W(F_i)$ для превышения F_i может быть вычислен как

$$W(F_i) = \frac{N}{S} \int\limits_0^{90} \frac{\sin(\theta) \cdot \int\limits_{E_{\min}}^{E_{\max}} E^{-\gamma+1} dE}{\cos(\theta) \cdot \int\limits_{E_{\min}}^{E_{\max}} E^{-\gamma} \cdot P(E,\theta) dE} d\theta, \tag{4}$$

где $N = F_i \cdot \sqrt{\overline{N}}$ и $S = 37$ м^2. Значению $F_i = 6$ и длительности всплеска 1 с соответствует поток $W_1 = 5.6 \cdot 10^{-3}$ эрг/см^2.

По данным BATSE [11] гамма-всплески с длительностью до 1 с составляют 20 % от их общего количества, к тому же в распределении гамма-всплесков по длительностям имеются события, длительность которых – сотни секунд. Следует отметить, что поиск всплесков с большой длительностью в наземных экспериментах затруднен из-за наличия короткопериодических вариаций интенсивности космических лучей. В нашем эксперименте был проведен поиск всплесков с длительностями до 50 с (76 % от общего количества), для этого потребовался дополнительный отбор информации. В обработку не вошли события, в которых всплески имитировались сильным изменением темпа счета во время гроз, солнечных вспышек и резких изменений атмосферного давления. Поиск всплесков с длительностями $\Delta t = 2$, 4, 10, 20 и 50 с был проведен с использованием метода скользящего интервала, величина сдвига равнялась $\Delta t/2$. Аналогично (1), отклонение в темпе счета определялось для каждого интервала, фоновый темп счета вычислялся по двум 400-секундным интервалам, до и после скользящего интервала Δt. Распределения по F_i для больших длительностей аналогичны приведенному на рис. 2, в них также отсутствуют большие

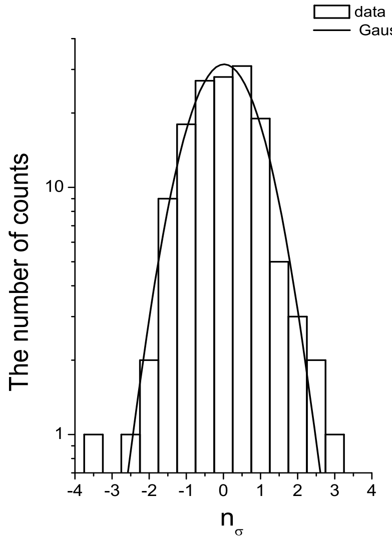


Рис. 3. Экспериментальное распределение количества событий N по n_σ для интервала T_{90} и его аппроксимация гауссианой

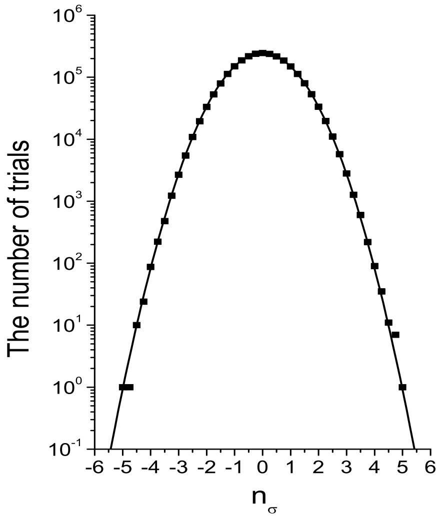


Рис. 4. Суммарное распределение количества событий N по n_σ для всех интервалов в пределах ± 1.5 ч вокруг всплеска BATSE

превышения над фоном. Значению $F_i = 6$ и длительности всплеска Δt соответствует поток энергии $W_{\Delta t} = W_1 \cdot \sqrt{\Delta t}$. Таким образом, по данным за 1996–2001 гг. (1319.6 сут чистого времени) получено ограничение на частоту гамма-всплесков с длительностями $\Delta t = 1 - 50$ с и потоками энергии $W(\Delta t) \geq 5.6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\Delta t}$ эрг/см^2 в полосе склонений $10^\circ \leq \delta \leq 70^\circ$: $\Omega_{lim} = 2.0 \cdot 10^{-8}$ с$^{-1}$ на 90 %-м доверительном уровне.

ПОИСК ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОРРЕЛЯЦИИ С BATSE

За период 1996–2000 гг. (в мае 2000 г. аппарат CGRO прекратил свою работу) 147 событий BATSE [11] попали в поле зрения установки “Андырчи” ($\theta \leq 50^\circ$). Для каждого из этих событий было вычислено превышение темпа счета n_σ (в стандартных отклонениях) во время всплеска (в течение длительности всплеска T_{90}) над фоном. Фоновый темп счета вычислялся по двум 400-секундным интервалам, до и после интервала T_{90}. На рис. 3 приведены экспериментальное распределение по n_σ и аппроксимация распределением Гаусса (среднее значение $V = -(0.02 \pm 0.04)$, среднее квадратичное отклонение $\sigma = 0.92 \pm 0.08$). Таким образом, экспериментальное распределение согласуется с ожидаемым от фона космических лучей. Для каждого из 147 событий было получено ограничение (на уровне трех стандартных отклонений) на поток энергии в высокоэнергичных γ-квантах. Диапазон ограничений составляет $W_{\max} = 6.5 \cdot 10^{-4} - 0.15$ эрг/см^2, большой разброс значений объясняется различием в зенитных углах и длительностях всплесков.

Всплеск γ-излучения высокой энергии не обязательно должен совпадать во времени с излучением в низкоэнергетической области: так, во всплеске GRB 940217 фотон с энергией 18 ГэВ пришел с запаздыванием в 1.5 часа [2]. Поэтому поиск всплесков высокоэнергичного γ-излучения различной длительности (1–100 с) в корреляции с событиями BATSE был проведен в пределах ± 1.5 ч от начала всплеска. Использовался метод скользящего интервала с $\Delta t = 1$, 2, 4, 10, 20, 50 и 100 с, величина сдвига равнялась Δt для интервала в 1 с и $\Delta t/2$ для остальных интервалов. Фоновый темп счета вычислялся по двум интервалам 400 с, до и после скользящего интервала Δt. На рис. 4 приведено суммарное распределение по превышению над фоном в единицах стандартного отклонения для всех интервалов вокруг события BATSE. Аппроксимация распределением Гаусса дает среднее значение $V = -(0.0021 \pm 0.0007)$ и среднее квадратичное отклонение $\sigma = 1.000 \pm 0.007$, т. е. в этом случае экспериментальное распределение также согласуется с ожидаемым от фона космических лучей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На установке "Андырчи" Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН проведен поиск гамма-всплесков высокой энергии и высокоэнергичного ($E_\gamma \geq 10$ ГэВ) излучения в корреляции с событиями BATSE.

2. По данным за 1996–2001 гг. (1319.6 сут чистого времени) получено ограничение на частоту гамма-всплесков с длительностями $\Delta t = 1 - 50$ с и потоками энергии $W(\Delta t) \geq 5.6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\Delta t}$ эрг/см^2 в полосе склонений $10^\circ \leq \delta \leq 70^\circ$: $\Omega_{lim} = 2.0 \cdot 10^{-8}$ с$^{-1}$ на 90%-м доверительном уровне.

3. За период 1996–2000 гг. 147 событий BATSE попали в поле зрения установки "Андырчи" ($\theta \leq 50^\circ$). Диапазон ограничений (на уровне трех стандартных отклонений) на поток энергии, уносимый высокоэнергичными гамма-квантами в этих всплесках (в течение длительности всплеска T_{90}): $W_{\max} = 6.5 \cdot 10^{-4} - 0.15$ эрг/см^2. Большой разброс значений объясняется различием в зенитных углах и длительностях всплесков.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-16095) и ФЦП "Интеграция" (проект И0586/920).

[1] *Dingus B. L. et al.* // Proc. 25th ICRC, Durban.–1997.–**3**.–P. 29.

[2] *Hurley K. et al.* // Nature.–1994.–**372**.–P. 652.

[3] *Aglietta M. et al.* // Astrophys. J.–1996.–**469**.–P. 305.

[4] *Vernetto S.* // Astrop. Phys.–2000.–**13**.–P. 75.

[5] *Castelina A. et al.* // Proc. 27th ICRC, Hamburg.–2001.–**2735**.

[6] *Воеводский А. В. и др.* // Изв. АН, Сер. физ.–1999.–**63**, в. 3.–С. 612–614.

[7] *Alekseenko V. V. et al.* // Proc. 27th ICRC, Hamburg.–2001.–**2764**.

[8] *Alekseenko V. V. et al.* // Nuclear Phys. B (Proc. Suppl. Ser.).–2002.–**110**.–P. 472.

[9] *Alexeyev E. N. et al.* // Proc. 23rd ICRC, Calgary.–1993.–**2**.–P. 474.

[10] *Alexeyev E. N. et al.* Preprint INR 854/94.–Moscow, 1994.

[11] http://gammaray.msfc.nasa.gov/batse/grb/catalog.

ПОИСК ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА 2-м ТЕЛЕСКОПЕ ОБСЕРВАТОРИИ ТЕРСКОЛ

В. Я. Поддубный[1,2], Ю. М. Гаврилюк[1,2], К. Йоккерс[3], Н. В. Карпов[1], С. Н. Карпов[1,2], И. В. Кулик[4], В. Б. Петков[2], А. В. Сергеев[1], В. К. Тарадий[1]

[1] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований пос. Терскол, Эльбрусский район, 360101 Кабардино-Балкарская Республика, Россия*

[2] *Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия e-mail:* vpetkov@yandex.ru

[3] *Институт аэрономии общества Макса Планка, Германия D-37191 Катленбург-Линдау, Германия*

[4] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина*

На 2-м телескопе обсерватории Терскол проводятся наблюдения с целью обнаружения оптического послесвечения гамма-всплесков. Описана методика поиска и обработки результатов наблюдений. Предложен метод получения ограничения на звездную величину оптических объектов. Представлены ограничения для объектов оптического послесвечения шести гамма-всплесков: GRB 991106, GRB 000620, GRB 001109, GRB 010103, GRB 011212 и GRB 020409.

SEARCH FOR OPTICAL AFTERGLOWS OF GAMMA-RAY BURSTS WITH THE 2-m TELESCOPE AT THE TERSKOL OBSERVATORY, by Poddubny V. Ya., Gavriliuk Yu. M., Jockers K., Karpov N. V., Karpov S. N., Kulyk I. V., Petkov V. B., Sergeev A. V., Tarady V. K. – Observations aimed at the search for optical afterglows of gamma-ray bursts are carried out with the 2-m telescope of the Terskol Observatory. We describe a method for such search and analysis of the data. The method was devised to obtain limitations to the magnitude of optical objects. The limitations obtained for six optical afterglows of gamma-ray bursts are presented.

ВВЕДЕНИЕ

В течение длительного времени после открытия в 1973 г. [1] гамма-всплески (Gamma-Ray Burst – GRB) оставались наиболее загадочными объектами в астрофизике высоких энергий. Несмотря на то, что до 1997 г. было зарегистрировано несколько тысяч гамма-всплесков, точность их локализации была явно недостаточной для успешного поиска их излучения в других энергетических диапазонах, включая оптический. Из-за отсутствия излучения в оптическом диапазоне не был определен даже масштаб расстояний до γ-всплесков. Ситуация радикально изменилась в 1997 г. после запуска спутников Beppoзах и RXTE. Благодаря наблюдениям на этих спутниках было открыто затухающее рентгеновское излучение у некоторых γ-всплесков. Это позволило определить их координаты с точностью до нескольких угловых минут, что привело в дальнейшем к обнаружению оптических объектов на месте нахождения некоторых γ-всплесков (см. ссылки в работе [2]). У части этих объектов было обнаружено красное смещение линий излучения и поглощения, показывающее, что эти оптические объекты находятся на космологических расстояниях. Несмотря на то, что сейчас на спутниках регистрируются ежегодно около 30–40 γ-всплесков, с ошибкой, не превышающей $10'$, только у примерно пяти из них удается зарегистрировать оптическое послесвечение. Как временное поведение фотометрических характеристик излучения, так и спектральное распределение энергии оптического послесвечения заметно отличаются для различных объектов [3]. Кроме того, не у каждого γ-всплеска удается измерить все необходимые характеристики. Ясно, что необходимо как увеличение статистики таких событий, так и более детальное (в различных спектральных диапазонах) их изучение.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения проводятся на телескопе Zeiss-2000 системы Ричи–Кретьена–Кудэ [4], который расположен на пике Терскол (Приэльбрусье, Северный Кавказ) на высоте 3100 м над уровнем моря. Поиск и анализ фотометрических характеристик объектов выполняется с использованием двухканального фокального редуктора Института аэрономии общества Макса Планка, позволяющего одновременно проводить наблюдения в нескольких спектральных диапазонах – от ультрафиолетового до инфракрасного – благодаря использованию различных фильтров и линз. В качестве приемников используются ПЗС-матрицы, охлаждаемые жидким азотом. В первом канале один пиксел соответствует $0.81''$, во втором – $1.0''$. Поле зрения прибора ограничено полевой диафрагмой и составляет $7.8' \times 5.2'$. Обработка изображений производится по стандартной методике, с вычитанием нулевого смещения и коррекции на плоское поле.

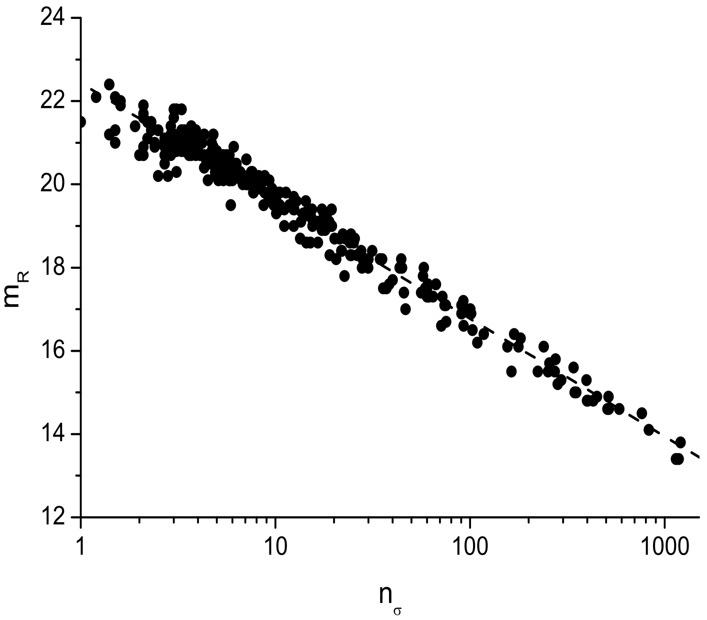
Наблюдать оптические послесвечения гамма-всплесков сложно по следующим причинам:

1) Невозможно заранее спланировать наблюдения гамма-всплесков из-за случайности этих явлений;

2) Оптическое послесвечение достаточно слабое, обычно слабее 20-ой звездной величины, поэтому для их наблюдений требуются безлунные ночи и очень хорошие атмосферные условия.

Поиск и отождествление объекта в оптическом диапазоне проводится после получения информации о гамма-всплеске по сети GCN (GRB Coordinate Network) [5].

Первый этап поиска – сравнение снимков поля гамма-всплеска с каталогом USNO. Обычно на снимках имеются объекты, отсутствующие в каталоге. Поскольку объекты оптического послесвечения гамма-всплесков являются затухающими, для дальнейшего поиска производится сравнение снимков данного поля, сделанных в разное время. Фотометрическая калибровка проводится либо с использованием звезд из каталога Ландольта [9], либо используются звезды поля гамма-всплеска по каталогу USNO. В случае отсутствия объекта оптического послесвечения следует поставить ограничение на его звездную величину. Общепринятой процедуры для этого нет, часто ограничение ставят по слабейшему объекту в поле (например [6]). Нами разработан метод, в котором используется измеренная зависимость звездой величины всех объектов поля от превышения над фоном в стандартных (пуассоновских) отклонениях. Предельной считается звездная величина, соответствующая двум стандартным отклонениям. На рисунке приведен пример такой зависимости для повторного наблюдения (15.11.2000) поля GRB 001109 в спектральной полосе R.



Зависимость звездной величины объекта от превышения над фоном в стандартных отклонениях для поля гамма-всплеска GRB 001109

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В течение 1999–2002 гг. проводился поиск оптических послесвечений шести гамма-всплесков. Все они наблюдались не более чем через сутки после получения информации по сети GCN и в благоприятных метеоусловиях. Результаты этих наблюдений представлены в таблице. Для всех шести гамма-всплесков оптическое послесвечение не было обнаружено, и был поставлен только верхний предел яркости.

Результаты наблюдений оптического послесвечения шести гамма-всплесков

GRB	1	2	3	4	5	6	7
991106 [7, 8]	3.2	06–11.11.99	2×120	Ландольт	22.3	20.8	23.5 [18]
000620 [10]	3.6	21–22.06.00	2×900	USNO	21.4	–	22.1 [19]
001109 [11]	2.5	09–15.11.00	2×300	Ландольт	20.6 [a] [12]	19.9 [12]	20.9 [20]
010103 [13]	60×6	06–7.03.01	3×300	USNO	21.5	–	21.5 [b]
011212 [14]	11	12–13.12.01	3×300	USNO	21.5 [16]	–	23.8 [21]
020409 [15]	3.2	10.04.02	2×600	USNO	22.0 [17]	–	23.5 [22]

Первая колонка – точность локализации в угловых минутах, вторая – период наблюдения, третья – время экспозиции в секундах, четвертая – каталог фотометрической калибровки, пятая – ограничение на звездную величину m_R, шестая – ограничение на m_I, седьмая – лучшее ограничение на m_R по данным сети GCN,

[a] – уточненная обработка, в сообщении [12] приведено $(m_R)_{lim} = 19.6$,

[b] – данная работа.

"ТЕМНЫЕ" ГАММА-ВСПЛЕСКИ

Отсутствие наблюдений оптического послесвечения γ-всплесков может быть вызвано следующими причинами:

1. Относительно большая ошибка координат гамма-всплеска или неблагоприятные условия наблюдения оптического послесвечения;

2. Расположение гамма-всплеска в направлении галактического диска или вблизи ярких звезд;

3. Крутой наклон оптической кривой при относительной задержке с наблюдением в несколько дней;

4. "Темные" гамма-всплески.

По данным GCN за 1997–2000 гг., из 40 точно локализованных GRB для 30 из них было возможно выполнение последующих наблюдений. В 90 % случаев было зарегистрировано рентгеновское излучение, в 50 % случаев – оптическое излучение и в 40 % случаев – радиоизлучение. Отсутствие оптического послесвечения не связано с ошибками наблюдения или плохими погодными условиями. Отсюда возникло определение "темных" гамма-всплесков как всплесков с хорошо определенными координатами, наличием рентгеновского (и/или радио) послесвесвечения, но с отсутствием оптического послесвечения до некоторой (зависящей от времени наблюдения) предельной зведной величины $(m_R)_{lim}$. Существует вполне понятный произвол в определении значения предельной зведной величины, в данной работе будем использовать $(m_R)_{lim}$=22.0^m для времени наблюдения в течении первых 12 часов после начала события. Первый "темный" γ-всплеск – GRB 970828 – был зарегистрирован как всплеск с ярким затухающим рентгеновским послесвечением при отсутствии оптического послесвечения до $R = 23.8$ во временном интервале $4-8$ часов после начала события [23].

Причины возникновения "темных" гамма-всплесков могут быть следующие:

1. Малая плотность окружающей среды (отсутствие оптического послесвечения как следстия взаимодействия ударной волны с окружаещим веществом).

2. Сильное поглощение света в пылевом окружении GRB. Если GRB действительно связаны с массивными объектами и находятся в области звездообразования, то в большинстве событий оптическое послесвечение поглощается пылью, в то время как рентгеновское излучение является более проникающим.

3. Гамма-всплески расположены на очень больших расстояниях с красным смещением $Z > 7$ и не видимы в оптической области [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 1999 г. на 2-м телескопе обсерватории Терскол проводятся наблюдения оптического послесвечения γ-всплесков, за это время проведены наблюдения для шести γ-всплесков. Для всех шести γ-всплесков поставлены ограничения на яркость объектов оптического послесвечения. Четыре из шести наблюдаемых GRB являются кандидатами на "темные" γ-всплески. Если гамма-всплески связаны с концом эволюции массивных звезд, то по меньшей мере часть из них должна возникать внутри пыльных звездоформирующих районов галактик. Следовательно, в таких районах неизбежно должны появляться "темные" γ-всплески. Это открывает возможность использовать статистику регистрации послесвечений для зондирования доли звездообразующих областей Вселенной и дает нам косвенный, но важный ключ к пониманию природы γ-всплесков и их прародителей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-16095) и ФЦП "Интеграция" (проект И0586/920).

[1] *Klebesadel R. W. et al.* // Astrophys. J.–1973.–**182**.–P. L85–L88.

[2] *McNamara B. J., Harrison T. E.* // Nature.–1998.–**396**.–P. 233–236.

[3] *Castro-Tirado A. J.* // Gamma-ray bursts in the afterglow era / Eds E. Costa, F. Frontera, J. Hjorth.–Springer-Verlag, 2001.–P. 121–126.

[4] *Tarady V., Yatskiv Ya.* The New 2m RCC Telescope in the Northern Caucasus for Modern Astronomical Research // Astron. and Astrophys. Transactions.–1997.–N 13.–P. 19–21.

[5] *Barthelmy S. D.* http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn/

[6] *Groot P. J. et al.* // Astrophys. J.–1998.–**493**.–P. L27–L30.

[7] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–1999.–**434**.

[8] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–1999.–**435**.

[9] *Landolt A. U.* // Astron. J.–1992.–**104**.–P. 340.

[10] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2000.–**716**, **717**, **718**.

[11] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2000.–**878**, **885**.

[12] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2000.–**891**.

[13] *Hurley K. et al.* // GCN Circ.–2001.–**909**.

[14] *Lamb D. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1194**.

[15] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1347**.

[16] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1206**.

[17] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1367**.

[18] *Masetti N. et al.* // GCN Circ.–1999.–**438**.

[19] *Gorosabel J. et al.* // GCN Circ.–2000.–**734**.

[20] *Greiner J. et al.* // GCN Circ.–2001.–**887**.

[21] *Saracco P. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1205**.

[22] *Rhoads J. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1362**.

[23] *Castro-Tirado A. J.* 2001.–astro-ph/0102122.

[24] *Lamb D. Q., Reichart D. E.* // Astrophys. J.–2000.–**536**.–P. 1–18.

Workshop E1

The Atmosphere: Monitoring and Quantifying

Convener: V. Ilyin

Editor: R. Kostik

STRATWARM AND SOLAR ACTIVITY

M. Lorenc

Slovak Central Observatory, P.O.Box 42, 94701 Hurbanovo, Slovak Republic
e-mail: lorenc@suh.sk

СТРАТОСФЕРНОЕ НАГРЕВАНИЕ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, Лоренц М. – Используя метод перекрывающихся эпох, мы изучали соотношение между распространением стратосферного нагревания и индексами солнечной активности по данным на значительном временном интервале 23-го солнечного цикла (1996–2000). По результатам анализа можно допустить, что в некоторых случаях распространение стратосферного тепла коррелирует с некоторыми индексами солнечной активности (например с коронарным индексом). Массив статистических данных, к сожалению, невелик, поэтому результаты анализа носят лишь информативный характер. Мы намерены продолжить исследование взаимосвязи солнечной активности и стратосферного нагревания.

Using the superposed epoch analysis the relation between the occurrence of the stratwarm and solar activity indices on the rising branch of the solar cycle 23 (1996–2000) was studied. The results obtained allowed us to conclude that in some cases the occurrence of the stratwarm could correlate with some indices of the solar activity (*e.g.* the coronal index). The statistical data set is unfortunately rather small and, therefore, the results are on the whole only informative. We intend to continue the investigation of the relationship between the solar activity and the stratwarm.

INTRODUCTION

It is evident that the solar variability influences on the Earth's climate (see, *e.g.*, [2]).

The variation in the Sun's total energetic output does not exceed usually the value of 0.1 % between periods of maximum and minimum activity over the 11-year solar cycle. The magnitude of the variations of the solar radiation is a strong function of wavelength, with the highest amplitude in the ultraviolet (UV, EUV) range.

Solar irradiance variations below 300 nm are especially important since the irradiance is totally absorbed in various layers of the Earth's atmosphere. Consequently, it plays a significant role in the heating the Earth's atmosphere and establishing its chemical composition through the photodissociation and photoionization processes [3]. The UV irradiance between 200 and 285 nm penetrates to the stratosphere and is the major source of the stratospheric heating and the ozone photodissociation. There is an evidence that ozone change is an influence on the climate. Reduction of ozone in the stratosphere changes the temperature distribution in the stratosphere and strongly influences the wind regime in the stratosphere that, in turn, affects the global climate.

The northern hemisphere winter stratosphere is characterized by the occurrence of midwinter sudden warmings [1]. Stratospheric sudden warmings (stratwarms) of differing intensity take place every winter with very few events occurring in any winter season. These warmings are characterized by rapid, eddy-forced increases in temperature at high latitudes. The major warmings generally occur ones or twice during the winter.

DATA AND METHOD OF PROCESSING

The initial data, characterizing the degree of coronal activity, were a homogenous data set of coronal index [4, 5] obtained from the daily measurements of the world-wide coronographic network. There is a good correlation between the green corona intensity and the solar irradiance in the UV/EUV spectral range [6].

The data of the total solar irradiance (TSI) "SOHO/VIRGO Total Solar Irradiance, 1996-Version 3.50 – Updated" were obtained from the Solar Geophysical Data (SGD) bulletin published by NOAA, U.S. Department of Commerce. Short time variations are probably caused mainly by the short wavelength region of the solar irradiance. The values of the Mg II index have been downloaded from the internet resources (NOAA, U.S. Department of Commerce, Space Environment Center). Solar Radio Flux data (10.7 cm) were obtained from the SGD.

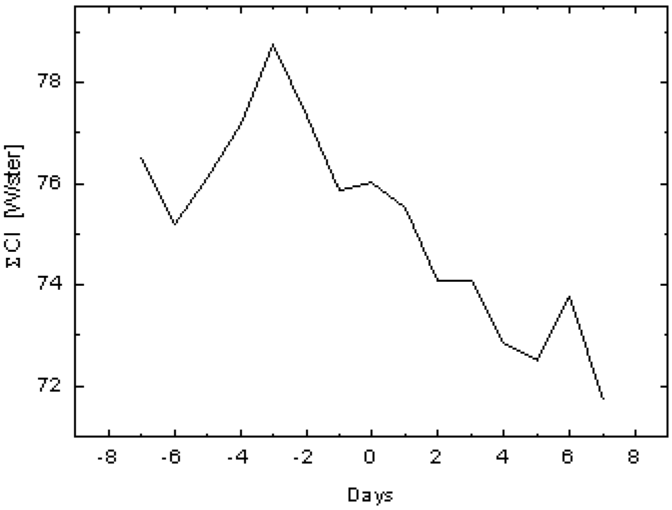


Figure 1. SPE analysis of the coronal index (CI)

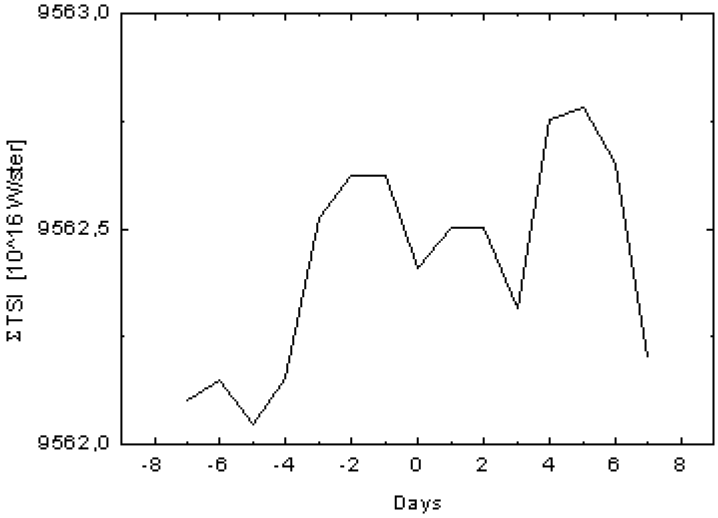


Figure 2. SPE analysis of the total solar irradiance (TSI)

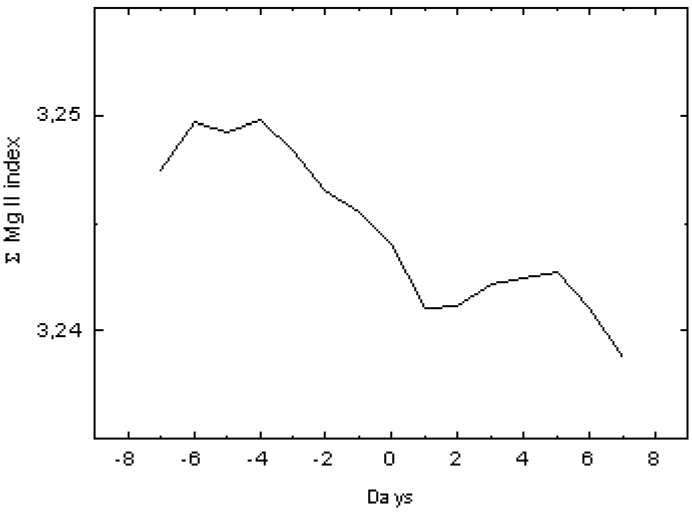


Figure 3. SPE analysis of the Mg II index

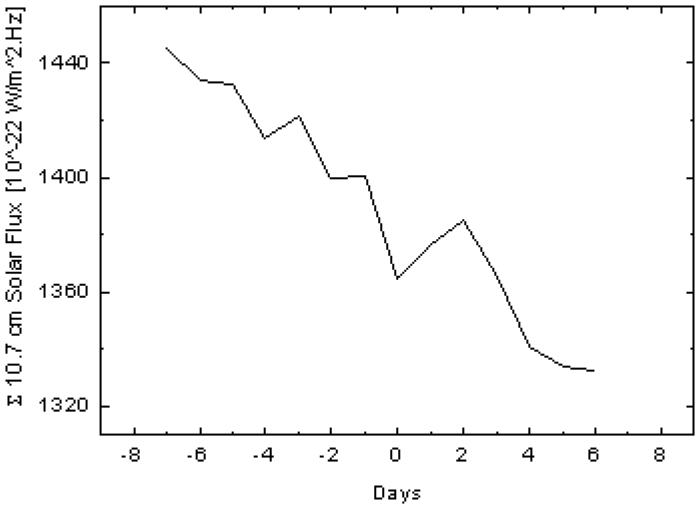


Figure 4. SPE analysis of the 10.7 cm Solar Flux

The stratwarm data were obtained from the SGD for the time period 1996–2000. The selection criterion which was used for the stratwarm data was the minimal duration of five days after an onset of the stratwarm (see Table).

The onset of the selected stratwarms for the time period 1996–2000

Year	Month	Day	Year	Month	Day
1996	01	10	1998	02	21
	02	19		12	06
	12	24	1999	02	18
1997	02	03	2000	02	03
	12	27		03	08
1998	02	02		12	08

The analysis was carried out using the superposed epoch analysis (SPE) in which the zero day has to be defined as the first day of the onset of a selected stratwarm.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The obtained curves of the SPE analysis are shown in Figures 1–4. The most significant correlation is between the coronal index (CI) and the stratwarm, and between the 10.7 cm Solar Radio Flux and the stratwarm, respectively. It is difficult to evaluate these results, simply due to the fact that there were just limited data sets available. It corresponds to the fact that the current knowledge on the studied influence may be insufficient to evaluate the effect of solar variability on the Earth's atmosphere.

[1] *Labitzke K.* Interannual variability of the winter stratosphere in the northern hemisphere // Mon. Weather Rev.–1977.–**105**.–P. 762.

[2] *Labitzke K., van Loon H.* Association between the 11-year solar cycle, the QDO, and the atmosphere. I. The troposphere and stratosphere on the northern hemisphere winter // J. Atmos. Terr. Phys.–1988.–**50**.–P. 197.

[3] *Rottman G. J.* Observations of solar UV and EUV variability // Adv. Space Res.–1988.–**8**, N 7.–P. 53.

[4] *Rybanský M.* Coronal index of solar activity // Bull. Astron. Inst. Czechosl.–1975.–**26**.–P. 367.

[5] *Rybanský M., Rušin V., Gašpar P., Altrock R. C.* Coronal index of solar activity // Solar Phys.–1994.–**152**.–P. 487.

[6] *Rybanský M.* // 2002.–private communication.

ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕГО И ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА

А. А. Велесь[1], А. В. Шаврина[1], М. Г. Сосонкин[1], В. А. Дячук[2]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: veles@mao.kiev.ua, shavrina@mao.kiev.ua, sosonkin@mao.kiev.ua

[2] *Институт гидрометеорологии (УкрНИГМИ), Киев, Украина*

Описывается методика и программное обеспечение для моделирования процессов формирования, стока и переноса тропосферного озона при реальных метеорологических и географических условиях. Детально рассматривается программный комплекс UAM-V, предназначенный для решения поставленной задачи. Приводятся результаты измерений общего содержания озона в атмосфере методом инфракрасной фурье-спектроскопии с использованием программы MODTRAN3, моделирующей перенос излучения в атмосфере.

TOTAL AND TROPOSPHERIC OZONE MEASUREMENT AND MODELING, by Veles A. A., Shavrina A. V., Sosonkin M. G., Dyachuk V. A. – The technique and software for modelling the formation, sinks and transport processes of tropospheric ozone in real meteorological conditions are described. The program UAM-V developed for solving these problems is considered in detail. The results of the total ozone measurements obtained by the infrared Fourier-spectroscopy method and simulated by the program for atmospheric transmission MODTRAN3 are discussed.

ВВЕДЕНИЕ

Для анализа спектров поглощения земной атмосферы в ГАО НАНУ создается комплекс программ, позволяющий определять концентрации загрязняющих веществ в городском приземном слое и предсказывать их локальные значения в зависимости от объема выброса загрязнителей точечными и объемными источниками в городском домене, а также от метеорологических условий и интенсивности солнечного излучения.

Как главные цели данной работы можно выделить следующие моменты: **мониторинг** озона и сопутствующих газов и **прогноз** опасных озоновых эпизодов. Решение поставленной задачи можно разбить на несколько этапов:

– измерения;
– моделирование;
– сравнение модели с наблюдениями;
– предсказание эпизодов.

На сегодняшний день программный комплекс включает два типа программ.

I. Программы для определения концентраций загрязнителей в нижних слоях атмосферы.

1. FLUX – моделирует спектры поглощения на горизонтальной трассе для заданных концентраций загрязняющих веществ, решает т. н. прямую задачу (создана в Главной геофизической обсерватории, Россия).
2. FITFAST – решает обратную задачу, т. е. находит концентрации загрязнителей из наблюдаемого спектра автоматически, подбирая их путем моделирования (создана в ГАО НАНУ).
3. MODTRAN – рассчитывает потоки (спектры) излучения, прошедшего земную атмосферу с учетом ее стратификации (физических параметров и концентраций основных и загрязняющих газов), создана в Air Force Geophysical Laboratory (США).

II. Программы для моделирования распространения загрязнений в нижних слоях атмосферы (тропосферы).

1. UAM-V – “Модель городского ангара”, разработана в SAI – Международном центре применения систем для моделирования качества воздуха с учетом фотохимии. Подробное описание модели дается ниже.
2. PMM – “Прогностическая метеорологическая модель”, разработана тоже в SAI.

ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения общего содержания озона фурье-спектрометром ГАО НАН Украины с помощью программы MODTRAN. Для определения общего содержания озона использовался программный комплекс MODTRAN, который разрабатывался и совершенствовался коллективом AGFL на протяжении 2–3 десятилетий. Программа MODTRAN3 была получена нами благодаря любезности д-ра Гэйл Андерсон. В настоящее время она широко применяется для интерпретации как наземных наблюдений спектров земной атмосферы, так и баллонных и спутниковых наблюдений (см. например [6]). Модель позволяет рассчитывать атмосферное пропускание и излучение для частот от 0 до 50 000 см$^{-1}$, используя сферическую геометрию, функции источника для Солнца и Луны, учитывая однократное и многократное рассеяние и атмосферные профили газов, аэрозолей, облаков, туманов и дождя. Для расчетов применяется двухпараметрическая (температура и давление) модель молекулярной полосы, которая использует большой массив предварительно накопленных данных, выведенных на основе параметров спектральных линий из базы данных HITRAN96 [3] для 13 молекул (H_2O, CO_2, O_3, CO, CH_4, O_2, NO, SO_2, NO_2, NH_4 и HNO_3), и, кроме того, использует сечения поглощения для тяжелых молекул – CFC (9 молекул) и $ClONO_2$, HNO_4, CCl_4 и N_2O_5). При расчетах применялась стандартная летняя модель атмосферы для средних широт с 36 слоями. При определении общего содержания вводилась параметризация вертикального профиля концентрации:

$$\omega_g = c_g \int_j n_{0j}(z)dz, \tag{1}$$

где $n_{0j}(z)$ – модельный вертикальный профиль концентрации, ω_g – общее содержание газа, c_g – определяемый параметр.

Определение параметров производилось на основе минимизации средней квадратичной невязки, вызванной рассогласованием между измеренными и рассчитанными с помощью программы MODTRAN значениями сигнала [1]. Результаты определения общего содержания озона на основе измерений 17, 18 и 19 июля 2001 г. приведены на рис. 1.

Полученные результаты неплохо согласуются с данными как спутниковых измерений TOMS [2], так и с измерениями государственной сети мониторинга в Киеве на озонометре M124. Сводные усредненные за день данные приводятся в таблице. Качество совпадения реального и модельного спектров иллюстрирует рис. 1.

Сравнение измерений общего содержания озона в ГАО с данными других приборов

Дата	17.07.2001	18.07.2001	19.07.2001
Прибор	Содержание озона, DU		
TOMS	308 ± 7	319 ± 7	316 ± 7
M124	310 ± 16	319 ± 15	323 ± 16
Спектрометр ГАО	313 ± 16	322 ± 17	295 ± 25

Измерения содержания приземного озона в Центральном ботаническом саду Киева. Мониторинг концентраций озона в приземном слое выполнялся в Центральном ботаническом саду НАНУ в Киеве [4]. На рис. 2 представлены почасовые измеренные концентрации O_3 в период с сентября 2000 г. по июль 2001 г. Очевидно почти постоянное превышение максимально допустимой среднесуточной концентрации (30 мкг/м^3 или $15 \cdot 10^{-9}$), действующей на Украине [7].

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА МОДЕЛИ UAM-V И ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Так называемая “Модель городского ангара” (UAM) была разработана в SAI (System Application International) и поддерживается свыше 25 лет. Ее создание относится к первым попыткам фотохимического моделирования качества воздуха в начале 1970-х годов.

UAM-V представляет собой фотохимическую модель с трехмерной сеткой координат для расчета концентраций как инертных, так и химически активных загрязнителей, которая учитывает физические и химические процессы в атмосфере, влияющие на концентрации загрязнителей.

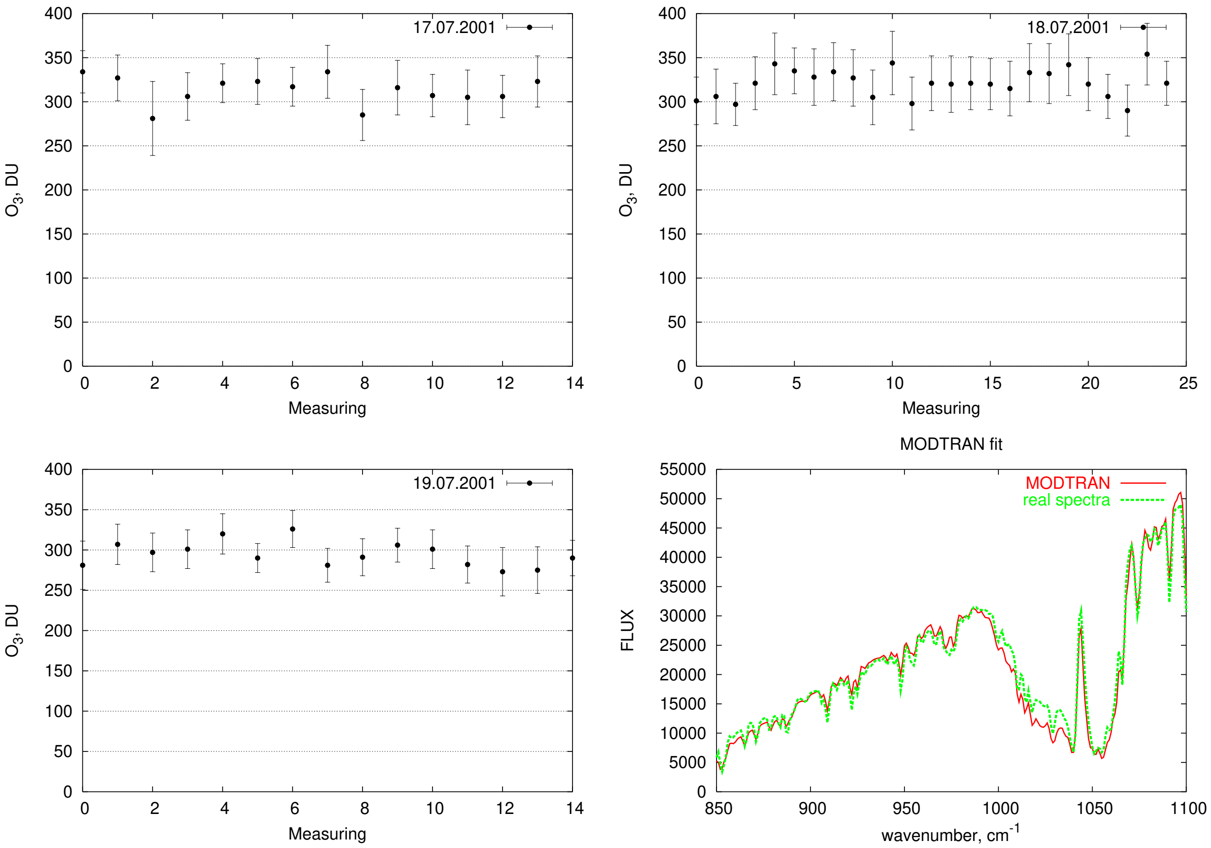


Рис. 1. Результаты определения общего содержания озона на основе измерений 17, 18 и 19 июля 2001 г.

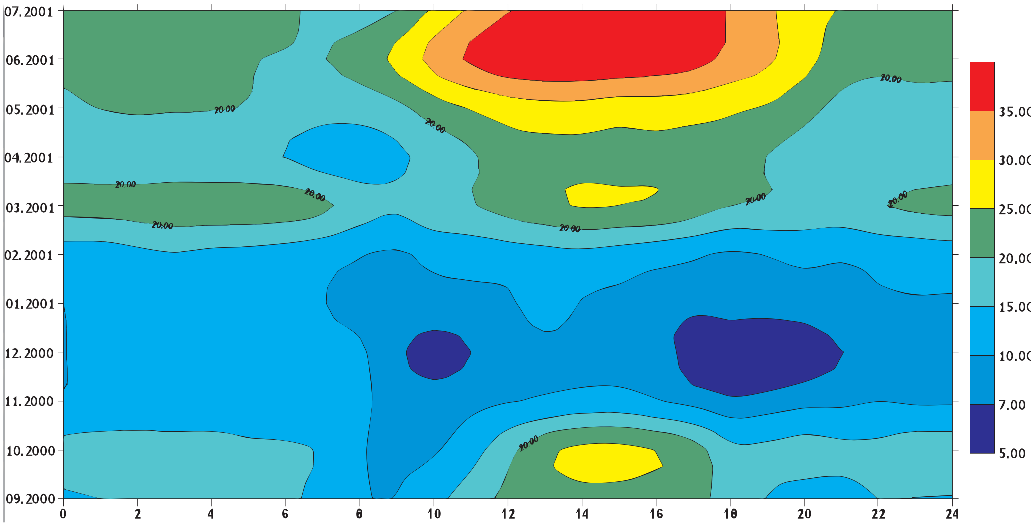


Рис. 2. Сезонный и суточный ход содержания озона в 10^{-9} (сентябрь 2000 – июль 2001 гг.)

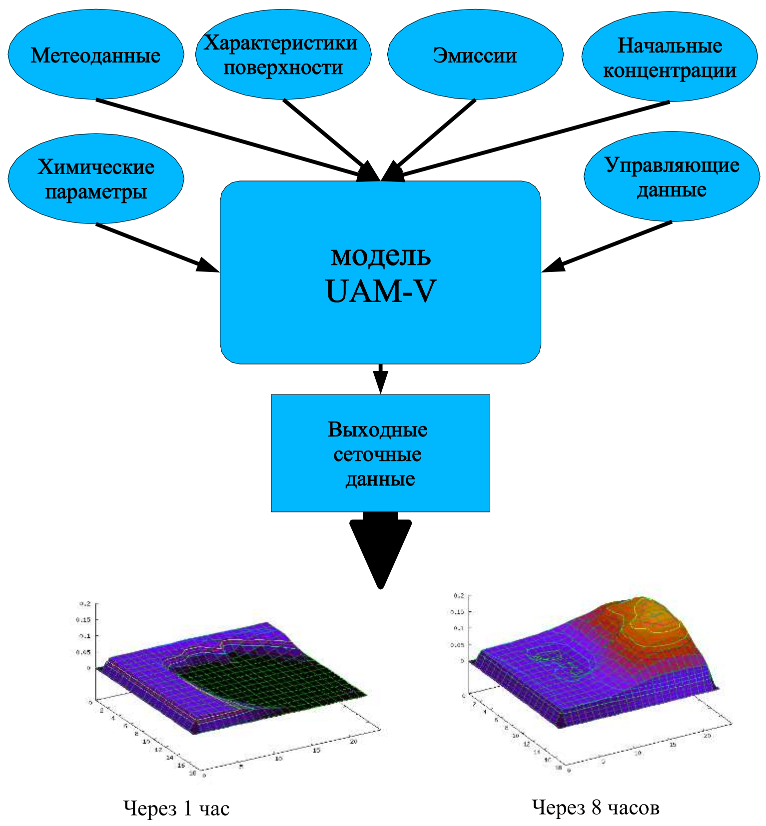


Рис. 3. Структура входных и выходных данных программы UAM-V.

Основу модели составляет математическое описание процессов диффузии и химических реакций с учетом эмиссий, сухого и влажного осаждения загрязняющих веществ. Для решения уравнений химической кинетики используется так называемый механизм углеродных связей, который позволяет разбить органические соединения на группы в зависимости от химических функциональных групп (парафины, олефины, кетоны и др.) и тем самым уменьшить на порядок количество рассматриваемых реакций. Так, используемый последней версией UAM механизм углеродных связей с включением токсических соединений CB-IV-TOX учитывает 100 реакций для более чем 30 химических соединений, в том числе реакции фотолиза для 7 соединений (NO_2, O_3, $HCHO_r$, $HCHO_s$, ацетальдегид, акролеин и группа альдегидов ALDX).

Модель UAM-V используется для расчетов концентраций озона, но может быть использована также для моделирования концентраций других малых газовых составляющих в атмосфере и для расчетов, которые не включают никаких химических реакций. В модели решается система уравнений непрерывности для соединений методом фракционных шагов, в котором вычисления производятся в следующем порядке:

1) с фиксированным временным шагом (обычно 3 часа) вводятся новые скорости эмиссий,

2) решаются уравнения горизонтальной адвекции/диффузии,

3) решаются уравнения вертикальной адвекции/диффузии и осаждения и уравнения для химически активных соединений,

4) выполняются расчеты химических преобразований.

Эта 4-ступенчатая процедура решения уравнений особенно удобна для оценки влияния эмиссионного сценария на качество городского воздуха. Обычно моделируют эпизоды повышенных концентраций озона, которые наблюдались (обычно 2–3 дня). Входные файлы для модели готовятся по наблюденным метеорологическим данным с учетом орографии выбранного домена,

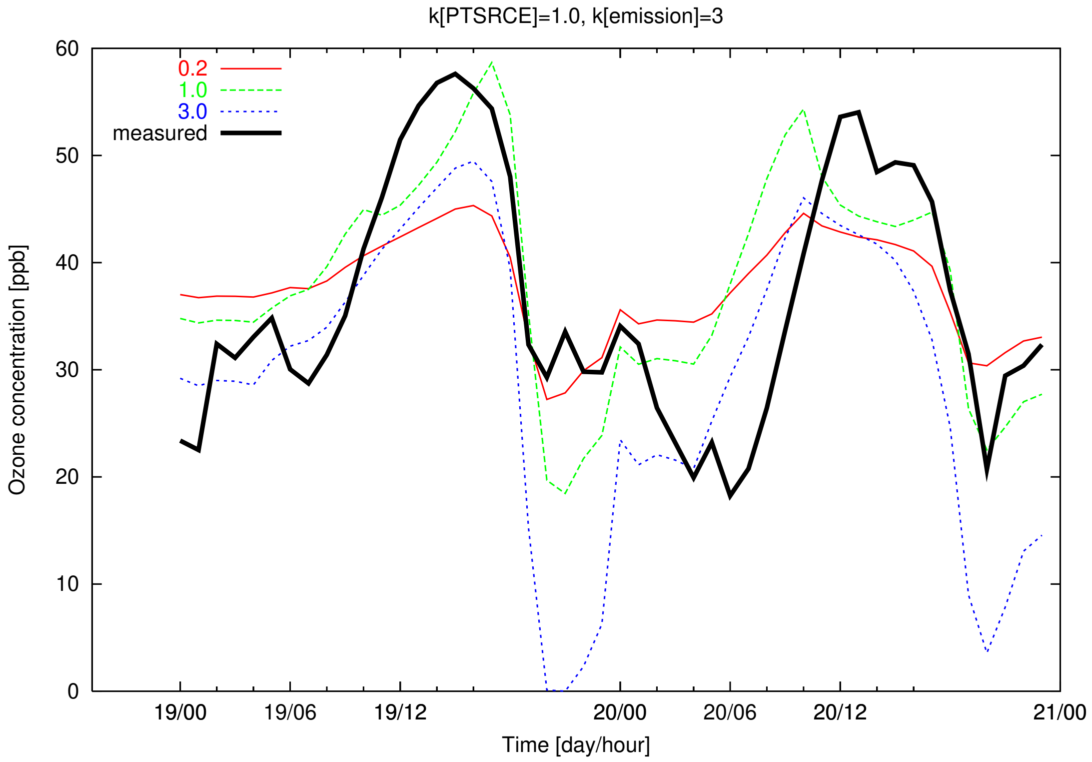


Рис. 4. Концентрации озона 19–20 августа 2000 г. по данным измерений (сплошная линия) и по результатам моделирования (прерывистые линии) со шкалированными эмиссиями NO_x (в 0.2, 1.0 и 3.0 раза)

используя прогностическую метеорологическую модель, данным по эмиссиям и качеству воздуха (измерения Гидрометслужбы для Киева) для отдельного дня или группы дней. Схематическое представление структуры входных и выходных данных дается на рис. 3.

На рис. 4 жирной сплошной линией показаны результаты измерений хода концентрации озона в течение 19–20 августа 2000 г. Прерывистыми линиями показаны результаты моделирования концентрации озона для различных уровней эмиссий NO_x (в 0.2, 1.0 и 3.0 раза).

Кроме оценки озоновых концентраций при текущих уровнях эмиссий, модель может использоваться также и для предсказания влияния на качество воздуха проектируемого снижения уровней эмиссий в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа выполняется в рамках Европейской программы EUREKA, проект EUROTRAC-2, подпроект SATURN, основной задачей которых является изучение распределения загрязнений атмосферы как в региональном масштабе, так и в масштабе крупного европейского города. Эта задача требует как разработки адекватных методов измерений концентраций загрязняющих веществ, так и усовершенствования модельных методов изучения диффузии загрязняющих веществ антропогенного и биогенного происхождения и образования вторичных загрязнителей. Физико-химические процессы формирования повышенных уровней тропосферного озона в сочетании с влиянием метеорологических условий в южных европейских городах стали предметом изучения нового подпроекта FOSEC.

Отрабатываемые в ГАО НАНУ методы измерения с помощью инфракрасного фурье-спектрометра, а также быстрой обработки наблюдений и мониторинга загрязнений атмосферы вместе с методами моделирования диффузии этих загрязнений для Киева представляются очень актуальными. Особый интерес представляет изучение режима формирования озона в разных районах Киева и его окрестностях, то есть является ли концентрация озона чувствительной к ограничению содержания в нижних слоях атмосферы окислов азота или летучих органических соединений. Эта задача важна как для прогнозирования эпизодов повышенных уровней приземного озона, который опасен для здоровья человека и вегетации растений и урожаев зерновых культур, так и для выработки политики регулирования концентраций озона путем ограничения выбросов NO_x или летучих органических соединений.

Созданный в ГАО НАНУ комплекс программ позволяет решать поставленные задачи. Начаты эпизодические измерения инфракрасных спектров атмосферы с помощью фурье-спектрометра, которые планируется перевести в регулярный мониторинг в следующем году, ведется их обработка по программам FLUX, FITFAST и MODTRAN. Проводятся регулярные измерения концентрации приземного озона в Центральном ботаническом саду НАНУ с помощью ультрафиолетового озонометра. Выполняются модельные расчеты распространения загрязнений в конкретных условиях интенсивностей выбросов и метеорологических параметров, с использованием диффузионных моделей, и начаты расчеты для описания наблюдаемых озоновых эпизодов с учетом фотохимических процессов по программе UAM-V. Четырехмерное моделирование синоптической ситуации для использования выходных данных для расчетов с UAM-V проводится с помощью "Прогностической метеорологической модели" (PMM).

[1] *Goldman A., Fernald F. G., Murcrey F. J., et al.* Spectral least squares quantification of several atmospheric gases from high resolution infrared solar spectra obtained at South pole // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.–1983.–**29**, N 3.–P. 189–204.

[2] *McPeters R. D., Bhartia P. K., Krueger A. J., et al.* Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Data Products User's Guide // NASA Technical Publ. 1998-206895.

[3] *Rothman L. S., Rinsland C. P., Goldman A., et al.* The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS (HITRAN Atmospheric WorkStation): 1996 edition // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.–1998.–**60**, N 5.–P. 665–710.

[4] *Sosonkin M. G., Shavrina A. V., Veles A. A., et al.* The study of surface ozone for Kiev city // Urban Air Quality: Proc. 4th Intern. Conf., Prague, Czech Republic, March 25–27, 2003.–P. 106–109.

[5] The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL / Eds L. W. Abreu, G. P. Anderson.–1996.

[6] *Wang J., Anderson G. P.* Validation of FASCOD3 and MODTRAN3: Comparison of Model Calculations with Interferometer Observations from SPECTRE and ITRA, in Passive Infrared Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere II // Appl. Opt.–1996.–**35**.–P. 6028–6040.

[7] Руководство по контролю загрязнения атмосферы.–Л.: Гидрометиздат, 1979.–448 с.

ТРОПОСФЕРНЫЙ ОЗОН КАК ОПАСНЫЙ ЗАГРЯЗНИТЕЛЬ АТМОСФЕРЫ

А. В. Шаврина[1], А. А. Велесь[1], В. А. Дячук[2], М. Г. Сосонкин[1]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: shavrina@mao.kiev.ua, veles@mao.kiev.ua, sosonkin@mao.kiev.ua

[2] *Институт гидрометеорологии (УкрНИГМИ), Киев, Украина*

Рассмотрено отрицательное воздействие тропосферного озона на вегетацию растений и здоровье человека. Дается описание процессов формирования озона в приземном слое атмосферы. Делается вывод о целесообразности создания станции мониторинга состава атмосферы на пике Терскол для изучения процессов переноса загрязнений воздуха и стратосферно-тропосферного обмена.

TROPOSPHERIC OZONE AS DANGEROUS POLLUTANT, by Shavrina A. V., Veles A. A., Dyachuk V. A., Sosonkin M. G. – Adverse impact of the tropospheric ozone on human health and vegetation is considered. Ozone formation in the ground level of the atmosphere is described. The expedience of creating an monitoring station on Terskol Peak to study the air pollution transfer processes as well as the stratosphere-troposphere exchange is substantiated.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая производственная активность человека влечет за собой усиление воздействия на окружающую среду. Атмосфера как наиболее уязвимая часть нашей среды обитания быстро подвергается изменениям, вызванным как потреблением ее составляющих, так и выбросами различных загрязняющих примесей. Эти изменения регистрируются по прошествии небольшого промежутка времени на значительных расстояниях. Последствия антропогенного воздействия на атмосферу проявляются в самых разных масштабах – от изменений климата до реакций отдельных живых организмов.

Понимание проблем загрязнения атмосферы невозможно без всестороннего изучения процессов формирования и разрушения атмосферного озона. Озон есть в атмосфере на всех высотах и в тропосфере, и в стратосфере, причем характер воздействия озона на живые организмы принципиально отличается в зависимости от его локализации. Стратосферный озоновый слой защищает жизнь на Земле от губительного воздействия жесткого ультрафиолетового излучения, он был предметом политики и беспокойства общественности в течение многих лет.

Тропосферный же озон, наоборот, рассматривается как загрязнитель, и законодательства всех промышленно развитых стран ставят жесткие ограничения на концентрации озона в воздухе. Озон – мощный окислитель, вызывающий химические реакции разрушения многих материалов. Озон открыт сравнительно недавно – в 1840 г., но уже во второй половине XIX столетия в Европе велись регулярные измерения уровней приземных концентраций. Примером этому – наблюдения 1884–1900 гг., проводимые дважды в день в иезуитской семинарии на Мальте. Среднемесячные значения в то время были меньше современных в пять раз и имели зимне-весенний максимум и минимум поздним летом.

ДЕЙСТВИЕ ОЗОНА НА ВЕГЕТАЦИЮ РАСТЕНИЙ

Озон ядовит для любого живого существа и не может использоваться где-либо при нормальном метаболизме, как это имеет место в случае многих других загрязнителей воздуха типа окислов азота, аммиака, или двуокиси серы, которые могут использоваться растениями как питательные вещества, если они есть в воздухе в низких концентрациях.

Из всех веществ, загрязняющих атмосферу, наибольший ущерб растительности наносит озон. И в США, и во всем мире приблизительно 90 % потерь растительности вследствие загрязнения воздуха объясняется наличием озона. Воздействие озона на поверхность листьев растений обычно характеризуется хлорозом верхней поверхности листьев (пожелтение). При очень высоких концентрациях на листовой ткани появляются небольшие омертвевшие участки. Однако наиболее сильное действие озона происходит после поглощения его листьями растений. В результате разрушения поглощенного озона возникают свободные радикалы. Выработки эффективных антиоксидантов при этом не происходит, поскольку растения не имели возможности "учиться" в процессе эволюции, как защититься против тропосферного озона. Помимо возникновения повреждений листьев в некоторых семействах, озон приводит вообще к более раннему началу старения листьев. Любая энергия, потраченная на механизмы ремонта на клеточном уровне, и любое влияние на долговечность листьев негативно воздействуют на углеродный баланс растения, что в конечном счете, как показали многочисленные эксперименты, ведет к потерям в росте и урожае зерновых культур.

Воздействие озона на сельскохозяйственные зерновые культуры особенно интенсивно изучалось в течение последних 25 лет. Национальная сеть оценки потерь урожая (NCLAN) провела всестороннее исследование воздействия озона на главные сельскохозяйственные зерновые культуры в Соединенных Штатах – пшеницу, сою и хлопок [1]. Над посадками на сельскохозяйственном поле были установлены большие камеры, состав атмосферы в которых мог формироваться искусственно. Количество озона в воздухе камер изменялось от нулевого (фильтрацией древесным углем) до уровня, вдвое превышающего уровень в окружающем воздухе. Были созданы восемь идентичных станций по всей территории США, проверяющих реакцию зерновых культур на озон при идентичных условиях. На основании данных этого многолетнего эксперимента экономистами по сельскому хозяйству были рассчитаны затраты и производителей (земледельцев), и потребителей (населения) при различающихся по качеству воздуха сценариях. Общие экономические потери (производитель + потребитель) при реальных уровнях качества воздуха по сравнению с улучшенными приблизительно на 25%, были почти 1.6 млрд долларов в год. Подобные оценки для Калифорнии, лидирующего национального сельскохозяйственного штата, составляют 100–500 млн долларов недополученных доходов каждый год только за счет озона. Ясно, что воздействие озона на сельскохозяйственные системы значительно, и выгоды от управления уровнями концентраций озона очевидны.

Очевиден и отрицательный эффект озона на уровне семейств растений и экосистем в силу значительных различий в реакции на озон между семействами и даже между генотипами того же самого семейства. Озон оказывает изменяющееся внешнее влияние на взаимодействия в пределах семейств растений и экосистем.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОЗОНА НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРГАНИЗМ

У человека вредному воздействию озона подвержены главным образом дыхательные пути. Реакция организма зависит от концентрации озона и времени экспозиции и, при превышении норм, может проявляться в виде боли в грудной клетке, кашля и хрипов, скопления слизи в легких и носоглотке, затрудненного дыхания, тошноты, раздражения слизистых оболочек носа и глаз. Во всех промышленно развитых странах озон включен в перечень наиболее токсичных веществ, подлежащих обязательному контролю в приземном слое атмосферы. Например, согласно стандарту США (NAAQS) количество озона в воздухе при ежедневной экспозиции не более одного часа не должно превышать $0.12 \cdot 10^{-6}$ или 0.235 мг/м^3 (для Украины – $0.08 \cdot 10^{-6}$).

Превышения могут привести к необратимым изменениям в легких. Эффекты усиливаются при наличии в воздухе других загрязнителей и вирусных инфекций. На рис. 1 показано общее количество людей, живущих в тех округах США, в воздухе которых превышены концентрации наиболее распространенных загрязнителей. Видно, что существенно большая часть населения подвержена воздействию озона, чем воздействию других загрязнителей.

Болезни легких и сердца повышают восприимчивость индивидуума к действию воздушного загрязнения. Статистически подтверждено повышение числа приступов астмы при повышении концентрации озона. Озон плохо растворим в воде, поэтому он не связывается слизью легкого, проникая в самые глубокие незащищенные участки.

Дети подвержены большей опасности от воздействия озона, особенно летом, поскольку они проводят много времени вне помещений. Кроме того, физические нагрузки приводят к учащению дыхания и тем самым увеличению количества озона, поступившего в организм.

Повторные или длительные экспозиции повышенных концентраций озона могут приводить к необратимым хроническим травмам легких [3]. В экспериментах над животными было обнаружено, что озон увеличивает восприимчивость к бактериальной пневмонии. Имеются также

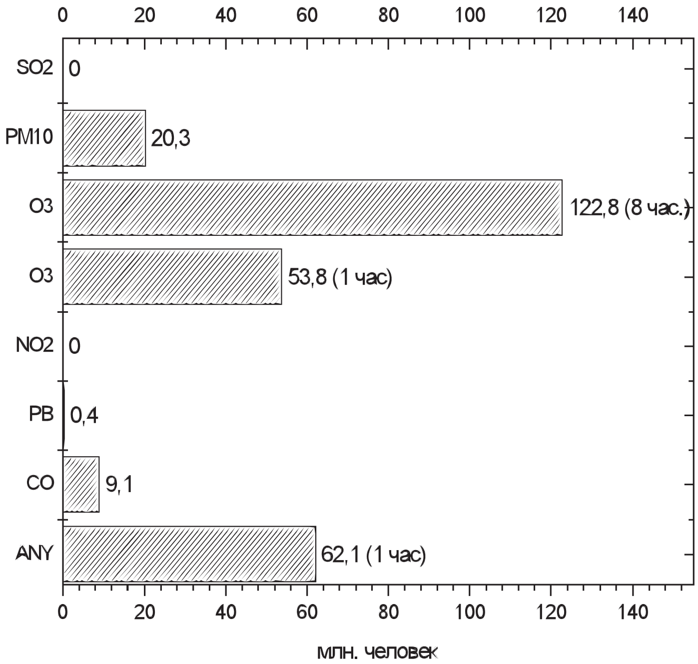


Рис. 1. Количество людей, живущих в округах США, где превышены концентрации наиболее распространенных загрязнителей. Метками (1 час) и (8 час) показаны концентрации, при которых допустимы экспозиции, не более одного и восьми часов соответственно

экспериментальные данные, предполагающие, что печень, центральная нервная система, кровь (действие озона на кровь подобно действию ионизирующего излучения) и эндокринная система – все может подвергнуться воздействию озона не только как сильнодействующего яда, но и как мутагена и канцерогена.

ФОРМИРОВАНИЕ ОЗОНА В ТРОПОСФЕРЕ

Многообразие последствий отрицательных воздействий озона как на человека, так и на окружающую среду обусловило повышенное внимание к тенденциям изменения его концентрации. По данным [4] содержание озона в тропосфере за последние 30 лет возросло в среднем на 60 %. Рис. 2 демонстрирует постоянный рост количества озона в приземном слое в течение последних столетий. Увеличение концентрации озона в тропосфере происходит не само по себе, а является отражением расширения набора озонообразующих фотохимических реакций, обусловленного развитием промышленной индустрии. Сопутствующие использованию новых технологий выбросы (до 60 000 различных веществ [5]) существенно увеличили количество первичных примесей воздуха, а также расширили число фотохимических реакций в атмосфере, в которых может образоваться или участвовать озон. Экспертная группа по химической кинетике CODATA/IUPAC в своем обзоре по фотохимии атмосферы рекомендует учитывать более 400 таких реакций при численном моделировании [2].

Таким образом, озон, являясь продуктом и участником фотохимических реакций, играет ключевую роль в фотохимии атмосферы. Не случайно ряд международных организаций, таких как ВМО, ВОЗ и др., рекомендует оценивать качество воздуха населенных районов на основании данных мониторинга концентрации озона.

Известно, что озон производится фотодиссоциацией O_2 излучением с длиной волны короче чем 242 нм. Такое коротковолновое излучение имеет место только в стратосфере, а в тропосфере этот механизм невозможен. Многочисленные исследования, проводимые с середины прошлого столетия, позволили обнаружить другие пути образования озона в тропосфере:

$$\mathrm{NMHC} + \mathrm{NO} + h\nu = \mathrm{NO_2} + \text{другие соединения}, \tag{1}$$

где NMHC – неметановые углеводороды (как антропогенного, так и биогенного происхождения), $h\nu$ – квант с энергией меньше 410 нм.

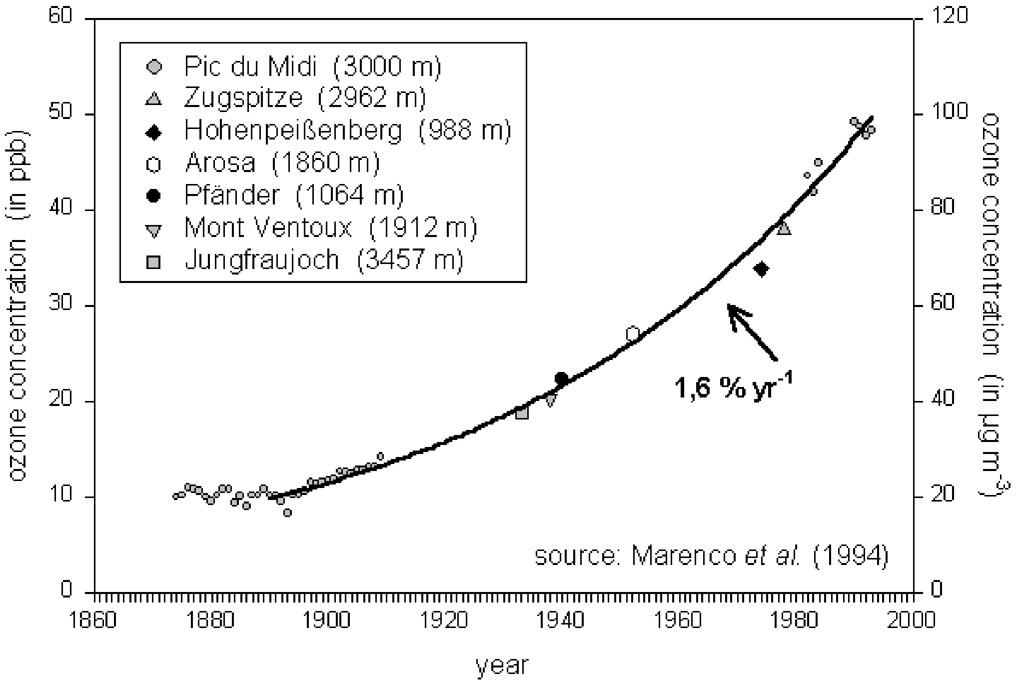


Рис. 2. Динамика роста количества озона в приземном слое в течение последних столетий

Под воздействием солнечного излучения NO_2 диссоциирует с образованием O:

$$NO_2 + h\nu\ (\lambda < 410\ \text{нм}) = NO + O(3P), \qquad (2)$$

далее происходит рекомбинация O с молекулярным кислородом с образованием озона:

$$O + O_2 + M = O_3 + M. \qquad (3)$$

В отсутствие солнечного излучения (ночное время) доминирует обратная реакция

$$NO + O_3 = NO_2 + O_2. \qquad (4)$$

Цикл реакций (1) – (4) не приводит к накоплению озона. Очевидно, что озон будет производиться в том случае, если NO будет конвертироваться в NO_2 не посредством O_3, а другим путем. Такая возможность была открыта в 1971 г. – реакции с участием радикала гидроксила:

$$O_3 + \mathrm{h}\nu\ (\lambda < 310\ \text{нм}) = O(1D) + O_2,$$
$$O(1D) + H_2O = 2HO.$$

Радикал гидроксила, как известно, реагирует с большим количеством молекул, в том числе – углеводородов:

$$RH + HO = R + H_2O,$$

где R – обозначение для любого органического фрагмента, например C_2H_5. Далее:

$$R + O_2 + M = RO_2 + M,$$
$$RO_2 + NO = NO_2 + RO.$$

В последней реакции, как и в (4), NO окисляется с образованием NO_2, но без разрушения озона. В результате при достаточном количестве NO_x ($NO{+}NO_2$) и NMHC может резко повышаться содержание озона.

Надо отметить, что нет прямо пропорциональной зависимости между концентрациями озона и содержаниями NO_x и NMHC (или летучими органическими соединениями), как показано, например, в работах [6–8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В международном сообществе есть понимание необходимости значительных усилий по сохранению среды обитания согласованными межнациональными действиями. Этим объясняется наличие многочисленных общеевропейских и мировых программ, задачей которых является исследование и моделирование озоновой ситуации. Такие программы имеют общую конечную цель – избежание экстремальных озоновых эпизодов. Европейская сеть мониторинга тропосферного озона состоит из более чем 1700 станций разной локализации (городской, пригородной и др.) практически по всей территории [9].

Изучение крупномасштабных процессов вариации концентрации приземного озона проводится с помощью измерений на фоновых станциях, удаленных от мест, в которых есть условия для возникновения фотохимических процессов. На таких станциях, как правило, измеряется приземная концентрация озона, общее содержание и высотное распределение озона, концентрации прекурсоров озона, аэрозольная составляющая. При этом же контролируются метеопараметры и уровни солнечной радиации. Определению фоновые наиболее соответствуют высокогорные станции, однако в европейской сети их недостаточно, и сконцентрированы они в основном в Альпах. Увеличение концентрации озона в условиях высокогорных станций может объясняться горизонтальной адвекцией загрязненного воздуха, а также стратосферно-тропосферным обменом. Стратосферный воздух наиболее часто вторгается в тропосферу в областях штормовых треков в средних высотах в виде узких интрузий, при этом большая часть воздуха быстро возвращается в стратосферу. Предполагается, что до 15–18 % тропосферного озона поступает из стратосферы. Кроме того, приходится принимать во внимание и производство озона вследствие эмиссий в долинах.

Первые попытки организации в Приэльбрусье исследований тропосферного озона относятся к концу 1940-х – началу 1950-х гг. На Северном Кавказе давно и успешно работает Кисловодская высокогорная станция Института физики атмосферы РАН. Географическое расположение и развитая научно-техническая инфраструктура, отсутствие значимых источников антропогенного загрязнения воздуха, отсутствие вблизи источников летучих органических веществ – все это представляет собой довольно удачный комплекс условий для станции озонового мониторинга на пике Терскол. Организация на такой станции широкомасштабного изучения процессов стратосферно-тропосферного обмена и мезоконтинентального переноса озона и его предшественников, аналогично Альпийским станциям (например Jungfraujoch, Zugspitze [10]), могло бы способствовать созданию действенной сети европейских высокогорных станций.

[1] *Brown M., Cox R., Bull K. R., et al.* Quantifying the fine-scale (1 km × 1 km) exposure, dose and effects of ozone. 2. Estimating yield losses for agricultural crops // Water, Air and Soil Pollution.–1995.–**85**.–P. 1485–1490.

[2] *Белан Б. Д.* Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // Оптика атмосферы и океана.–1996.–**9**.–№ 9.–С. 1184–1215.

[3] Joint report EEA, WHO.–2002.–N 29.

[4] *Hoppe P.* // Wetter and Leben.–1993.– **45**, N 3.–P. 1–17.

[5] *Дарда Л. В.* // Обзор НИИТЭИХП.–М., 1983.–76 с.

[6] *Lin S. C., Trainer F. C., Liu S. C.* On the nonlinearity of the tropospheric ozone production // J. Geophys. Res.–1988.–**93**.–P. 15879–15888.

[7] *Stockwell R. W.* // J. Geophys. Res.–1990.–**95**.–P. 16343–16367.

[8] *Sillman S., Logan J. A., Wofsy S. C.* The sensitivity of ozone to nitrogen oxides and hydrocarbons in regional ozone episodes // J. Geophys. Res.–1990.–**95**.–P. 1837–1851.

[9] EEA, topic report 6/2002 (http://reports.eea.eu.int/topic_report_2002_6).

[10] http://www.boku.ac.at/imp/votalp/index.html.

Workshop E2

Space Debris

Convener: L. Rykhlova

Editor: D. Lupishko

О МИГРАЦИИ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ОБНАРУЖЕНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ, ВКЛЮЧАЯ ФРАГМЕНТЫ “КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА”

А. В. Багров[1], Е. С. Баканас[1], С. И. Барабанов[1], Г. Т. Болгова[1], А. М. Микиша[1], Л. В. Рыхлова[1], В. К. Тарадий[2], А. В. Сергеев[2]

[1] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*
e-mail: baraban@inasan.rssi.ru
[2] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
e-mail: terskol@burbonz.nalnet.ru

В настоящее время вырос интерес к малым телам Солнечной системы. Это обусловлено двумя основными причинами. Первая – активно обсуждаемая проблема астероидно-кометно-метеороидной опасности вообще и для земной цивилизации в частности. В связи с этим основными задачами при изучении Солнечной системы являются понимание эволюции и путей миграции малых тел. Вторая причина – это качественно новый уровень наблюдательной техники в астрономии например ПЗС-камеры. Был проведен поиск тел метрового и декаметрового диапазона в болидных и метеорных потоках. Количественная оценка потенциально опасных тел в потоках для Земли была сделана на основе совместного исследования метеорных и болидных потоков. Наблюдения вблизи радианта метеорных и болидных потоков позволяют детектировать потенциально опасные объекты метрового и декаметрового размера. Рассматривается возможность существования тел в окрестностях точек либрации Сатурна. Проведены поисковые наблюдения объектов в этих областях. Представлены используемая техника наблюдений и полученные предварительные результаты.

ABOUT MIGRATION OF SMALL SOLAR SYSTEM BODIES AND DETECTION OF POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECTS AND SPACE DEBRIS FRAGMENTS, by Rykhlova L. V., Bagrov A. V., Bakanas E. S., Barabanov S. I., Bolgova G. T., Mikisha A. M., Tarady V. K., Sergeev A. V. – Nowadays interest is growing in the population of small bodies in the Solar System. It is caused by two basic reasons. First, the asteroid-comet-meteoroid hazard for space vehicles and, in general, for an Earth’s civilization has been actively discussed recently. The fundamental task of studying the population of small bodies in the Solar System, their evolution and ways of migration is requisite in this respect. Second, new radiation detectors such as CCD-cameras which were introduced in the observation practice make the observations of small bodies possible. The research of fireball and meteor streams of bodies of meter and decameter sizes was carried out. The quantitative estimation of the streams of celestial bodies which are potentially hazardous for the Earth was made on the basis of a complex meteor-fireball research. Observations near the radiants of meteor and fireball streams allow the detection of potentially hazardous objects of meter and decameter size. The possible existence of Saturn-librated asteroids is discussed. The analysis of asteroid population at the triangle libration points of Saturn as well as of previous observational search is presented. The technique used and previous results of observations are presented.

Большая часть известных астероидов имеет орбиты, лежащие между орбитами Марса и Юпитера, в так называемом главном поясе астероидов. В периферийных частях Солнечной системы были известны отдельные астероиды. Некоторые из них, например Хирон, имеют двойственную природу: будучи обнаружен как астероид, он в некоторые периоды проявляет кометную активность – из него происходит истечение газа и пыли. Короткопериодические кометы в афелиях уходят от Солнца существенно дальше орбиты Юпитера. Высказывались предположения о наличии множества объектов за пределами орбиты Юпитера, имеющих природу, сходную с кометами (но не всегда проявляющими себя как кометы). Именно такие объекты считались источником появления новых короткопериодических комет. По оценкам из короткопериодических комет образовалось около половины всех астероидов, сближающихся с Землей.

Популяция малых тел Солнечной системы в окрестностях орбиты Земли непрерывно обновляется, так как срок существования таких тел ограничен примерно 100 млн лет для астероидов и несколькими тысячами лет для комет, а их поток в окрестностях Земли постоянен на протяжении по крайней мере последних 3 млрд лет. На сегодняшний день нет ни одной теории, удовлетворительно описывающей приток всех типов малых тел во внутренние части Солнечной системы. Кроме того, наше знание о ряде типов малых тел, даже в окрестностях Земли, недостаточно и требует проведения специальных наблюдательных программ. Предположение, что резервуаром непрерывного пополнения малых тел во внутренних частях Солнечной системы являются пояса тел за орбитой Юпитера, представляется наиболее перспективным для тщательного исследования.

В мире действует ряд служб, нацеленных на выявление всех астероидов размером свыше 1 км, представляющих потенциальную опасность столкновения с Землей. В результате резко возросло количество открываемых астероидов. Считается, что к 2010 г. все указанные астероиды будут открыты. Вопрос о полноте выборки для тел диаметром менее 1 км пока не ставится.

ИНАСАН является инициатором и пока единственным с мире исследователем метероидов в процессе их прохождения через околоземное космическое пространство. Это позволяет включить в число исследуемых малых тел, представляющих потенциальную опасность для Земли, тела меньших, по сравнению с астероидами, размеров и тем самым использовать накопленные в мире данные по болидной и метеорной астрономии. Такой подход за счет резкого увеличения количества рассматриваемых объектов позволяет на качественно более высоком, чем в мировой практике, уровне проводить исследование популяции малых тел, представляющих опасность столкновения с Землей и миграции таких тел из периферии Солнечной системы.

Исследование мигрирующих тел Солнечной системы является важнейшей задачей современной фундаментальной науки, без решения которой невозможно будет воссоздать историю нашей планетной системы и разобраться в вопросе происхождения жизни на Земле. Вплоть до конца XX века ученые всего мира пытались путем построения математических моделей и их обоснования на скудном наблюдательном материале создать космогоническую теорию, которая смогла бы ясно и аргументированно объяснить твердо установленные характеристики Солнечной системы. Задача эта оказалась настолько трудной, что она до сих пор не решена даже на качественном уровне, несмотря на успехи космонавтики в изучении космических тел. Здесь уместно подчеркнуть, что хотя основная масса вещества Солнечной системы сосредоточена в самом Солнце и больших планетах, находящихся на почти круговых орбитах, огромное количество малых тел (размером от долей миллиметра до нескольких километров) находится на эллиптических орбитах, которые существенно изменяются на характерном интервале несколько тысяч лет под действием больших планет. Из-за этого возникает ограниченность небесно-механических моделей движения малых тел, допускающая прогноз их движения всего на несколько тысяч лет, – то есть на величину ничтожно малую по сравнению со временем существования Солнечной системы (около 4.6 млрд лет).

За последнее десятилетие XX века человечество осознало реальную опасность со стороны мигрирующих тел Солнечной системы для нашей планеты. Стремление избежать или хотя бы снизить ущерб для цивилизации от столкновения с достаточно крупным астероидом или ядром кометы уже стимулировало проведение крупномасштабных исследований Главного пояса астероидов, причем в ИНАСАН были начаты совершенно оригинальные поисковые исследования метеорных и болидных потоков. Эти исследования позволили подойти к разработке эффективной методики обнаружения небесных тел, грозящих столкновением с Землей.

В начале 1950-х годов было предсказано существование пояса малых тел на периферии Солнечной системы. Начиная с 1992 г. было обнаружено около 500 объектов, обращающихся вокруг Солнца на расстояниях 35 – 47 а.е. Таким образом, произошло реальное обнаружение транснептунового пояса (пояса Койпера) малых тел Солнечной системы. Современные теории космогонии Солнечной системы позволяют считать, что пояс Койпера состоит из тел, сохранившихся со времен формирования нашей планетной системы. В областях, расположенных между орбитами планет-гигантов, также есть условия для сохранения таких тел. Порядка 0.5 % из начальных тел должно было сохраниться между орбитами Юпитера и Сатурна в виде пояса, содержащего много тысяч малых тел. Сходные оценки могут быть сделаны и для областей между орбитами Сатурна и Урана, Урана и Нептуна. Помимо реликтовых объектов, в эти гравитационно-устойчивые области могли быть захвачены объекты, мигрировавшие под действием гравитационных возмущений со стороны планет-гигантов из пояса Койпера.

Распределение малых тел Солнечной системы показывает, что значительное их число имеют среднее движение, соизмеримое с средним движением больших планет. К таким малым телам относятся, например, астероиды семейства Гильды в Главном поясе астероидов (резонанс 3:2 с

Юпитером). Более ста астероидов, так называемых Троянцев, находятся в резонансе 1:1 с Юпитером. Они двигаются в окрестностях точек либрации L_4 и L_5 системы Солнце–Юпитер. Наличие Троянцев среди астроидов уже давно вызывало идеи, что на резонансных орбитах с другими большими планентами также могут находиться малые планеты. К настоящему времени открыто три астероида, имеющие орбиты, близкие к резонансу 1:1 с Марсом.

Численное интегрирование задачи N-тел показывает, что для каждой из внешних планет от Юпитера до Нептуна могут существовать устойчивые орбиты резонанса 1–1. В случае Юпитера – Троянские астероиды. Они устойчивы по крайней мере на десять миллионов лет. Наличие таких орбит для Сатурна может удивить из-за периодической близости Юпитера. Этот случай подробно анализировался, и было найдено доказательство значимости резонансов в стабильности сатурнианских треугольных Лагранжевых точек [1].

Выполнено большое количество исследований, посвященных теоретическому анализу устойчивости орбит тел, находящихся в резонансе 1:1 с Сатурном в рамках ограниченной задачи четырех тел: Солнце, Юпитер, Сатурн и малое тело. Аналитическое развитие модели показывает отсутствие периодических решений в случае больших колебаний в окрестности точек либрации [2].

Дальнейшие теоретические разработки показали, что тела с малым (менее 12°) наклонением орбит могут существовать в треугольных лагранжевых точках Сатурна на космогонической шкале времени (выживает около 1 % всех пробных тел) [3, 4].

Если предположить, что размеры резонансных с Сатурном астероидов примерно соответствуют таковым для Троянцев, то ожидаемая звездная величина оказывается примерно равной 20.5^m и слабее. Объекты такой яркости могут быть обнаружены современными средствами наблюдений.

Для проведения поисковых наблюдений астероидов, находящихся в резонансе 1:1 с Сатурном был использован 2-м телескоп, установленный на пике Терскол. Основные характеристики инструмента и обсерватории приведены в работах [5, 6]. Для проведения наблюдений использовалась ПЗС-камера 512×512, охлаждаемая жидким азотом, установленная в фокусе Кассегрена с фокальным редуктором [7]. При этом масштаб изображения составляет около $1''$ на пиксель. Проницающая способность при использовавшихся 30-мин экспозициях достигает 23^m. Измерение снимков проводилось по звездам каталога USNO–2. Точность ошибок редукции составляляет около $0.35''$, а точность определения положений слабых объектов – около $0.5''$.

Наблюдения проводились в период с декабря 1999 г. по апрель 2002 г. Поля наблюдений выбирались вблизи эфемеридных положений точек либрации L_4 и L_5 системы Солнце–Сатурн. Поля выбирались с учетом отсутствия в них ярких звезд для получения максимальной проницающей способности. Каждое избранное поле наблюдалось не менее трех раз в ночь.

Всего было отнаблюдено 120 объектов. Из них 24 являются известными астероидами, 11 – новыми астероидами, которым по наблюдениям на обсерватории Терскол были присвоены Международным центром малых планет временные обозначения. На основании этих наблюдений обсерватория на пике Терскол была включена в международный список под номером B18. Для определения орбит осташихся 85 объектов использовался разработанный в ИНАСАН численный метод прямого счета орбит наряду с классическим методом расчета круговых орбит. Для 14 объектов орбиту рассчитать не удалось. По полученным орбитам два объекта отнесены к сближающимся с Землей, 60 – к астероидам Главного пояса, 9 – к астероидам, расположенным за орбитой Юпитера. Среди этих последних два расположены между орбитами Юпитера и Сатурна, пять – между орбитами Сатурна и Урана, два – между орбитами Урана и Нептуна.

Обнаруживались высокоорбитальные искусственные спутники Земли (по несколько объектов каждую ночь). Спутники селектировались по полученным траекторным измерениям в течение ночи.

В течение первого этапа разрабатывалась методика обнаружения малых тел вблизи Земли с учетом специфики движения наблюдаемых объектов. Разработаны алгоритмы, создаются и модернизируются программы обработки наблюдений. В качестве опорного каталога используется каталог USNO–2A, который содержит координаты и звездную величину звезд до 21^m. Проведена первоначальная оценка наблюдательных возможностей 2-м телескопа обсерватории Терскол. Точность определения координат при этом не должна превышать $0.5''$. Регистрация времени производится с точностью не хуже 0.005 с с привязкой к сигналам точного времени. Точность определения блеска исследуемого объекта не должна превышать 0.1^m.

Проведен анализ источников засорения околоземного пространства. В качестве областей проведения первоначальных поисковых наблюдений выделены область вблизи антисолнечной точки и область концентрации элементов космического мусора, близких к геостационарной орбите, которая выявлена по данным зарубежных наблюдательных средств. С 7 по 21 марта 2002 г. проведены экспериментальные поисковые наблюдения элементов космического мусора в этих точках. Результаты наблюдений обрабатываются.

В апреле 2002 г. был проведен сеанс квазисинхронных наблюдений, с целью одновременной регистрации тел метрового и декаметрового размеров в болидном потоке Комиды. Наблюдения проводились с четырех пунктов – Терскол, Звенигород, Монды и Симеиз. Сеанс обработан и проанализирован. Всего за сеанс на Терсколе было обнаружено 11 объектов. Четыре из них оказались известными астероидами (K01A07D, J93S10N, K01A07D, K00U36J). Один из обнаруженных объектов наблюдался одновременно с двух обсерваторий – Терскол и Монды (K01A07D). Два объекта Центром малых планет Международного астрономического союза (МАС) были признаны новыми, и им присвоены номера: K02G05B и K02G05C.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-16118) и контракта 40.022.1.1.1108 с Министерством промышленности, науки и технологии России.

[1] *Innanen K. A., Mikkola S.* Studies on solar system dynamics. I The stability of Saturnian Trojans // Astron. J.–1989.–**97**.–P. 900–908.

[2] *Banfi V.* A study on the large oscillation stability of Trojan asteroids around libration points // Accademia Nazionale dei Lincei, Atti, Rendiconti – Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali.–**58**.–P. 220–229.

[3] *Teger F.* On the Stability of the L_4 and L_5 Triangular Lagrangian Points of Saturn // American Astronomical Society, DPS meeting N 31, 20.09.

[4] *Melita M. D., Brunini A.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.–2001.–**322**.–P. L17–L21.

[5] *Бек Г. Г.* Уровень и тенденции развития астроприборостроения народного предприятия “Карл Цейсс Йена” // Йенское обозрение.–1976.–№ 3/4.–С. 125.

[6] *Тарадий В. К., Сергеев А. В., Карпов Н. В., Руденко С. П.* Астрономический комплекс на пике Терскол для наблюдений малых тел Солнечной системы // Околоземная астрономия и проблема изучения малых тел Солнечной системы / Под ред. Л. В. Рыхловой.–М.: Космосинформ, 2000.–С. 163–167.

[7] *Jockers K.* A two-channel fokal reductor small (diametr > 1 m) F/8 telescopes // MPAE-W-086-96-01.–1996.–P. 1–14.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТЕОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

А. В. Багров, Г. Т. Болгова, В. А. Леонов

Институт астрономии РАН, Москва, Россия
e-mail: abagrov@inasan.rssi.ru

Большое число принадлежащих Солнечной системе частиц пересекает околоземное пространство. Примерно половина из них относится к выявленным метеорным или болидным потокам, а остальные считаются спорадическими. При своем движении Земля пересекает разные части этих потоков, да и сами потоки проявляют заметную неоднородность, поэтому наблюдения текущих вариаций потоков представляют большой интерес для космогонии. Целью проводимых исследований является мониторинг метеорных событий из близко расположенных пунктов (базисные наблюдения) и из удаленных на тысячу километров точек для выявления пространственных неоднородностей потоков. На станции Космотэн (Северный Кавказ) с июля 2002 г. ведутся регулярные наблюдения метеоров с телевизионной камерой, обеспечивающей проницающую силу $+5^m$ в поле зрения 52° при частоте 25 кадр/с. В ближайшее время запланировано проведение регулярных базисных наблюдений для прямого измерения параметров индивидуальных орбит метеоров и их физической плотности.

TV-MONITORING OF METEOR EVENTS FOR STUDYING THE EVOLUTION OF METEOR STREAMS, by Bagrov A. V., Bolgova G. T., Leonov V. A. – A number of particle streams with heliocentric orbits pass through the near-Earth space. Approximately half of them belong to meteor and fireball streams, and the rest are considered to be sporadical. As the periods of revolution of the Earth and the streams around the Sun are not divisible, and the distribution of particles inside the streams is not homogeneous, there are annual variations of their activity. The goal of the proposed investigations is to obtain from observations the spatial parameters of the streams of tiny particles crossing the Earth's orbit. For this purpose it is proposed to make simultaneous monitoring of meteor events from near-by observation sites and from sites separated by more than one thousand kilometres. These observations are supposed to be accompanied by simultaneous telescope observations. At the Kosmoten Observatory (Northern Caucasus) a hybrid TV-camera with CCD is used for meteor observations. The limiting magnitude of the camera is good enough to detect meteors with brightness $+5^m$ in the 52° field. Since July 2002 meteor observations are done every clear night. In the future it is planned to begin stereo (basis) TV-observation with the aim to determinate individual orbits of observed meteors and their physical densities.

Огромное число частиц многочисленных потоков с гелиоцентрическими орбитами пересекает околоземное космическое пространство. Вторгаясь в атмосферу Земли, они вызывают легко наблюдаемые метеорные явления. Примерно половина из них принадлежит выявленным метеорным и болидным потокам [1, 2], а остальные считаются спорадическими [3, 4]. Поскольку периоды обращения частиц в потоках и Земли вокруг Солнца не кратны друг другу, а распределение частиц в потоках неравномерно, есть вариации активности потоков [5]. Кроме этого, есть основания полагать, что существуют мелкомасштабные неоднородности распределения частиц в потоках, – по крайней мере на характерных расстояниях порядка нескольких сотен километров [6, 7].

Некоторые из сильных метеорных потоков были изучены как методами базисной фотографической триангуляции, так и радиолокационными методами, в результате чего были получены их орбитальные параметры. После распада кометы 1852 III Биэлы, наблюдавшегося в 1864 г., и сопровождавшегося мощными звездными дождями потока Андромедид в 1872 и 1885 гг., орбита которого близка к орбите кометы Биэлы, установилось мнение, что метеорные потоки являются продуктами распада комет [8, 9]. В некоторых случаях почти точное совпадение измеренных орбитальных параметров метеорных потоков и наблюдавшихся комет позволило установить генетическую связь между ними [10–12]. Но большинство известных потоков [1, 2] изучено недостаточно глубоко, чтобы для каждого из них можно было установить родительское тело.

В результате многолетних исследований не удалось построить теории формирования метеорных тел и эволюции метеорных потоков. Наши знания о потоках вещества Солнечной системы через околоземное пространство ограничиваются общими представлениями и статистически ненадежными данными.

Причин столь непривлекательной ситуации несколько. Главная состоит в недостаточности полученных наблюдательных данных для обобщающего анализа и в их малой точности. Фрагментарность данных визуальных наблюдений происходит от их большой трудоемкости и невысокой информативности, особенно при наблюдениях слабых потоков. Фактически более или менее регулярно визуальными наблюдениями охвачено лишь несколько сильных метеорных потоков. Профессиональные астрономы прекратили визуальные наблюдения метеоров еще в середине XX века, а любительские визуальные наблюдения не могут привести к получению принципиально новой информации, хотя их вклад в накопление статистических характеристик потоков весьма ценен.

Фотографические наблюдения метеоров также почти повсеместно прекратились, хотя именно они позволили получить наиболее точные траекторные измерения индивидуальных метеоров и определить параметры их орбит. Однако из-за невысокой чувствительности даже лучших астрономических фотоматериалов этим наблюдениям доступны только самые яркие метеоры, число которых слишком мало, чтобы из них можно было составить репрезентативную выборку наблюдаемых метеорных явлений. Кроме того, трудоемкость обработки фотографических негативов очень высока, так что все результаты измерений относятся к единичным объектам.

Радиолокационные наблюдения метеоров, начатые после второй мировой войны и получившие во второй половине XX века широкое развитие, позволили наблюдать метеоры при любой погоде и в любое время суток. Эта возможность надолго перевесила высокую стоимость радиолокационных установок и сложность их обслуживания. С помощью радиолокаторов были выявлены дневные метеорные потоки, недоступные для изучения традиционными астрономическими методами наблюдений в оптическом диапазоне, а число регистрируемых метеоров выросло в сотни раз по сравнению с оптическими наблюдениями. В то же время большая статистика метеоров по радиолокационным наблюдениям строится на траекторных измерениях низкой точности. А именно малая точность параметров метеорных орбит является препятствием для исследования их долгосрочной эволюции с целью выявления родительских тел метеорных потоков.

Скудность наблюдательного материала проявляется и в выявлении действующих метеорных потоков. Обычно существование потока вытекает из обнаружения его радианта как области пересечения нескольких траекторий метеоров. Если же наблюдалось всего несколько метеоров, и разброс точек пересечения траекторий велик, то выявление радианта из таких наблюдений статистически необоснованно. С космогонической же точки зрения изучение таких слабых потоков представляет огромный интерес, поскольку эти потоки являются наиболее старыми и находящимися на заключительной стадии своей эволюции.

Решение проблемы происхождения потоков мелких частиц в околоземном пространстве может быть получено только на основе обширного наблюдательного материала, причем и характер наблюдений, и требуемый уровень точности измерений должны быть обусловлены параметрами модели, которую эти наблюдения должны или подтвердить, или отвергнуть.

Мы исходим из общепринятой идеи формирования метеорных потоков в результате распада кометных ядер вследствие испарения связующего их вещество компонента – летучих льдов. Исследования должны выявить следствия распада родительских ядер на крупные фрагменты – подобно распаду некоторых комет на множество отдельных частей [13, 14] – и на потоки мелких частиц. Если вещество кометного ядра представляет собой смерзшуюся смесь пылинок и газов, то после полного испарения газов метеорные частицы должны иметь характерный размер пылинок в протопланетном облаке. Если же в кометных ядрах имеются вкрапления метеоритного вещества [15], не подверженного испарению, то наблюдения должны дать распределение этих частиц по размерам и их относительное число по сравнению с пылевыми частицами. Критерий для распознавания вкраплений очевиден: метеорные частицы из льдов с пылью могут иметь физическую плотность порядка 1 г/см^3, каменные частицы должны быть плотнее 2 г/см^3, а металлические – плотнее 5 г/см^3.

В рамках получения наблюдательного материала для проверки предложенного подхода мы ставим задачу телевизионного мониторинга метеорных событий одновременно из близко расположенных пунктов для проведения базисных траекторных измерений, и из далеко отстоящих друг от друга обсерваторий – для определения пространственной неоднородности потоков. Одновременно с метеорным мониторингом предполагается проведение поисковых наблюдений крупных метеороидов (инасанов) в радиантах метеоритных и метеорных потоков [16, 17].

На станции Космотэн (Северный Кавказ, Зеленчукский район), ведущей телевизионные наблюдения ИСЗ, в 1999–2002 гг. проводились пробные наблюдения метеоров с помощью гибридной телевизионной камеры [18]. С оптической системой "олл-скай" камера позволяла регистрировать метеоры яркостью свыше 2.5^m в поле зрения 180°, питающая оптика с полем зрения 52° поднимала чувствительность по метеорам до 5^m, а в поле 12° достигала 7^m. Телевизионная система с 25-кадровой частотой позволяет регистрировать каждый метеор на 8…15 кадрах, в результате чего может быть исследована динамика торможения метеорных частиц и определена их физическая плотность.

За время пробных наблюдений было получено свыше 60 часов записей звездного неба, содержащих более полутора сотен записей метеорных явлений. Эти наблюдения частично обработаны (для полной обработки готовится необходимое программное обеспечение), и их анализ позволил определить оптимальные параметры телевизионной системы для метеорного мониторинга.

Опыт проведения метеорных наблюдений позволил на базе гибридной телевизионной системы создать специализированный телевизионный комплекс для всепогодного применения. Комплекс включает в себя собственно гибридную телевизионную камеру в герметичном корпусе с оптическим иллюминатором перед объективом, видеомагнитофон и вспомогательную электронику для врезания меток времени в видеокадры. Камера установлена стационарно на крыше наблюдательного павилиона, а все остальные элементы комплекса размещены в комнатных условиях лабораторного помещения. Корпус камеры имеет антивандальное исполнение и дополнительно защищен от воздействий внешней среды избыточным внутренним давлением. Датчики наружной и внутренней температуры воздуха обеспечивают работу системы подогрева, исключающую запотевание как оптики камеры, так и иллюминатора. Иллюминатор снабжен светозащитной крышкой, привод которой управляется таймером окончания наблюдений и датчиком засветки неба; при превышении уровня засветки допустимого порога весь комплекс автоматически выключается, а крышка закрывает иллюминатор, что позволяет защитить фотокатод входного усилителя яркости от пересветки.

Телевизионная система включает в себя широкоугольный фотографический объектив "Мир-2" ($F = 28$ мм, 1:2), электронно-оптический усилитель яркости ЭП-10 с оптоволоконными шайбами на входе и выходе, объектив перебрасывающей оптики и черно-белую ПЗС-камеру "Watec LCL-902HS". Электронно-оптический преобразователь имеет диаметр входного и выходного окон 24 мм, что приводит к полю зрения с данным объективом в 50°. Для согласования линейных размеров рабочего поля с размером ПЗС-матрицы ($1/2''$) осуществляется оптический перенос с троекратным уменьшением. Несмотря на то, что оптоволоконная шайба обеспечивает концентрацию выходного излучения в угле 70°, при оптическом переносе теряется до 90% света. Тем не менее, благодаря высокой чувствительности ПЗС-матрицы ЭОП работает с небольшим усилением и практически свободен от собственных шумов, а регистрируемый сигнал существенно превышает уровень шумов телевизионной камеры. Фиксация моментов событий обеспечивается врезкой в каждый кадр даты и времени от генератора временных меток для телекамеры производства ООО "Телесистемы-1" (г. Зеленоград).

С конца июля 2002 г. коплекс работает на станции Космотэн в режиме мониторинга околозенитной области, то есть каждую ночь наблюдается небо в зените над станцией при условии, что не менее половины поля зрения не закрыто облаками. Вид поля зрения непрерывно записывается на видеомагнитофон. Вмешательства оператора в работу комплекса не требуется, поэтому одновременно с метеорными наблюдениями можно проводить поисковые наблюдения инасанов или вести другие плановые работы на телескопах обсерватории. Просмотр записей и ввод содержащих метеорные изображения кадров в компьютер осуществляется в дневное время, поскольку обработка столь кратковременных явлений как метеор не имеет смысла.

Предварительный просмотр полученных в первой половине августа 2002 г. записей подтвердил правильность выбора параметров телевизионной системы. Получено 34 часа записей неба во время действия потока Персеиды. Проницающая сила наблюдательного комплекса составляет 5.5^m по звездам и около 4^m по метеорам. Точность координатных измерений метеорного трека – около $20'$.

В ближайшем будущем предполагается организация метеорного мониторинга на Звенигородской станции ИНАСАН, включая базисные наблюдения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам станции Космотэн С. Ф. Бондарю и А. В. Перкову за помощь в создании метеорной камеры и проведении наблюдений. Представленная работа поддержана грантом РФФИ № 02-02-16207 и Контрактом Министерства промышленности, науки и технологий № 40.022.1.1.1108.

[1] *Terentjeva A. K.* Fireball streams // Asteroids, Comets, Meteors III / Eds Lagerkvist, Rickman, Lindblad, Lindgren.–Uppsala, 1990.–P. 579–584.

[2] *Терентьева А. К.* Малые метеорные рои // Исследование метеоров.–1966.–№ 1.–С. 62–159.

[3] *Астапович И. С.* Метеорные явления в атмосфере Земли.–М.: Физматгиз, 1958.—640 с.

[4] *Бабаджанов П. Б.* Метеоры и их наблюдение.–М.: Наука, 1987.–192 с.

[5] *Бабаджанов П. Б., Орубов О. В., Пушкарев А. Н.* Эволюция метеороидного роя Квадрантид // Астрон. вестник.–1991.–**25**, № 1.–С. 82–92.

[6] *Андреев Г. В., Епишова А. Е., Рубцов Л. Н.* О структуре метеорного потока Персеид в 1976 г. // Астрон. циркуляр.–1978.–№ 998.–С. 7–8.

[7] *Piers P. A. et al.* An Unusual Meteor Cluster Observed by Image-Intensified Video // WGN – Journal of the International Meteor Organization.–1993.–**21**, N 4.–P. 168.

[8] *Бредихин Ф. А.* Этюды о метеорах.–М.: Изд-во АН СССР, 1954.–608 с.

[9] *Ватсон Ф.* Между планетами.–М.-Л.: Гостехиздат, 1947.–227 с.

[10] *Всехсвятский С. К.* Природа и происхождение комет и метеорного вещества.–М.: Просвещение, 1967.–186 с.

[11] *Дубяго А. Д.* О строении кометных ядер и образовании метеорных потоков // Астрон. журн.–1950.–**27**, № 1.–С. 5–8.

[12] *Евдокимов Ю. В.* О связи кометы Джакобини–Циннера с метеорным потоком Драконид // Астрон. циркуляр.–1955.–№ 159.–С. 21–24.

[13] http://www.astronet.ru:8100/db/msg/eid/apod/ap990814.

[14] http://hubblesite.org/newscenter/archive/2000/26/.

[15] *Багров А. В., Резанов И. А.* Разрушение Фаэтона – ключевой момент космогонии Солнечной системы // Околоземная астрономия XXI века: Тез. докл. науч. конф. (Звенигород, 21–25 мая 2001 г.)–Звенигород: ИНАСАН, 2001.–С. 45–46.

[16] *Багров А. В., Болгова Г. Т., Микиша А. М. и др.* Программа наблюдений крупных тел в метеорных и болидных потоках // Программы наблюдений высокоорбитальных спутников Земли и небесных тел Солнечной системы: Тез. докл. конф.–СПб: ИТА РАН, 1994.–С. 17–18.

[17] *Барабанов С. И.* Наблюдения крупных тел в метеорных потоках за пределами атмосферы Земли // Околоземная астрономия (космический мусор) / Под ред. А. Г. Масевич.–М.: Космосинформ, 1998.–С. 214–230.

[18] *Багров А. В., Выгон В. Г., Бондарь С. Ф., Иванов Е. А.* Гибридная телевизионная система для наблюдения слабых космических объектов // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы: Сб. науч. тр. конф. (Обнинск, 25–29 октября 1999 г.)–М.: Космосинформ, 2000.–С. 334–346.

Дискуссия

“Человек–Среда–Космос”

(Ведущий: П. В. Белошицкий)

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НА ОТКРЫТИИ ДИСКУССИИ “ЧЕЛОВЕК–СРЕДА–КОСМОС”

П. В. БЕЛОШИЦКИЙ

доктор медицинских наук

Жизнь – это астрогеофизическое явление, поэтому все ее истоки – от зарождения, эволюции реактивности и резистентности – необходимо искать в организованности Вселенной, ведь развитие биосистем и их жизнедеятельность проходит при непрерывном воздействии факторов внешней среды. На Землю оказывает влияние световая и тепловая энергия Солнца, электромагнитные поля, магнитные бури, корпускулярные потоки, различные виды радиоизлучения (например, водорода с длиной волны 21 см, молекул CO с длиной волны 3 мм; периодически кратковременная (10 с) огромная энергия при коллапсе и взрыве массивной звезды (она превосходит в 100 раз энергию, которую излучает Солнце за все 10 млрд лет своей жизни), инфракрасное, высокоэнергетическое рентгеновское и гамма-излучения центра Галактики, электризация грозовых облаков и др.

Мир един, взаимосвязан и, как макро-, так и микрокосмос, живет по одним законам. Вселенная, процесс ее сотворения закодирован в Человеке. Вот, к примеру, ДНК – она, как и многие миры, спиралевидная. Мир, как на макро- так и на микроуровне, неисчерпаем, поэтому многие понятия остаются “вещью в себе”. И самыми сложными были и остаются вопросы: как возникла Вселенная, как зародилась жизнь? Нельзя объяснить появление жизни эволюционной теорией Дарвина. Этот феномен невозможно понять без вмешательства Высшей Силы, Высшего Разума, Бога (в словаре Даля Бог – создатель Вселенной), без закодированной информации, управляемой Вселенной. Понятие “информация” все чаще встречается вместе с биологической терминологией. В общем понимании биоинформация – это сообщение о событиях из внешней и внутренней среды, раздражители, которые воспринимаются биосистемами и воздействуют на физиологические процессы жизнедеятельности; она определяет закономерности наследственности, изменчивости, адаптации, эволюции, природного отбора, развития структур и функций как в онто-, так и филогенезе и т. п. А само появление жизни на нашей планете – разве не результат ее информационного “оплодотворения”, триединого единства условий Земли, энергии Солнца и информации Вселенной? Начиная со средины 20-го столетия, информация становится общенаучным понятием, которое включает в себя обмен сообщениями разными способами и между разными (живыми и неживыми) объектами, передачу признаков от организма к организму. Биоинформацию с окружающего мира и внутренней среды биосистема воспринимает через органы чувств и специализированные рецепторы, т. е. она может проходить как на осознанном уровне, так и мимовольно через вегетативную нервную систему. Биоинформацию можно получить через слово, звуки, свет, запах, прикосновение, условные сигналы, физические поля, изменение физико-химических свойств и структуры атомов, молекул, веществ. Она может быть закодированной в молекулах белка, электрическом, магнитном, радиационном, гравитационном, информационном (?) поле и т. д. Следовательно, биоинформация может передаваться через разнообразные сигналы, условный смысл которых позволяет отключиться от ее физической оболочки. Важно, что информация не передает энергию, а только направляет ее потоки в определенном в данной ситуации направлении. В последнее время практическое значение приобретают информативные методы лечения – климатотерапия, рефлексотерапия, физиотерапия, гипноз, гомеопатия и др.

К биоинформативным можно отнести и метод лечения, повышения устойчивости, которым пользуемся мы – метод горотерапии, гипокситерапии. Здесь, в горах, кроме понижения парциального давления кислорода, с увеличением высоты изменяется и напряженность электро-магнитного поля в широком диапазоне длин волн, и диапазон как солнечного (от инфракрасного до ультрафиолетового), так и ионизирующего излучения (от рентгеновского до гамма-квантов) и т.п. Все эти факторы из внешней среды воздействуют на организм через его "приемники", изменение структуры и свойств воды, степень возбуждения молекул (например возбужденная молекула кислорода, обладающая парамагнитными свойствами, ведет себя как свободный радикал и его химическая активность находится в соответствии с состоянием возбуждения; это не может не сказаться на транспорте и утилизации кислорода и т. п.).

Несколько слов о происхождении жизни. Считаю, что жизнь непосредственно на Землю занесена из Космоса – через метеориты, астероиды, кометы. Дело в том, что белки могут сохраняться при низкой температуре миллионы лет. Используя формулу биофизика Ги, я рассчитал, сколько времени при $T = -196\,^{\circ}$C может сохраняться до наступления необратимых изменений высокоорганизованный организм. Расчет прост: будем считать, что клиническая смерть наступает через 5 мин (т. е., необратимые изменения в тканях происходят через 5 мин); это при 37 °C. Задача: насколько продлится период до наступления необратимых изменений при $T = -196\,^{\circ}$C, если известно, как замедляются все процессы в организме при понижении T. Оказалось, что теоретически восстановить жизнедеятельность можно через ... 800 тыс лет. Уже сейчас во Франции, США есть общества криогеников; там с надеждой пробудиться подверглись замораживанию десятки добровольцев...

Здесь Ярослав Степанович задает вопрос о том, как будет изменяться энтропия при понижении температуры. Это действительно исключительно важное и глубокое понятие при изучении данной проблемы. Энтропия – мера внутренней неупорядоченности системы – при понижении Т будет уменьшаться. Известна взаимозависимость энтропии и информации: $S = K \lg D$. Эта оценка количества информации совпадает с оценкой количественной меры устранения неопределенности энтропии, меры организованности системы. Т. е. эта математическая формула прямо указывает на возможность количественным изменением информации изменять упорядоченность системы, что относительно биосистем может означать изменение качества (устойчивости, работоспособности, надежности функционирования организма, здоровья и др.). Вдумайтесь: математическая формула показывает, как идеальное изменяет материальное! Материя постоянно деградирует, ее энтропия повышается. Откуда же привносится упорядоченность в живой системе? Из Вселенной? Через загадочную вегетатику, вечную душу, которая "материализуется" там и тогда, когда для этого есть соответствующие условия, обеспечивающие энергетику?

Что же такое Человек? Это сложнейшая саморегулирующаяся упорядоченная биофизическая система (механическая, электромагнитная, энерго-информационная и т. п.), наделенная чувствами, разумом, стремлением к постижению Истины, законов мироздания. Вот и сейчас он пытается решить проблему "о сотворении Мира из ничего", понять сущность Пространства (П) и Времени (В). Вопрос этот не нов, он возникал и возникает перед каждым думающим Человеком, перед учеными, священниками. Еще Демокрит связывал В. с движением, а Аристотель – с душой (В. – понятие считаемое, а считать может только душа). Априори несколько мыслей. "Дух не только творит формы материальных тел, направляя и определяя процесс роста, но может сам принимать эти формы – материализоваться... Духовная энергия присущая хромосомам половых клеток, и создает живые образы красоты и безобразия... Дух Вечности и Беспредельности изливается в души наши от мириад звезд ночного неба" – это наш земляк, врач и архиепископ Войно-Ясенецкий. "Дух животворит" – Евангелие. "Мысль материальна", "Свято место пусто не бывает".

Возвратимся к вопросу "о начале всех начал". Попытаюсь кратко изложить свое видение этой вечной проблемы глазами доктора медицины и математика. Давайте построим модель Мира, предварительно осмыслив масштабы задачи. Итак, перед нами результат творения – Вселенная. Через цепь известных науке событий возвратимся к ее началу, к моменту, когда "материя исчезает". Как можно представить себе "ничто"? Это, как мне представляется, "Пространство". Думаю, здесь нет другой альтернативы, нет аргументов для возражений против его существования. С одной стороны – это "ничто", пустота, независимое и неизменное существование; с другой – абсолютность, объективность, трехмерность, т. е. уже "нечто". Итак, сформулируем

1-й универсальный постулат: мы допускаем абсолютность, объективность, реальность существования П. Но понятие П. неразрывно связано с его качествами. Следовательно, признав первый постулат, мы имеем основание сформулировать

2-й универсальный постулат: П. обладает некоторыми свойствами, "измерениями"

С одной стороны, мы можем представить себе бесконечную величину П., но с другой признаем невозможность достичь минимальной его величины – в противном случае следовало бы отказаться от первого постулата, так как П. просто исчезло бы (всегда остается что-то неуловимое). Отсюда следует

3-й универсальный постулат: П. утверждает свою неуничтожимость, невозможность его исчезновения, закладывая тем самым предпосылки акту творения;

4-й универсальный постулат: П. диктует некий порядок (неравномерность, асимметрию, кривизну, относительность); и

5-й универсальный постулат: П. утверждает беспредельность, неисчерпаемость, бесконечность стремления к Пределу, Абсолюту и невозможность его достичь.

Не выходят за рамки этих Положений и такие основополагающие понятия, как Энтропия (которая стремится к бесконечности, но не может ее достичь), Абсолютная температура, Абсолютный мрак (которые стремятся к своим Пределам, но не могут их достичь).

Возвратимся ко 2-му постулату. П. – "ничто" и "нечто" – понятие не однозначное, оно характеризуется некоторыми свойствами, "измерениями": трехмерностью, временем (4-е измерение), степенью темноты (5-е измерение), состояния упорядоченности П. (6-е измерение). Но все эти "измерения" – неподвижны, мертвы без **особого 7-го "измерения" – Духовной Энергии**, пронизывающей Вселенную, без Божественного одухотворения, без **осознания этих исходных универсальных постулатов**, без "начального толчка, импульса", разделившего пустоту, нуль на две противоположные половинки и породившего физические поля, материю, движение, развитие, эволюцию, порядок, гармонию, события с их последовательностью, длительностью, отношениями. А это уже наука от Бога, его универсальный язык и инструмент – высшая математика (с дифференциальным и интегральным исчислением, кибернетикой, информатикой и др.), позволяющая переходить в мир абстракций, математических функций, их пределов и экстремумов; переменных, постоянных, мнимых, бесконечно больших и малых величин; формул, символической логики, моделей. И действительно, в высшей математике можно найти логику всех проявлений Природы. Без осознания вмешательства в процесс сотворение Мира Высшей Идеи, Разума, Абсолюта Законов Мироздания – Бога – мы зашли бы в тупик. **Бог – это Истина, цель науки – это доказать.**

"Начальный толчок, Импульс" мог произойти бесконечно давно, Большой Взрыв (не первый и не последний) – 15–20 млрд лет назад. "Первичная" Земля возникла 4.6 млрд, твердая кора Земли – 3.8 млрд лет назад; за это время на Земле образовалось 10 млн форм жизни, на которые воздействуют как абиотические (химические, физические), так и биотические (другие организмы) факторы среды. Сейчас максимально известная величина Вселенной – 10 млрд световых лет, минимальная – 10^{-35} . А "глубже" – переход через границы Миров, проявленного и не проявленного, причин и следствий... Если на экране телевизора "проявляется" множество разнообразных каналов, то почему не может одновременно существовать множество параллельных миров? Но с "переключателем каналов" пока еще проблема. . .

С тех пор мы наблюдаем цепь вечных превращений, вечное стремление к равновесию и невозможность его достичь...

Я. С. ЯЦКИВ

академик НАН Украины

Прежде всего несколько слов относительно тематики нашей дискуссии. Желательно, чтобы она носила научный характер. Научный факт – это тот факт, который твердо установлен, доказан или статистически повторяем. Поэтому сразу исключаем НЛО. Никто еще не установил повторяемости или природы НЛО. Оставим этот вопрос будущим поколениям. Никто не сомневается, что в природе случаются аномальные явления. Я также думаю, что сегодня мы не должны говорить об астероидах. Эта тема достаточно хорошо изучена и известна широкой общественности. И если, не дай Бог, случится столкновение Земли с астероидом диаметром несколько километров или несколько десятков километров, это, конечно, будет глобальная катастрофа, о которой лучше не говорить. Давайте поговорим о следующих вещах: что мы знаем о рождении нашей Вселенной, к чему приведет открытие массы нейтрино, влияют ли на человека гамма-всплески или космические лучи высоких энергий; затем перейдем от большого космоса к космосу ближнему. Есть ли проверенные механизмы влияния солнечной активности и солнечных вспышек на человека и что мы можем считать более-менее физически установленным. Возьмем Луну. Каждый из нас знает т.н. лунатиков, которые ходят по ночам, и мы не удивлямся. Однако если простому человеку сказать, что мы с вами колеблемся под действием Луны на 50 см, то не все верят. Приливы в твердой коре и в океане, вызванные приливообразующей силой Луны, приводят к тому, что мы пульсируем с полусуточным, суточным, полумесячным и месячным периодами. Эти явления под названием "земные и морские приливы" достаточно хорошо изучены. Но все-таки возникает вопрос, как это влияние передается на человека – здесь может быть достаточно спекуляций.

Теперь перейдем к другим факторам влияния космоса. Человек живет в космической среде, под влиянием электромагнитного поля Земли и окружающего его пространства. Как оно влияет? Павел Васильевич сказал о воде. Сейчас это очень модная тема. И в самом деле, вода, очевидно, один из тех приемников человеческого организма, который реагирует на все воздействия космической среды.

Итак, я не хотел бы задавать какой-то определенный тон этой дискуссии, но попросил бы начать "сверху", с Большой Вселенной. Может, Анатолий Михайлович Черепащук скажет несколько слов о последних научных достижениях. Я же позволю себе сделать несколько общих замечаний.

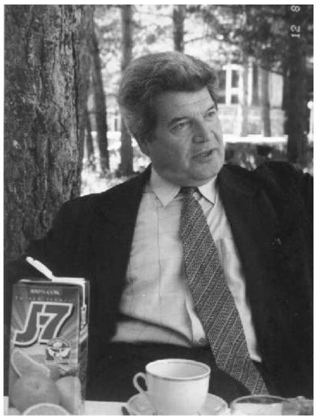
Есть три фундаментальные проблемы науки, на которые человечество не знает ответа и долго знать не будет: как возникла та Вселенная, в которой мы живем, и почему она стала такой, какой она есть? Как возникла жизнь на нашей Земле и почему она такая, какая она сейчас есть? И третья проблема, которая для ученых звучит парадоксально. Это Вселенная–Человек–Бог или, если хотите, Бог–Вселенная–Человек. Эта проблема не простая. Эволюция науки в 15–16 веках и дальше привела к победе материализма. Но влияние духовного на мир, по-видимому, исключать нельзя. Я считаю, что трио этих проблем находится на самом острие науки.

Выделяются миллиарды долларов, чтобы ответить, есть ли разумная жизнь на других планетах, есть ли жизнь во Вселенной – в какой-либо ее форме. Я призываю к такой дискуссии, чтобы вначале мы, астрономы, дали характеристику этим факторам космического пространства, а затем биологи смогут ответить на вопрос: а как же человек может жить в этих условиях?

– Вы затронули вопрос биоинформационного обмена и веры в Бога. Недавно в журнале "Бульвар" было напечатано интервью с Н. Амосовым. У Николая Михайловича есть знаменитая фраза: я в Бога не верую, но он существует, т. е. он закончил свое интервью дорогой к Богу. Как и Гоголь. Я недавно прочитал предсмертную записку Н. В. Гоголя. Пройти мимо проблемы Бога науке сейчас нельзя.

– Все-таки мы на научной конференции. Поэтому я не хотел бы, чтобы мы ее закончили набором всяких экзотических факторов. Если мы исследуем научную проблему, нужно начинать с определений и парадигм. Вот мне было бы интересно узнать от физиологов, что такое жизнь, как сейчас они определяют это понятие? Что такое биоинформатика? Я недавно просмотрел две монографии по биоинформатике, там изложены различные взгляды на эту науку. Возможно, в будущем эта тема, которую мы обсуждаем и которую мы попросим Павла Васильевича вести по интернету[1], будет дополнена различными определениями, предпосылками и аксиомами. Далее, мы автоматически в нашей дискуссии перешли от материалистической картины мира до некоторой его иррациональной субстанции. Дело в том, что Человек – явление еще более неизвестное, чем Вселенная. Что такое Человек? К сожалению, мы даже не знаем, сколько нейронов работает в мозгу человека и механизмов межнейронных связей. Я читал статью об открытии американских ученых, в которой они описывают, как они вызывали веру во Всевышнего, влияя на определенные клетки головного мозга. И ведется целая дискуссия, что это такое, что Бог находится в голове. Как же так, мы же привыкли верить, что Бог – где-то извне, а не внутри человека. Одно очень хорошее сравнение сделал кто-то из ученых. Он сказал, что если пианино издает звуки, это еще не значит, что пианино есть единственный источник звука: есть человек, который управляет этим инструментом. Здесь упоминали об уникальных способностях человека. Могу также сказать, что я встречал в жизни много уникальных людей. Может, в следующий раз расскажу более подробно. Я встречался с Вольфом Мессингом в 1960-е годы. Я подтверждаю, что на все 100 умышленно его обманывал, он со мною ругался: "Что Вы себе позволяете? Я не буду с Вами работать!" На него неприятно было смотреть, когда он находился в возбужденном состоянии. Я имел встречи с другими уникальными людьми. Отсюда вывод: человек – явление еще далеко не познанное.

[1]Эта страница (http://www.mao.kiev.ua/icamer/forum/) оформлена и поддерживается с сентября 2002 г. В. Г. Годуновой (Прим. ред.)



А. М. ЧЕРЕПАЩУК

член-корреспондент РАН

О НЕКОТОРЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

Астрономия сейчас находится на мощном подъеме. Прежде всего доплеровским методом открыты планеты и планетные системы около ста ближайших звезд. Эти планетные системы в большинстве случаев не похожи на нашу Солнечную систему, что естественно объяснить эффектами наблюдательной селекции: наиболее вероятно открытие массивных и короткопериодических планет вокруг звезд. Тем не менее, с учетом эффектов наблюдательной селекции оценки вероятного числа планетных систем в Галактике, состоящей из ста миллиардов звезд, дают число планетных систем около миллиарда. Серьезно поставлен вопрос о непосредственном детектировании изображений этих планет, которые в миллиард раз слабее центральной звезды. Более того, планируется запуск космических инфракрасных интерферометров на орбиту вблизи Юпитера для того, чтобы снять спектры этих планет и обнаружить линии кислорода. Почему кислорода? Дело в том, что кислород в атмосфере планеты – верный признак жизни на ней. Если бы жизнь на Земле исчезла, кислород как химически очень активный элемент за 10^4 лет вступил бы в химические соединения с горными породами и исчез бы из атмосферы Земли. Лишь благодаря фотосинтезу растений в атмосфере Земли постоянно поддерживается необходимая концентрация кислорода. Поэтому обнаружение кислорода в атмосферах внесолнечных планет было бы сильным указанием на наличие по крайней мере растительных форм жизни на них. Это уже современная не романтическая, а реалистическая постановка вопроса о поиске внеземной жизни.

Искать внеземную жизнь в виде внеземных цивилизаций с помощью сигналов в радиодиапазоне (помните книгу выдающегося астрофизика И. С. Шкловского “Вселенная, жизнь, разум”?), как показал 30-летний опыт, очень трудно, поскольку частота, направление и кодировка сигналов внеземных цивилизаций неизвестны. Тем не менее это направление также развивается.

Вторая актуальная проблема современной астрофизики – это проблема скрытой материи во Вселенной. Проблема была поставлена еще в 40-х годах 20-го века в связи с изучением движений галактик в скоплениях. Оказалось, что галактики в скоплениях движутся со скоростями, значительно превышающими те скорости, которые необходимы для стационарного состояния скоплений при имеющейся в них массе видимого вещества. Это говорит о том, что доля видимого вещества (главным образом, звезд галактик) составляет менее 10 % от полной массы скопления. Более 90 % массы скопления невидимо и воздействует на галактики лишь своим гравитационным притяжением. К настоящему времени проблема скрытой или темной материи назрела в астрономии очень остро. Оказывается, что лишь около 4 % полной массы Вселенной составляет знакомая нам барионная форма материи (протоны, нейтроны и т. п.), из которой состоят звезды, планеты и человек. 26 % массы Вселенной должно состоять из слабовзаимодействующих массивных частиц неизвестной природы, которые предсказываются современной теорией элементарных частиц, но пока не открыты в земных лабораториях. Известно, что Солнце посылает на Землю огромный поток хорошо изученных частиц – нейтрино, которые очень слабо взаимодействуют с веществом. Поэтому, хотя на 1 см^2 человеческого тела ежесекундно падает 10^{11} солнечных нейтрино, мы не ощущаем их воздействия. Не исключено, что мы также не ощущаем воздействия слабовзаимодействующих частиц других типов, которые дают свой вклад в гравитационное притяжение.

Здесь можно провести аналогию с биологическими экспериментами: известно, что на долю генов приходится лишь 3 % длины ДНК человека. Роль остальных 97 % длины ДНК человека пока не идентифицирована. Подобная ситуация имеет место и в современной астрофизике: лишь 4 % массы Вселенной имеет известную, барионную составляющую, а 26 % массы Вселенной составляют частицы пока неизвестной природы.

Как выяснилось в последние несколько лет, 70 % энергии Вселенной составляют не частицы, а поля, тоже неизвестной пока природы. Известно лишь, что эти поля обладают отрицательным давлением и, как следствие этого, вызывают гравитационное отталкивание, а не притяжение. В результате этого гравитационного отталкивания Вселенная расширяется с ускорением на больших расстояниях. Таким образом, астрономами открыта принципиально новая форма материи, природу которой ученым предстоит разгадать в ближайшие десятилетия.

Третья проблема современной астрономии – это проблема черных дыр во Вселенной. К настоящему времени открыто около 100 черных дыр. Из них свыше 80 – сверхмассивные ($M = 10^6 \div 10^9 M_\odot$, $M_\odot$ – масса Солнца, $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$ г) черные дыры в ядрах галактик и около двух десятков – черные дыры звездной массы ($M \cong 10 M_\odot$) в двойных системах. Замечательно то, что все необходимые условия, накладываемые на наблюдательные проявления черных дыр общей теорией относительности (ОТО) Эйнштейна, выполняются. Это дает основания современным астрономам, разумеется, с некоторой натяжкой, называть эти 100 кандидатов в черные дыры просто черными дырами. В ближайшем десятилетии планируется запуск космического рентгеновского интерферометра с угловым разрешением 10^{-7} секунды, что позволит измерить радиусы черных дыр в ядрах ближайших галактик и непосредственно наблюдать процессы падения вещества вблизи горизонта событий черной дыры. Это позволит получить достаточные критерии для отождествления массивных компактных объектов с черными дырами и окончательно доказать существование черных дыр во Вселенной.

Уже сейчас ученые серьезно задумываются о следствиях существования черных дыр. Если черные дыры существуют, значит, ОТО верна, и гравитация действительно связана с кривизной пространства–времени. Но тогда, изменяя кривизну пространства–времени, человек может научиться управлять ходом времени и, по крайней мере теоретически, он может в далеком (а может быть не очень далеком?) времени построить машину времени. С помощью машины времени он сможет путешествовать в будущее и в прошлое.

При путешествии в прошлое он может встретить своего дедушку и, при желании, убить его (ведь человек обладает определенной свободой воли). Но тогда возникает вопрос о том, как же этот человек появился на свет? Над разрешением этого “парадокса дедушки” ученые интенсивно размышляют в последние годы. Кажется, уже нащупываются пути преодоления этого парадокса: создание машины времени связано с реализацией так называемой петли хода времени, а при наличии такой петли классический принцип причинности уже не работает. В данном случае состояние объекта определяется не только прошлым, но и будущим. Вообще, следует подчеркнуть, что состояние и движение горизонта событий черной дыры зависит от будущего внешнего пространства–времени. Именно в силу таких необычных и парадоксальных свойств черных дыр многие ученые с трудом верят в возможность существования этих экзотических объектов во Вселенной. Но, как показывают астрономические наблюдения последних лет, скорее всего, черные дыры во Вселенной действительно существуют!

Б. Е. ЖИЛЯЕВ

кандидат физико-математических наук

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ

Любые рассуждения о Вселенной носят преходящий характер. Не существует строгого – в философском, физическом и математическом смысле – определения Вселенной. Таким образом, мы пытаемся рассуждать о том, что точно не определено. Будучи тотальным объектом, Вселенная находится вне сферы физического опыта. С ней нельзя экспериментировать подобно тому, как это делается с бактерией, вирусом или элементарной частицей. С физической точки зрения анализ ранних стадий развития Вселенной в рамках уравнения общей теории относительности (ОТО) сталкивается с запредельными трудностями. Как отмечают авторы одного учебника по современной геометрии для студентов-математиков, "анализ уравнений Эйнштейна – трансцендентно сложная задача"[1]. С учетом этого научное описание Вселенной мало чем отличается от попыток "истолкования мира", предпринятых еще Пифагором или учения о "домирном бытии Логоса" в духе Иоанна о том, что было до сотворения мира. По замечанию индийского философа С. Чаттерджи, анализ проблем, выходящих за пределы физического опыта, относится уже к компетенции не физики, а метафизики.

Рождение Вселенной только условно можно отнести к некоему моменту в прошлом примерно 15 млрд лет назад. В действительности акт, именуемый "рождением", состоялся в безначальном прошлом. Рождение Вселенной относится к периоду Планковской эры, к моменту $t \sim 10^{-43}$ с от условного начала, когда метрика пространства–времени еще не описывалась классической ОТО. В этот период пространственные координаты и время, входящие в уравнения ОТО, не могут служить средством описания движения в силу квантово-механического соотношения неопределенности. Иными словами, квантовые флуктуации метрики исключают возможность рассмотрения эволюции Вселенной на ранних стадиях в терминах траекторий и промежутков времени, т. е. координатно–временного представления. Перефразируя Иоанна, можно сказать, что "времени еще не было", как, впрочем, и пространства в привычном понимании этих терминов.

С физической точки зрения рождение Вселенной можно рассматривать как квантовый скачок, т. е. квантовый переход из допланковской эры в постпланковскую. В соответствии с методологией квантовой физики такой переход можно рассматривать только в вероятностном смысле. Количество возможных уровней переходов, вероятности переходов между уровнями (матричные элементы) могут рассматриваться на стадии сегодняшних знаний как неопределенные множества, ансамбль состояний и величин.

Квантовое рождение Вселенной в Планковскую эру созвучно идеям, развивавшимся математической школой Гильберта, в частности, идее Эверетта–Гильберта об "ансамбле миров". Согласно этой идее Вселенная рассматривается как вектор состояний, имеющий множество ответвлений, из которых лишь одно может быть познано определенным наблюдателем, хотя остальные столь же реальны. Множественность миров (вселенных) Эверетта–Гильберта с равным основанием можно рассматривать как с позиций физики, так и с позиций вышней цели. Последняя допускает

[1] *Дубровин Б. и др.* Современная геометрия.–М.: Наука, 1986.–С. 703.

антропологический аспект образования вселенных, выдвинутый в 1970-е годы английским астрофизиком Б. Картером, когда каждой человеческой цивилизации дается в приданное своя вселенная. Это разрешает парадокс "Великого Молчания" Ферми и позволяет уму успокоиться на мысли, что Земля – единственная цивилизация в нашей Вселенной. Множественность миров как идея приобретает естественный, хотя и непривычный статус, подобно множеству элементарных частиц (электронов, протонов *etc.*), живущих сами по себе среди множества подобных себе вокруг себя. Однако понятия "сами по себе" и "вокруг себя" должны рассматриваться с точки зрения геометрии поверхностей в многомерном пространстве.

ОБЪЕКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И СУБЪЕКТИВНЫЙ ОПЫТ

Отрицание существования "невидимого мира", ноуменов Канта, признание эксперимента (физического опыта) как единственного критерия истины – это аксиома, принятая наукой. Это самоограничение следует рассматривать как добровольный выбор. Такой выбор – вопрос предпочтения. Его отношение к истине как таковой не носит доказательного характера, подобно теореме. Следует всегда помнить, что это аксиома, постулат, которые не доказываются, а утверждаются.

В этом отношении наука, как институт сознания, ничем не отличается от веры, обе зиждутся на постулатах. На своем пути наука стяжала себе огромный авторитет. Но нельзя отрицать и того факта, что наука всегда стремилась стать высшим судьей в вопросах истины, молчаливо не признавая таких прав за другими институтами сознания. Другие "миры", вселенные признаются наукой, хотя и остаются за пределами эксперимента, объективного опыта. Бог, как трансцендентная реальность, не признается наукой, и, поскольку находится вне сферы эксперимента, его истинность не может быть доказана или опровергнута наукой. Поэтому наука, стоящая на аксиоматической платформе в вопросах истины, и Божественный Принцип, объявляющий Бога Креатором Вселенной и ее Менеджером, являются равноправными участниками игры, называемой в восточной традиции Божественной Лилой (Божественной Игрой).

Следует учитывать, что научный опыт выражается в понятийной форме, понятия отображаются вовне в вербальной форме, т. е. в виде слов. Нет подходящего слова – и понятие не может быть выражено, вербализировано. Душевные и духовные переживания сплошь и рядом не могут быть выражены словами, выходят за рамки понятий. Эти переживания субъективны по своей природе, т. е. являются субъективным опытом. Однако мало найдется смельчаков, станущих утверждать, что они не отражают реалий мира.

Мы можем сказать, что эксперимент (experiment) есть объективный опыт, отображение закономерностей внешнего (видимого, феноменального) мира. Внутренние переживания (experience), субъективный опыт – отображение психического, духовного и – не исключено – невидимого мира, который нельзя признать ни видимым, ни феноменальным.

Субъективные переживания разных людей поражают сходством, детальностью совпадений. Это относится в равной мере как к явлениям феноменального мира (полигона науки), так и невидимых миров (метафизических, мистических, оккультных, аномальных явлений). Результаты субъективных переживаний (опытов) можно сравнить, обобщить в той же мере, как можно сравнивать и обобщать результаты физических экспериментов. Такой обобщенный субъективный опыт, построенный на ансамбле независимых субъектов, будучи вербализированным, становится **знанием**, духовным знанием. По своему значению он не уступает научному знанию, но признается наукой лишь выборочно, на основании "вкусовых" критериев.

Обобщенный субъективный опыт человечества открывает путь к знанию и познанию явлений невидимого мира, таких как аномальные психические явления (телепатия, ясновидение и пр.), аномальные физические явления (НЛО и др.), не поддающиеся объективной экспериментальной проверке. Признание ценности субъективного опыта позволит изменить наше отношение к чудесам Библии, гармонизировать наши отношения с явлениями, которые существуют независимо от того, признаем ли мы их или закрываем глаза на их существование.

Т. П. СЕРГЕЕВА

кандидат технических наук

ЧЕЛОВЕК–СРЕДА–КОСМОС И ФИЛОСОФИЯ КОСМИЗМА

В наше время происходит новое осмысление взаимодействия человека, среды его обитания и Космоса. Ученые и философы, социологи и религиозные деятели пытаются найти выход из той сложной ситуации, в которой оказалась наша планета. И многие из них сейчас обращаются к мировоззрению, возникшему в начале XX века и получившему название философии космизма. Истоки этой философии прослеживаются в Украине, но окончательно оформилась она в научном и философском пространстве России. Среди выдающихся представителей этого направления такие ученые как К. Э. Циолковский, А. Л. Чижевский, В. И. Вернадский, философы Н. А. Бердяев, В. С. Соловьев, П. А. Флоренский. К этой же замечательной плеяде мыслителей можно отнести Елену Ивановну и Николая Константиновича Рерихов. Мировоззренческая система, представленная в их творческом наследии, полностью вобрала в себя философию космизма.

В коротком выступлении невозможно дать строго научное описание этой системы. Постараюсь лишь отметить основные положения, относящиеся к теме нашей дискуссии. Прежде всего, в рамках этого мировоззрения, называемого энергетическим, Мироздание рассматривается как беспредельная система одухотворенного Космоса, включающая в себя множество энергетических структур. Человек, земля и ближний космос являются компонентами такой энергетической структуры, которые вступают во взаимодействие между собой в соответствии с определенными законами, действующими во всей Вселенной. Среди них – Закон причинно-следственных связей, Закон соответствия формы и энергии, Закон космического сотрудничества, Закон равновесия начал и многие другие. Человек в своем бытии не может быть отделен, обособлен от энергетической структуры Космоса. Он несет ее в себе и поэтому живет по тем же законам, что и Космос. Геокосмическая эволюция человечества рассматривается как энергетический процесс, в основе которого лежит энергетический обмен между людьми, человеком и средой его обитания, человеком и космосом. В этой эволюции человек может играть пассивную роль, являясь лишь ее объектом. Но может, вооружившись знанием законов, управляющих эволюционным процессом, стать осознанным участником космической эволюции, ее субъектом. Для того чтобы из объекта эволюции превратиться в ее субъекта, человек должен пройти тот путь духовно-нравственного совершенствования, в конце которого он обретает знания и способность влиять на ход и качество эволюции. Такие категории, как культура, красота, любовь составляют опору эволюции и определяют ее качество. Отсутствие такой опоры может прервать течение эволюции.

Аналогичный подход мы можем увидеть и в учении о биосфере и ноосфере В. И. Вернадского. Осознание себя в космическом пространстве, энергетическое взаимодействие живого вещества и космоса, нравственное совершенствование человека как путь эволюционного развития. Вернадский говорил, что энергия человеческой культуры ускоряет эволюцию косного вещества, а войны и другие аморальные действия препятствуют образованию ноосферы.

Хотелось бы еще коснуться проблемы, которую затронул Ярослав Степанович в своем выступлении: где же Бог – внутри человека или вне его? Большинство мировых религий и философий утверждают, что и вне, и внутри. Если по-научному беспристрастно проанализировать тексты мировых религиозных учений, как это сделала в свое время Е. П. Блаватская, то можно прийти к выводу, что Бог есть не кто-то человекоподобный, где-то обитающий, а представляет собой некую особую, не поддающуюся пока осмыслению и изучению духовную субстанцию, разлитую по всей Вселенной, обладающую силой, энергией, со своими законами развития и взаимодействия с проявленным миром.

Из всего этого следует вывод: лишь тогда система Человек–Земля–Космос придет в равновесие, когда понимание своей причастности к процессам космического масштаба, осознание своей ответственности за них станет для людей таким же естественным, как дыхание. Это положение является одним из основных в философском наследии Рерихов.

И еще я присоединяюсь к словам Ярослава Степановича о том, что Человек – явление далеко не познанное. Действительно, его возникновение, эволюция, строение и предназначение остаются неразрешенной пока загадкой. И нам еще предстоит с новых позиций – позиций космического мироощущения и миропонимания – подойти к изучению Человека, среды его обитания – нашей прекрасной Земли и Вселенной, создавшей эту среду и ее обитателей, заложившей в них свои элементы и структуру и определившей таким образом законы их эволюции.

К СИНТЕЗУ РАЦИОНАЛЬНОГО И ИРРАЦИОНАЛЬНОГО В ПОЗНАНИИ МИРА

Вы, чей резец, палитра, лира,
Согласных муз одна семья,
Вы нас уводите из мира
В соседство инобытия.
И чем зеркальней отражает
Кристалл искусства лик земной,
Тем явственней нас поражает
В нем жизнь иная, свет иной.

Вячеслав Иванов

Осмысление взаимодействия и взаимовлияния триады “Человек” – среда его обитания (планета Земля) – “Вселенная” происходит с самого начала существования homo sapiens, являясь частью общего процесса познания и освоения им мира. Мы можем проследить, как на протяжении доступных исследованию тысячелетий истории человечества эволюционировало восприятие человеком этой проблемы и как это влияло на баланс сил триады.

В мифологическом мироощущении эта триада была неразрывна. Человек в те давние времена жил в гармоничном единстве с Природой Земли и Космосом, его жизнью управляли космические законы, принесенные “сошедшими с неба” культурными героями. Реальное, земное, рациональное восприятие мира существовало одновременно с ирреальным, запредельным, не вступая с ним в противоречие. Там существовало иное время, иные пространства, а участники сакральных и космогонических действий обладали неземными возможностями. Герои мифов могли изменять свои тела, превращаться в животных, легко переходить из одной сферы в другую. Русский философ Н. А. Бердяев относил миф к реальности “другой действительности”, считая, что правда всех преданий и мифов не в том, что они дают какие бы то ни было естественнонаучные или исторические познания, которые могут конкурировать с современной историей, геологией, биологией и т.д., а в том, что они символически раскрывают глубочайшие процессы, совершавшиеся в какой-то иной, вечной действительности. Таким образом, сосуществование реального и ирреального в представлении "человека мифологического" раздвигало время и пространство, делало его самого, планету, на которой он жил и творил и всю Вселенную элементами одного явления, соучастниками одного грандиозного космического действа. Человек ощущал себя частицей единой системы Человечество–Земля–Космос. Это и определяло ту гармонию в его отношении к Природе, которая обеспечивала стабильность и устойчивость триады.

Со временем произошло разделение синтетического явления – мифологического мировоззрения – на религиозное и научное. Религиозному мировоззрению изначально было свойственно гармоничное отношение к миру. Мы можем увидеть это на основе анализа одного из сочинений раннехристианской литературы – "Беседы на Шестоднев" Василия Великого. Понять мир для Василия Великого означает постичь этот мир как гармонию и красоту, разлитую по всему его составу и скрытую в каждой части, увидеть в нем согласованное целое, состоящее из вещей, взятых во всей их полноте и завершенности. Постичь красоту и внутреннюю согласованность Космоса или даже малой его части – значит прославить Творца. Религиозное сознание, устремленное к такому познанию, утверждает благоговейно-бескорыстное отношение к бытию как проявлению чего-то Высшего, иррационального. Соприкосновение, хотя бы кратковременное, с Высшим, дарящее способность радоваться иным радостям, создает противовес разрушительной активности человека, когда окружающая природа становится для него лишь материалом его преобразовательной деятельности. Человек стремится корректировать свое поведение в соответствии с высшей шкалой ценностей, налагая жесткие ограничения на характер и масштаб своих действий. Тем самым создается предпосылка для такого способа человеческого существования, который не ведет к экологической катастрофе. Мы видим, что религиозное, в данном случае христианское, миропонимание, которое господствовало в западном мире более полутора тысяч лет, в основе своей способствовало гармоничному взаимодействию человека и Вселенной.

Наука, находясь в поле духовности, нравственного и морального влияния религии, также вначале поддерживала единение человека с природой, мирозданием. Однако по мере усиления дифференциации в самом религиозном бытии, с появлением различных конфессий и укреплением института церкви пути науки и религии стали расходиться. Ко времени Джордано Бруно, Коперника и Галилея церковь заняла антагонистическую позицию по отношению к науке, а наука, начав с критики религиозных представлений о строении материального мира, стала затем подвергать сомнению существование Бога и невидимого мира. Рационализм и примитивный материализм одержали победу над течением духовности, связанным с Высшим. Бездуховность "свободной" науки привела в итоге к ужасающим "достижениям" техногенной цивилизации, печальные итоги которых со всей очевидностью представлены Хиросимой, Чернобылем и надвигающимся планетарным экологическим кризисом. Засорение околоземного пространства так называемым "космическим мусором" дополняет картину. Равновесие триады "Человек–Земля–Космос" было нарушено.

Сейчас прогрессивно мыслящие ученые, философы и общественные деятели активно ищут выход из этой ситуации. И в поисках путей все чаще обращаются к разработкам ученых и философов – В. И. Вернадского, К. Э. Циолковского, А. Л. Чижевского, Тейяра де Шардена, Нильса Бора, В. С. Соловьева, Н. А. Бердяева, П. А. Флоренского и многих других, которые сформировали в XX веке так называемую философию космизма. Предлагаемая ими система взглядов на мир, взаимоотношения Человека с Природой и Космосом открывает возможность переустройства жизни на Земле и восстановления утраченного равновесия во взаимодействии человека и геокосмических сфер.

Противостояние созидательной мысли силам разрушения, этизация науки, ее одухотворение не сложатся сами по себе. Для этого требуется нравственное преображение человечества. Исторический опыт показывает, что без существования высших целей и устремлений, без понимания, что Вселенная–Земля–Человечество – это единый живой и одухотворенный организм, человек разумный не сможет пребывать в гармонии с мирозданием. Однобокое рациональное восприятие мира завело человечество в тупик, и чтобы выбраться из него, нужно вернуться к синтезу чувства и разума, интуиции и логики, к единству интуитивного, иррационального и аналитического, рационального. Путь к этому лежит в пространстве высокой Культуры и искусства, несущего гармонию красоты иных миров. Николай Константинович Рерих – художник, исследователь, писатель, мыслитель, главной целью своей жизни избравший служение красоте и делу защиты культуры, утверждал: "Именно Культура есть сознательное познавание, духовная утонченность и убедительность. <...> Культура есть то прибежище, где дух человеческий находит пути к религии и ко всему просветительскому и прекрасному"[1]. Известный философ П. Д. Успенский считал, что впереди всех других человеческих способов проникновения в тайны природы идет искусство. "Чтобы возыметь основной замысел, чтобы постигнуть художественный предмет, – писал другой философ серебряного века И. А. Ильин, – ты должен уйти в глубину сердечного созерцания и вопросить из своего созерцающего сердца Бога, мир и человека о тайнах их бытия. Погрузись в эту духовную глубину, как в некое море, и вернись из нее с жемчужиной. Затеряйся в блаженных простран ствах духовного опыта и принеси оттуда самый лучший цветок и соблюди в своем творчестве верность этой жемчужине и этому цветку"[2].

Не в этом ли свойстве искусства – создавать физическую форму в мире материальном для этих "жемчужин духа" и "цветов духа", добытых творческой, созидающей личностью путем духовного проникновения в мир Высший, содержится ключ к синтезу рационального и иррационального, материального и духовного, логического и образного, выраженного и несказанного? И не в этом ли примере должна искать наука пути своего обновления?

"Наука должна быть, прежде всего, этической, непредубежденной, не отрицающей никакой формы знаний, – пишет современный ученый Л. В. Шапошникова, развивающая в своих трудах философию космизма. – Новая наука обязана использовать вековые духовные наработки человеческой культуры и выйти на новый уровень изучения тонких энергий и тонких явлений, которые требуют научных объяснений и научной практики. <...> Ибо эта одухотворенная наука станет пространством связи с Высшим, каковым до нее являлась религия. Синтез религии и науки не только создаст новые богатые возможности для связи с Высшими мирами и Высшей энергетикой, но и предотвратит тот духовный дисбаланс между различными формами знания, который может возникнуть в силу недостаточного уровня человеческого сознания. Пространство грядущего XXI века по всей видимости и станет главным полем процессов синтеза религии, науки и искусства, которые приведут к формированию качественно нового сознания и мышления, к созданию новой системы Знания и Познания"[3].

Новая наука, опирающаяся на современные достижения ученых, обогащенная духовным опытом религии, свободной от конфессиональных оков, одухотворенная Красотой иных миров, донесенной до нас в произведениях истинного искусства – такая наука может стать основой миропонимания новой эпохи. Утверждая синтез Искусства, Науки и Религии в общем поле Культуры, человечество может выйти на новый эволюционный виток своего развития – удивительный и прекрасный.

[1] *Рерих Н.* Культура победительница // Листы дневника.–М.: МЦР, 1996.–**1**.–С. 81.
[2] *Ильин И. А.* Путь к очевидности.–М., 1994.–С. 52.
[3] *Шапошникова Л. В.* Град светлый.–М.: МЦР, 1998.–С. 62.

А. П. ВИДЬМАЧЕНКО

доктор физико-математических наук

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

Биосфера Земли, как область распространения живого вещества, имеет верхнюю границу жизни в атмосфере на высотах 22–25 км, где обнаружены споры бактерий и грибов. Нижняя граница жизни проникает в литосферу на глубину в 2–3 км, концентрируясь в основном в слое глубиной 6–8 м. Только в гидросфере жизнь распространяется на всю глубину, вплоть до дна Марианской впадины в Тихом океане – 11.022 км. Земной жизнью освоены следующие диапазоны физико-химических факторов среды: температура – от –18°С до +104°С; pH – от 0 до 13; гидростатическое давление – от 0 до 1400 атм; соленость – от бидистиллята до насыщенных растворов солей.

Сам термин "биосфера" был введен в обиход французским естествоиспытателем Ж.–Б. Ламарком (1744–1829), который употреблял его в смысле "сферический организм" планетарного масштаба. Научное решение проблемы происхождения жизни и биологического поля имеет огромное познавательное значение и в теоретическом, мировозренческом аспекте, и в прикладном. К последнему относятся: создание основы синтетической теории эволюции (поскольку теория Дарвина оставила без ответа ряд вопросов, как, например, возникновение первичных живых организмов, из которых развилось все живое); синтез правил целенаправленного конструирования и создания квазибиообъектов (например, на основе кремния) и биообъектов различного уровня организации с заданными свойствами (направление, принципиально отличное по теории и методам от генной инженерии). Основная проблема теории – само возникновение из первичной хаотической смеси различных химических элементов и простых соединений самоорганизующихся полимерных систем и их последующая эволюция. Очевидно, что эволюция началась со случайных событий или с относительно закономерных "актов творения" неясной пока физико-химической природы. Однако случайную самоорганизацию хаоса и возникновение необходимой эволюции очень трудно представить. Оценки вероятности этих процессов лежат в интервале от 10^{-255} до 10^{-800}. Следовательно, эти события были практически невероятными.

С учетом общепринятого сейчас мнения, что появление и образование на нашей планете живой материи есть явным образом явление космического характера, можно сделать вывод, что первый импульс "творения" жизни должен был иметь космическое происхождение. Возможность космического влияния на биологические и физико-химические процессы подтверждаются шестью независимыми группами фактов: 1. Эффект Пиккарди. 2. Лунные и планетные воздействия на биологические объекты различного уровня организации и сложности. 3. Солнечные, лунные и планетные влияния на физические явления в атмосферах планет. 4. Эффекты влияния на атмосферу космических лучей. 5. Синхронизмы различных популяций биообъектов в разных местах Земли. 6. Долговременные флуктуации физико-химических и биологических показаний проб биожидкостей.

Возникновение жизни можно рассматривать как переходной процесс становления биосферы после первичного импульсного воздействия, поскольку по многим косвенным данным он отличается следующими характерными особенностями: а) сравнительной кратковременностью; б) планетарным масштабом процесса. В пользу этого свидетельствуют следующие факты: 1. Возраст земной коры составляет 4.7–5.0 млрд лет. По последним данным нижний рубеж возникновения жизни опустился до 3.45–3.55 млрд лет и вплотную приблизился к возрасту древнейших осадочных пород (3.76 млрд лет) – метакварцитов, гнейсов, гранитов. Если предположить, что углеводороды сланцев являются биологическими останками, то тогда возраст жизни составит 3.1–4.7 млрд лет. 2. Процесс появления органического вещества на Земле имел свою особенность: вся масса органики ($\sim 10^{15}$ тонн) возникла в течение очень малого (в геологическом масштабе) времени ($\sim$1–10 млн лет) сразу в масштабе всей планеты. В. И. Вернадский в связи с этим писал: “... как количество живого вещества, так и его состав, количество отдельных составляющих его химических элементов остались неизменными, или почти неизменными в течение геологического времени”. То есть живое вещество эволюционировало через разные формы своего существования, но его масса осталась практически неизменна и по сей день.

Следовательно, импульс мог представлять собой кратковременный, порядка веков–тысячелетий, мощный поток либо космического корпускулярного излучения, возникающего, например, при вспышках сверхновых звезд, либо когерентного электромагнитного излучения светового или околосветового диапазонов от космических лазеров. Для построения газовых лазеров чаще всего используют CO_2. А ведь атмосферы наших “соседей” Венеры и Марса в значительной степени состоят именно из этого газа. Тогда как Солнце на некоторой стадии своего развития могло служить мощным источником энергии для накачки активной среды такого естественного инфракрасного лазера. При определенных условиях облучения планет Солнцем могло быть оказано значительное креаторное влияние на физико-химические условия в атмосфере нашей Земли. Последняя первопричина, по-видимому, является более предпочтительной, поскольку корпускулярное излучение менее организовано, чем когерентное электромагнитное. И, кроме того, энергия корпускулярного излучения, конечно, может быть использована для абиогенеза органических веществ, однако не сможет являться фактором планетарного упорядочивания и структуризации синтезированных веществ. Кроме того, в биосистемах роль корпускулярных излучений как факторов регуляции того или иного уровня – незначительна из-за отсутствия специфических рецепторов на клеточном уровне. Тогда как, например, у растений и водорослей есть достаточно развитый фотосинтетический аппарат для утилизации энергии электромагнитных волн светового диапазона. Общеизвестны также и роль света в регуляции жизнедеятельности, и наличие фоторецепторов у млекопитающих и у других живых систем, и существование межклеточных световых потоков.

Такой кратковременный поток должен был иметь характер уединенного волнового пакета (солитона) и обладать, соответственно, следующими свойствами: способностью сохранять свою форму, несмотря на влияние воздействий, не превышающих определенного порога; способностью сливаться с себе подобными, а затем распадаться на отдельные пакеты, сохраняя те же характеристики, которые предшествовали слиянию; способностью поглощать энергию внешних возмущений. Такой импульс, взаимодействуя с лито-, гидро-, атмосферой и с абиогенно синтезированной органикой, способствовал: дополнительному катализу и синтезу более сложных биоорганических веществ; генерации новых морфологически устойчивых протоструктур; стабилизации и поддерживанию новых и уже существующих структур.

Астрономические масштабы расстояний между Землей и неким гипотетическим источником креационного импульса, безусловно, уменьшают его энергию. Закономерно ввозникает вопрос: может ли воздействие с характерной энергией, меньшей средней энергии теплового фона (kT), иметь хоть какую-нибудь биологическую значимость? Однако концепция стохастического резонанса позволяет утвердительно ответить на данный вопрос. Стохастический резонанс проявляется в том, что в бистабильной или мультистабильной системе, находящейся под воздействием шума и периодического сигнала, отношение сигнал/шум в ответе системы проходит через максимум при увеличении внешнего шума (под ответом обычно понимается "переключение" системы из одного стабильного состояния в другое). При отсутствии периодического сигнала такие переключения являются чисто случайными, а при его появлении переключения становятся более или менее скоррелированными с периодическим сигналом. Эта коррелированная с сигналом составляющая ответа неразличима в широком диапазоне интенсивностей шума. Однако при некотором резонансном значении интенсивности шума корреляция улучшается, иногда до возникновения функциональной связи. В рамках нашего изложения в качестве шума можно рассматривать флуктуации баланса поглощения и излучения Землей солнечной энергии (как основной компонент земной энергетики), а в роли периодического воздействия выступает гипотетический волновой пакет.

Некоторые виды информации сохраняются на ДНК с древнейших времен до наших дней. То есть в определенном смысле ДНК – это своеобразная летопись всего периода существования жизни на Земле. Согласно так называемому принципу непрерывности, в природе запрещены направления эволюции, которые сводят на нет всю накопленную в биоструктурах информацию. Сейчас установлено, что у многих организмов количество содержащейся в их клетках генетической информации избыточно. Так, в геноме человека 99 % избыточной, т. н. "молчащей" ДНК. Если бы удалось ее расшифровать, то, возможно, там мы смогли бы "прочитать" и историческую сагу об этом первопричинном креационном импульсе?

Участники дискуссии "Человек–Среда–Космос" выражают признательность доктору медицинских наук П. В. Белошицкому за идею организации этого форума, предоставившего ученым из различных отраслей науки возможность междисциплинарного общения.

Author Index