

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

4 (314)

ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2017 Ж.

ИЮЛЬ – АВГУСТ 2017 г.

JULY – AUGUST 2017

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошқаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.
Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

Джумадилаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. чл.-корр. (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

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

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

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

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

E d i t o r i n c h i e f
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. corr. member. (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 5 – 10

UDC 532.133, 371.62, 372.8.002

N.S. Saidullayeva, K.A. Kabyzbekov, D.T. Pazylova, N.S. Tagaev, A.O. KalikulovaSouth-Kazakhstan State University named after M.O.Auezov, Shymkent
nurila-60@mail.ru**ORGANIZATION OF COMPUTER LAB WORK
TO STUDY THE POWER OF AN ELECTRICAL
CIRCUIT OOOED ON AN EXTERIOR LOADING**

Abstract. The paper proposes a model of the computer lab work organization for the study of the capacity of the internal resistance of the current source to be externally supported and the experimental determination of the resistance to the external resistance of the consumer. The model of the form includes brief information from the theory, control questions for checking students' readiness for work, introductory assignments with a computer model and preparation for work, tasks with subsequent experimental verification on a computer model and research assignments. Introductory tasks with a computer model include the ability to collect the necessary electrical circuit on the model's mounting table, set the necessary parameters of the circuit elements and determine the intervals of their change. In problems with subsequent experimental verification of answers to a computer model, it is necessary to solve problems on paper beforehand and then compare the results with the indications of the elements of the computer model. The course of solving problems must be submitted together with the form. Research tasks provide for establishing the dependence of the allocated power on the external load on its resistance, plotting the graph of this dependence and determining the condition for allocating maximum power on an external load. The proposed model of the form is approved in Nazarbayev intellectual school of physical and mathematical direction in Shymkent, the regional school "Daryn" waiting for gifted children and in the school-gymnasium named after M. Auezov of Aris. Most of the students carried out assignments with great interest.

Keywords: internal resistance of the current source, external resistance, power.

President of the Republic of Kazakhstan N.Nazarbayev in the Address to the people of Kazakhstan "Strategy "Kazakhstan-2050" - a new political course of the state", having outlined the priorities in the sphere of education, said: "We are to modernize teaching methods and actively develop on-line education systems, creating regional School centers. We must intensively introduce innovative methods, solutions and tools into the domestic education system, including distance learning and on-line training, accessible to all comers [1].

To realize the tasks set, the Department of Theory and Methods of Teaching Physics at the SKSU named after Auezov of the MES of the Republic of Kazakhstan since the 2011-2012 academic year introduced the discipline "Information technologies in education", "Information technologies in the teaching of physics", "Methodology of the use of electronic textbooks" in the curriculum. These programs envisage the development and use of modern information technology in the teaching of physics.

One of the difficult tasks of implementing the results of using information technologies in educational institutions is the insufficient practical ability of teachers of schools to use computer models of physical phenomena to organize laboratory work. From the organization of computer laboratory works, activization, motivation and, ultimately, the effectiveness of training, largely depends. On the creation and use of models of forms of organization of computer laboratory works on the study of various physical phenomena in the educational process we have previously written [2-17].

A powerful means of teaching electricity, in the opinion of many domestic foreign experts, is products [18] created under the guidance of Professor V.V. Kashkarov (Kazakh National University

named after Al-Faraby). The peculiarity of this resource is that all the elements of the electrical circuits (resistor, capacitor, inductance, current source, etc.) on the computer model resemble the real elements produced by the industry. Using this resource, we have developed a model of the form of organization of computer laboratory work to study the power released on the external load, which is proposed.

Purpose of work: Investigation of the dependence of power allocation on external resistance in DC circuits and determination of the condition of matching current sources with external load.

Class **Full name of the student**

1. Brief information from the theory.

Any real source of current has an internal resistance. Therefore, when connecting a current source to the load, heat will be released both in the load and inside the current source (at its internal resistance). At what load, connected to this current source, will the maximum power be allocated?

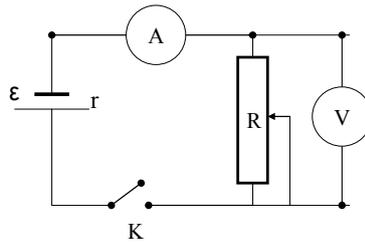


Figure 1 - Consider the circuit shown in Figure 1. The current flowing in the loop is determined from Ohm's law for the complete circuit:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \tag{1}$$

Where ε is the EMF of the current source, r is the internal resistance of the source, R is the load resistance.

The voltage U on the load R will be equal to:

$$U = R \cdot I = \frac{\varepsilon \cdot R}{R + r}, \tag{2}$$

And the power P allocated to the external resistance R (consumer) will be:

$$P = U \cdot I = \frac{\varepsilon^2 \cdot R}{(R + r)^2}, \tag{3}$$

As can be seen from the formula (3), the power released on the load R will be small if the load resistance R is small ($R \ll r$). The power will also be low at very high load resistance ($R \gg r$). Calculation shows that the maximum power will be allocated to the load when the internal resistance r and the load resistance $R = r$ are equal. In this case:

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4R}, \tag{4}$$

The coordination of the external load and the internal resistance of the current source is of great practical importance.

2. Control questions for checking the readiness for work.

2.1. Why does the voltage increase on it with increasing load resistance?

Answers:

2.2. Explain why the power dissipated on the load is small, if the load resistance is very different from the internal resistance of the source? Note the formulas for the current (1) and voltage (2) on the load.

Explanation:.....

3. Introductory tasks with a computer model.

3.1. Assemble the circuit of the computer model on the mounting board of the computer model in Fig. 1 (the key is in the open position).

3.2. To what extent can the operating voltage (EDS) and the internal resistance (operating power) of the current source be changed?

Answers:

3.3. In what limits it is possible to change the resistance of the rheostat (variable resistor)?

Answers:

3.4. Specify the limit of current measurement with a multimeter. Answers:

3.5. Specify the voltage measurement limit of the multimeter. Answers:

4. Preparation for work.

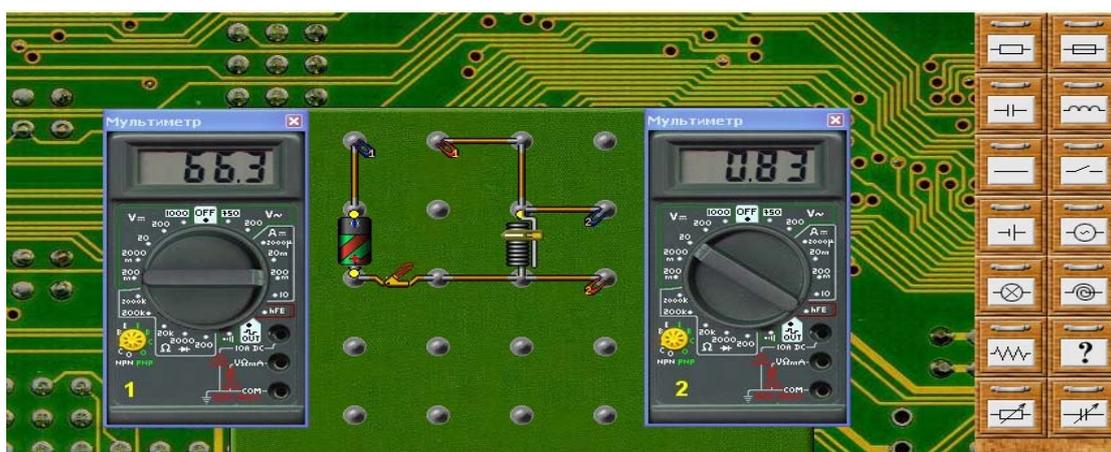


Figure 2

4.1. Assemble the diagram shown in Fig. 2 on the mounting table.

Select the values for the element parameters as follows: Battery: $e = 1.5$ V; $R = 10$ Ohm; Rheostat: to $R = 30$ ohms and turn on the key.

5. Tasks with subsequent verification of the answers according to the indications of the computer model.

(The tasks must be solved first on paper, then compare the results with the indications of the computer model.) The task solution should be submitted together with the form.

5.1. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with a resistance of 3 ohms rheostat and compare the readings on a computer model.

Answers:

5.2. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with a 10 ohm rheostat and compare the readings to a computer model.

Answers:

5.3. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with a 15 ohm resistor and compare the readings on a computer model.

Answers:

5.4. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with a rheostat resistance of 20 ohms and compare the readings on a computer model.

Answers:

5.5. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with the resistance of the rheostat 24 ohms and compare the readings on the computer model.

Answers:

5.6. Calculate the readings of the ammeter and voltmeter with a rheostat resistance of 30 Ohm and compare the readings on a computer model.

Answers:

6. Research assignments.

6.1. Changing the position of the rheostat, measure the current in the circuit and the voltage on the rheostat (load). Record the data (rheostat resistance R, current I and voltage U) in table 1. Make an analysis and conclusion:

Table 1

R, Ohm	I, A	U, B	P = U I, Watt
***	***	***	****

6.2. Calculate the power P allocated to the load for different values of resistance rheostat, according to the formula $P = UI$ and put the result in Table 1. Make the analysis and conclusion:

6.3. Construct a graph of power versus load resistance. Determine from the graph the value of the external load resistance, on which the maximum power is allocated. Make an analysis and conclusion:

6.4. Compare the value of the external load resistance obtained by you, at which the maximum power with theoretical (4)

Draw conclusions and conclusion:

Number of completed tasks	Number of errors	Teacher rating

The proposed model of the form was approved in Nazarbayev intellectual school of the physical and mathematical direction of Shymkent, the regional school "Daryn" waiting for gifted children and in the school-gymnasium named after M. Auezov of Arys. Most students with great interest completed all the tasks.

REFERENCES

[1] N.A. Nazarbayev. "Strategy" Kazakhstan-2050 "is a new political course of the state". Message to the people of Kazakhstan. Astana. Www.bnews.kz. December 14, **2012** (in Russ.).

[2] K.A. Kabyzbekov, N.S. Saidullayeva, P.A. Saidakhmetov. Multimedia demonstration models of electromagnetic phenomena and their use in the educational process. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Chemistry in Building Materials and Materials Science in the XX Century" **2008.4**. p. 139-144. (in Russ.).

[3] K.A. Kabyzbekov, N.S.Saidullayeva., P.A. Saidakhmetov, T.A. Turmambekov, Omasheva G.Sh. Computer model of laboratory work "Verification of the Kirchhoff rules" program for computers. Certificate of the State registration of the intellectual property object, № 319.22. 04.**2009**.(in Russ.).

[4] K.A., Kabyzbekov, N.S. Saidullayeva, R.S. Spabekova. Experience of work of the Department of Physics on the creation and expansion of information resources on the discipline "Physics" for techn. special use and their use in the educational process to improve the quality of educational services. // Collected works of conference. Actual problems of education, science and production. 2 vol. SKSU named after M. Auezov, Shymkent. **2008**. (in Russ.).

[5] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, A.S. Arysbaeva. Students independent computer model of the form of laboratory work. Proceedings of the NAS RK, Ph.M. series, Almaty, **2013**. № 6. -P 82-89. (in Kaz.).

[6] K.A. Kabyzbekov, Kh.A. Ashirbaev, P.A. Saidakhmetov, K.Zh. Rustemov, L.E. Baydullaeva. Sample forms for the organization to study the diffraction of light in the computer lab. News NAS of the RK, a series of Physics and Mathematics, № 1 (299), Almaty. **2015**. P 71-77. (in Kaz.).

[7] K.A. Kabyzbekov, P.A.Saidakhmetov, T.K. Turganova, M.A. Nurullaev, L.E. Baidullaeva. Sample collection and spray on the lens modeling lessons. Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, series of Physics and Mathematics №2, Almaty. **2014**. P 286-294. (in Kaz.).

[8] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, P.A. Saidakhmetov, Z.A. Baigulova, L.E. Baidullaeva. Newton's rings to study computer model of the form of laboratory work for the organization. News NAS of the RK, a series of Physics and Mathematics, №1 (299), Almaty, **2015**. P 14-20. (in Kaz.).

[9] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, A.P. Sabalakhova, A.I. Dzhumagalieva. To study the phenomenon of interference of light in the form of the computer laboratory model for the organization. News NAS of the RK, Ph.M., №3 (301), Almaty. **2015**. P 131-136 (in Kaz.).

- [10] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, A.P. Sabalakhova, A.I. Dzhumagalieva. Computer model of the form of organization of work for the study of the effects of Doppler. News National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, section fiz., No. 3 (301) Almaty. **2015**. P 155-160. (in Kaz.).
- [11] K.A. Kabyzbekov. The organization of work in physics, computer laboratory. Work-book. Shymkent. **2015**. P 284. (in Kaz.).
- [12] K.A. Kabyzbekov, Kh.A. Ashirbaev, Arysbaeva AS, Dzhumagalieva A.M. Model of the form of organization of computer laboratory work in the study of physical phenomena. Modern science-intensive technologies, №4, Moscow. **2015**. P 40-43 (in Russ.).
- [13] K.A. Kabyzbekov. Model of the form of the organization of computer laboratory work. On the work of the speed selector. Modern science-intensive technologies, Moscow. **2015** №6. - P 19-21. (in Russ.).
- [14] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, G.S. Serikbayeva Zh.N. Suyerqulova. Free computer lab for the study of mechanical vibrations form a model of the organization. News NAN series of physical. Mat №2. - **2016**. P 84-91. (in Kaz.).
- [15] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, M.A. Nurullaev, N. Artygalin. Model of the form of the organization of computer laboratory work on the investigation of the engine that performs the Carnot cycle. News NAN series physics mat number 2. **2016**. - P 98-103. (in Russ.).
- [16] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, Kh.A. Ashirbaev, F.I. Abdubaeva, A.E. Plovnanova, Investigation of gas operation on a computer model. Bulletin NAS **2016**. P 83-88. (in Russ.).
- [17] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, D.I. Sutibaeva, G.N. Kozybakova. Isobaric process model of the organization of work with a computer laboratory for the study of form. News NAN series of physical-math at №2- **2016**. P 92-97. (in Kaz.).
- [18] <http://electronika.newmail.ru> «Constructor». Electronics beginning. The computer program. Project head Kashkarov V.V. Kaz SNU name of Al-Farabi. Almaty. **2000**. (in Russ.).

ӘОЖ: 532.133, 371.62, 372.8.002

Н.С. Сайдұлғаева, К.А. Қабылбеков, Д.Т. Пазылова, Н.С. Тагаев, А.О. Каликулова

М.О.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

ЭЛЕКТР ТІЗБЕГІНІҢ СЫРТҚЫ КЕДЕРГІСІНДЕ БӨЛІНЕТІН ҚУАТТЫ ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН КОМПЬЮТЕРЛІК ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Аннотация. Мақалада электр тізбегінің сыртқы кедергісінде бөлінетін қуатты зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастыруға арналған, оқырмандарға алдын-ала таратылатын бланкі үлгісі ұсынылады. Үлгіде теориядан қысқаша мәліметтер, жұмысты орындауға дайындығын тексеруге арналған бақылау сұрақтары, компьютерлік модельмен танысу тапсырмалары, нәтижесін компьютерлік тәжірибе арқылы тексеруге арналған есептер, тәжірибелік және зерттеулік тапсырмалар қамтылған.

Компьютерлік модельмен танысу тапсырмаларында монтаждық столда қажетті электр тізбегін құрастыру, тізбек элементтерінің параметрлерін өзгерту мен өзгеру интервалын анықтау қамтылған. Нәтижелерін компьютерлік тәжірибе арқылы тексеру есептерінде оқырман есептерді алдымен қағазда шығарып соңынан компьютерлік тәжірибе нәтижесімен салыстырылады. Қағазда шығарылған есептер бланкімен бірге тапсырылады.

Зерттеулік тапсырмаларда сыртқы кедергіде бөлінетін қуаттың кедергіге тәуелдігін анықтау, бөлінген қуаттың ке-дергіге тәуелділік графигін салу және қуаттың максимал бөліну шартын анықтау қарастырылған. Ұсынылған бланкі үлгілері Шымкент қаласындағы Физика- математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебінде, дарынды балаларға арналған облыстық «Дарын» мектебінде және Арыс қаласындағы М.Әуезов атындағы мектеп-гимназиясында физика сабақтарын өту барысында қолданылды. Оқушылардың басым көпшілігі тапсырмаларды аса қызығушылықпен орындады.

Тірек сөздер: тоқ көзінің ішкі кедергісі, сыртқы кедергі, қуат.

Н.С.Сайдуллаева, К.А.Кабылбеков, Д.Т.Пазылова, Н.С.Тагаев, А.О.Каликулова
Южно-Казахстанский Государственный Университет имени М.О.Ауэзова, г.Шымкент
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МОЩНОСТИ ВЫДЕЛЯЕМОЙ НА ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Аннотация. В статье предложена модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию мощности выделяемой на внешнем сопротивлении и экспериментальном определении условия согласования внутреннего сопротивления источника тока с внешним сопротивлением потребителя. Модель бланка включает краткие сведения из теории, контрольные вопросы для проверки готовности учащихся к работе, ознакомительные задания с компьютерной моделью и подготовка к работе, задачи с последующей экспериментальной проверкой на компьютерной модели и исследовательские задания. Ознакомительные задания с компьютерной моделью предусматривают умения собирать необходимую электрическую цепь на монтажном столе модели, устанавливать необходимые параметры элементов цепи и определять интервалы их изменения. В задачах с последующей экспериментальной проверкой ответов на компьютерной модели необходимо предварительно решать задачи на бумаге и затем сравнивать результаты с показаниями элементов компьютерной модели. Ход решения задач необходимо представить вместе с бланком. Исследовательские задания предусматривают установление зависимости выделяемой мощности на внешней нагрузке от ее сопротивления, построение графика этой зависимости и определение условия выделения максимальной мощности на внешней нагрузке. Предлагаемая модель бланка апробирована в Назарбаев интеллектуальной школе физико-математического направления г.Шымкент, областной школе «Дарын» для одаренных детей и в школе-гимназии им. М.Ауэзова г.Арысь. Большинство учащихся выполняли задания с большой заинтересованностью.

Ключевые слова: внутреннее сопротивление источника тока, внешнее сопротивление, мощность.

Сведения об авторах:

Сайдуллаева Нурила Сайдуллаевна – к. ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Физика для технических специальностей» ЮКГУ им.М.Ауэзова, 87073735675, nurila-60@mail.ru;

Кабылбеков Кенжехан Арыстанбекович - к.ф.-м.н., доцент кафедры «Теория и методика преподавания физики» ЮКГУ им.М.Ауэзова., 87022011512, kenkab@mail.ru;

Пазылова Дана Темирбековна– магистр, старший преподаватель кафедры «Физика для технических специальностей» ЮКГУ им.М.Ауэзова, 87478989526, danapazy1. @mail.ru;

Тагаев Нурлыбек Сайдуллаевич- к.т.н. доцент кафедры «Транспорт, транспортная техника и организация перевозок» ЮКГУ им.М.Ауэзова., 87013430169, nureke_55@mail.ru;

Каликулова Ахмарал Омиралиевна -магистр, старший преподаватель кафедры иностранных языков для гуманитарных специальностей ЮКГУ им.М.Ауэзова, 8 7052256595, mara.81-15@mail.ru

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 11– 18

UDC 517.956

A.T. Assanova¹, H.A. Ashirbaev², A.P. Sabalakhova³

¹ Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan
^{2,3} South-Kazakhstan State University after M.O.Auezov, Shymkent, Kazakhstan
e-mail: anarasanova@list.ru; ashirbaev_1954@mail.ru; sabalakhova@mail.ru

ON THE NONLOCAL PROBLEM FOR A SYSTEM OF THE PARTIAL INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS OF HYPERBOLIC TYPE

Abstract. The nonlocal problem with data on the characteristics for the system of integro-differential equations of hyperbolic type second order is considered. The questions of the existence and uniqueness of a classical solution to the nonlocal problem are studied. The considered problem is reduced to an equivalent nonlocal problem with integral condition by introducing a new unknown function instead of a integral term in the system of equations. The problem with parameter consists of a nonlocal problem for a system of hyperbolic equations with parameter and the integral relation. Algorithms for finding an approximate solution of the equivalent problem with parameter are constructed and the conditions for their convergence are proved. Sufficient conditions for the existence of unique solution to the problem with parameter are established. Conditions of existence of unique classical solution to the nonlocal problem for the system of integro-differential equations of hyperbolic type are obtained in the terms of initial data. Earlier, the method of reduced to an equivalent family of problems for partial differential equations is applied to study of this problem. Sufficient conditions for the existence of unique classical solution of this problem are found in the terms of some matrix compiled by the initial data.

This results are partially supported by grant of the Ministry of education and science of the Republic Kazakhstan, No 0822 / ГФ4.

Key words: nonlocal problem, system of partial integro-differential equations, parameter, algorithm, approximate solution, unique solvability.

1. Introduction. Note that the interest of nonlocal problems for partial integro-differential equations of hyperbolic type has grown. Nonlocal problems are called boundary value problems, in which instead of the classical boundary conditions for the partial integro-differential equations it is given specified combination of values of the unknown function on the boundary of the domain and within it. Boundary conditions are set on the characteristics of the system of hyperbolic equations. The existence and uniqueness of the classical solutions to nonlocal problems for system of hyperbolic integro-differential equations are set. In the present work we consider the system of hyperbolic integro-differential equations of second order in a rectangular domain. Boundary conditions are specified as a combination of values from the required solution and their partial derivatives on first order. We investigate the questions of existence and uniqueness of the classical solution to nonlocal problem for system of hyperbolic integro-differential equations and its applications. For solve to considered problem we use a method of introduction additional functional parameters. The original problem is reduced to an equivalent problem consisting from Goursat problem for system of hyperbolic equations with functional parameters and integral relations. Sufficient conditions of the unique solvability to investigated problem are established in the terms of initial data. Algorithms of finding solution to the nonlocal problem are constructed. The applicability of the obtained results in an optimal control problems are showed.

2. Statement of problem. On the domain $\Omega = [0, T] \times [0, \omega]$ we consider the nonlocal problem with data on the characteristics for system of partial integro-differential equations of hyperbolic type of second order

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t \partial x} = A(t, x) \frac{\partial u}{\partial x} + B(t, x) \frac{\partial u}{\partial t} + C(t, x)u + \int_0^\theta \left[K_1(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial \xi} + K_2(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial t} + K_3(t, \xi)u(t, \xi) \right] d\xi + f(t, x), \quad (t, x) \in \Omega, \quad (1)$$

$$u(t, 0) = \psi(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

$$P_2(x) \frac{\partial u(0, x)}{\partial x} + P_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=0} + P_0(x)u(0, x) + L_2(x) \frac{\partial u(\theta, x)}{\partial x} + L_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=\theta} + L_0(x)u(\theta, x) + S_2(x) \frac{\partial u(T, x)}{\partial x} + S_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=T} + S_0(x)u(T, x) = \varphi(x), \quad x \in [0, \omega], \quad (3)$$

where $u(t, x) = \text{col}(u_1(t, x), u_2(t, x), \dots, u_n(t, x))$, the $n \times n$ -matrices $A(t, x)$, $B(t, x)$, $C(t, x)$, $K_1(t, x)$, $K_2(t, x)$, $K_3(t, x)$ and n -vector-function $f(t, x)$ are continuous on Ω , the n -vector-function $\psi(t)$ is continuously differentiable on $[0, T]$, the $n \times n$ -matrices $P_i(x)$, $L_i(x)$, $S_i(x)$, and n -vector-function $\varphi(x)$ are continuous on $[0, \omega]$, $i = 0, 1, 2$, $0 \leq \theta \leq \min(T, \omega)$. The initial data satisfy the condition of approval.

A function $u(t, x) \in C(\Omega, R^n)$ having partial derivatives $\frac{\partial u(t, x)}{\partial x} \in C(\Omega, R^n)$,

$\frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \in C(\Omega, R^n)$, $\frac{\partial^2 u(t, x)}{\partial t \partial x} \in C(\Omega, R^n)$ is called a classical solution to problem (1)-(3) if for all $(t, x) \in \Omega$ it satisfies the system (1), boundary conditions (2) and (3).

In the present paper we investigate the questions of existence and uniqueness of the classical solutions to the nonlocal problem for system of hyperbolic integro-differential equations (1)-(3) and the approaches of constructing its approximate solutions. For this goals, we applied the method of introduction additional functional parameters proposed in [1-18] for the solve of nonlocal boundary value problems for systems of hyperbolic equations with mixed derivative. Considered problem is provided to nonlocal problem with integral condition for system of hyperbolic equations including additional function. Hence, this problem is reduced to an equivalent problem, consisting of Goursat problem for the system of hyperbolic equations with functional parameters and Cauchy problem for system of ordinary differential equations with respect to the entered parameters by introducing new unknown functions. The algorithm of finding the approximate solution of the investigated problem is proposed and its convergence proved. Sufficient conditions of the existence of unique classical solution to problem (1)-(3) are obtained in the terms of initial data. The applicability of the obtained results in the optimal control problems is showed.

3. *Reduction to nonlocal problem with integral condition for system of hyperbolic equations including special function.* We introduce an additional special function

$$\mu(t) = \int_0^\theta \left[K_1(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial \xi} + K_2(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial t} + K_3(t, \xi)u(t, \xi) \right] d\xi$$

and write the problem (1)-(3) in the following form

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t \partial x} = A(t, x) \frac{\partial u}{\partial x} + B(t, x) \frac{\partial u}{\partial t} + C(t, x)u + \mu(t) + f(t, x), \quad (t, x) \in \Omega, \quad (4)$$

$$u(t, 0) = \psi(t), \quad t \in [0, T], \quad (5)$$

$$P_2(x) \frac{\partial u(0, x)}{\partial x} + P_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=0} + P_0(x)u(0, x) + L_2(x) \frac{\partial u(\theta, x)}{\partial x} + L_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=\theta} + L_0(x)u(\theta, x) + S_2(x) \frac{\partial u(T, x)}{\partial x} + S_1(x) \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=T} + S_0(x)u(T, x) = \varphi(x), \quad x \in [0, \omega], \quad (6)$$

$$\mu(t) = \int_0^{\theta} \left[K_1(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial \xi} + K_2(t, \xi) \frac{\partial u(t, \xi)}{\partial t} + K_3(t, \xi) u(t, \xi) \right] d\xi, \quad t \in [0, T]. \quad (7)$$

4. *Scheme of the method and algorithm.* Let $\lambda(x) = u(0, x)$. In the problem (4)-(7) we change the function $u(t, x)$ by $u(t, x) = \tilde{u}(t, x) + \lambda(x)$ and proceed to the following equivalent problem

$$\frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial t \partial x} = A(t, x) \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + B(t, x) \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + C(t, x) \tilde{u} + A(t, x) \dot{\lambda}(x) + C(t, x) \lambda(x) + \mu(t) + f(t, x), \quad (8)$$

$$\tilde{u}(t, 0) + \lambda(0) = \psi(t), \quad t \in [0, T], \quad (9)$$

$$\tilde{u}(0, x) = 0, \quad x \in [0, \omega], \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & [P_2(x) + L_2(x) + S_2(x)] \dot{\lambda}(x) + [P_0(x) + L_0(x) + S_0(x)] \lambda(x) + \\ & + P_1(x) \frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=0} + L_2(x) \frac{\partial \tilde{u}(\theta, x)}{\partial x} + L_1(x) \frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=\theta} + L_0(x) \tilde{u}(\theta, x) + S_2(x) \frac{\partial \tilde{u}(T, x)}{\partial x} + \\ & + S_1(x) \frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial t} \Big|_{t=T} + S_0(x) \tilde{u}(T, x) = \varphi(x), \quad x \in [0, \omega]. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\mu(t) = \int_0^{\theta} \left[K_1(t, \xi) \frac{\partial \tilde{u}(t, \xi)}{\partial \xi} + K_2(t, \xi) \frac{\partial \tilde{u}(t, \xi)}{\partial t} + K_3(t, \xi) \tilde{u}(t, \xi) + K_1(t, \xi) \dot{\lambda}(\xi) + K_3(t, \xi) \lambda(\xi) \right] d\xi. \quad (12)$$

A triple functions $(\tilde{u}(t, x), \lambda(x), \mu(t))$, where the function $\tilde{u}(t, x) \in C(\Omega, R^n)$ has partial derivatives $\frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial x} \in C(\Omega, R^n)$, $\frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial t} \in C(\Omega, R^n)$, $\frac{\partial^2 \tilde{u}(t, x)}{\partial t \partial x} \in C(\Omega, R^n)$, the function $\lambda(x) \in C([0, \omega], R^n)$ has derivative $\dot{\lambda}(x) \in C([0, \omega], R^n)$, the function $\mu(t) \in C([0, T], R^n)$ determine from relations (12) for all $t \in [0, T]$, is called a solution to problem (8)-(12) if for all $(t, x) \in \Omega$ it satisfies of the system of hyperbolic equations with parameters (8), the boundary conditions (9), (10), the functional relation (11) and the integral condition (12).

From the compatibility condition at the point $(0, 0)$ of initial data is yield: $\lambda(0) = \psi(0)$. Then the condition (9) may be rewrite in the following form

$$\tilde{u}(t, 0) = \psi(t) - \psi(0), \quad t \in [0, T]. \quad (13)$$

The problem (8), (10), (13) at fixed $\lambda(x)$, $\mu(t)$ is the Goursat problem with respect to $\tilde{u}(t, x)$ on Ω . The relation (11) allows us to determine the unknown functional parameter $\lambda(x)$. The integral condition (12) allows us to determine the unknown function $\mu(t)$ for all $t \in [0, T]$.

We introduce new unknown functions $\tilde{v}(t, x) = \frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial x}$, $\tilde{w}(t, x) = \frac{\partial \tilde{u}(t, x)}{\partial t}$. Goursat problem (8), (10), (13) is equivalent to a three systems integral equations

$$\begin{aligned} \tilde{v}(t, x) = & \int_0^t \{ A(\tau, x) \tilde{v}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}(\tau, x) + \\ & + A(\tau, x) \dot{\lambda}(x) + C(\tau, x) \lambda(x) + \mu(\tau) + f(\tau, x) \} d\tau, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}(t, x) = & \psi(t) + \int_0^x \{ A(t, \xi) \tilde{v}(t, \xi) + B(t, \xi) \tilde{w}(t, \xi) + C(t, \xi) \tilde{u}(t, \xi) + \\ & + A(t, \xi) \dot{\lambda}(\xi) + C(t, \xi) \lambda(\xi) + \mu(t) + f(t, \xi) \} d\xi. \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \tilde{u}(t, x) = & \psi(t) - \psi(0) + \int_0^t \int_0^x \{ A(\tau, \xi) \tilde{v}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}(\tau, \xi) + \\ & + A(\tau, \xi) \dot{\lambda}(\xi) + C(\tau, \xi) \lambda(\xi) + \mu(\tau) + f(\tau, \xi) \} d\xi d\tau. \end{aligned} \quad (16)$$

In the relation (11) instead of the functions $\tilde{v}(\theta, x)$, $\tilde{v}(T, x)$, we substitute the appropriate expressions of the integral relation under $t = \theta$, $t = T$, respectively. Then we obtain

$$\begin{aligned}
 & \left[P_2(x) + L_2(x) + L_2(x) \int_0^\theta A(\tau, x) d\tau + S_2(x) + S_2(x) \int_0^T A(\tau, x) d\tau \right] \dot{\lambda}(x) = \\
 & = - \left[P_0(x) + L_0(x) + S_0(x) + L_2(x) \int_0^\theta C(\tau, x) d\tau + S_2(x) \int_0^T C(\tau, x) d\tau \right] \lambda(x) - \\
 & - L_2(x) \int_0^\theta \mu(\tau) d\tau - S_2(x) \int_0^T \mu(\tau) d\tau - P_1(x) \tilde{w}(0, x) - L_1(x) \tilde{w}(\theta, x) - S_1(x) \tilde{w}(T, x) - \\
 & - L_2(x) \int_0^\theta \{A(\tau, x) \tilde{v}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}(\tau, x)\} d\tau - L_0(x) \tilde{u}(\theta, x) - \\
 & - S_2(x) \int_0^T \{A(\tau, x) \tilde{v}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}(\tau, x)\} d\tau - S_0(x) \tilde{u}(T, x) - \\
 & - L_2(x) \int_0^\theta f(\tau, x) d\tau - S_2(x) \int_0^T f(\tau, x) d\tau + \varphi(x), \quad x \in [0, \omega]. \quad (17)
 \end{aligned}$$

From the compatibility condition follows the initial condition

$$\lambda(0) = \psi(0). \quad (18)$$

The unknown functional parameter $\lambda(x)$ will be determined from Cauchy problem for system of ordinary differential equations (17), (18). The unknown special function $\mu(t)$ will be determined from integral relation (12).

If we know the functional parameter $\lambda(x)$, the special function $\mu(t)$, then from integral systems (14)-(16) find the functions $\tilde{u}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x)$. Conversely, if we know functions $\tilde{u}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x)$, then from Cauchy problem (17), (18) and integral condition (12) we find the functional parameter $\lambda(x)$ and special function $\mu(t)$. Since the functions $\tilde{u}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x)$ and $\lambda(x)$, $\mu(t)$ are unknown together for finding of the solution to problem (8)--(12) we use an iterative method. The solution to problem (8)--(12) is the triple functions $(\tilde{u}^*(t, x), \lambda^*(x), \mu^*(t))$ we defined as a limit of sequence of triples $(\tilde{u}^{(m)}(t, x), \lambda^{(m)}(x), \mu^{(m)}(t, x))$, $m = 0, 1, 2, \dots$, according to the following algorithm:

Step 0. 1) Let the matrix $D_1(x) = P_2(x) + L_2(x) + L_2(x) \int_0^\theta A(\tau, x) d\tau + S_2(x) + S_2(x) \int_0^T A(\tau, x) d\tau$ is invertible for all $x \in [0, \omega]$. Suppose in the right-hand part of the system (17) $\mu(t) = 0$, $\tilde{u}(t, x) = \psi(t) - \psi(0)$, $\tilde{v}(t, x) = 0$, $\tilde{w}(t, x) = \psi(t)$, from Cauchy problem (17), (18) we find the initial approximation $\lambda^{(0)}(x)$ for all $x \in [0, \omega]$:

$$\begin{aligned}
 \lambda^{(0)}(x) &= \psi(0) - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) D_2(\xi) \lambda^{(0)}(\xi) d\xi - \\
 &- \int_0^x D_1^{-1}(\xi) [P_1(\xi) \psi(0) + L_1(\xi) \psi(\theta) + S_1(\xi) \psi(T) + L_0(\xi) \{\psi(\theta) - \psi(0)\} + S_0(\xi) \{\psi(T) - \psi(0)\}] d\xi - \\
 &- \int_0^x D_1^{-1}(\xi) L_2(\xi) \int_0^\theta \{B(\tau, \xi) \psi(\tau) + C(\tau, \xi) [\psi(\tau) - \psi(0)]\} d\tau d\xi -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) S_2(\xi) \int_0^T \{B(\tau, \xi) \dot{\psi}(\tau) + C(\tau, \xi) [\psi(\tau) - \psi(0)]\} d\tau d\xi - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) \left[L_2(\xi) \int_0^\theta f(\tau, \xi) d\tau + S_2(\xi) \int_0^T f(\tau, \xi) d\tau - \varphi(\xi) \right] d\xi,
 \end{aligned}$$

where $D_2(x) = P_0(x) + L_0(x) + S_0(x) + L_2(x) \int_0^\theta C(\tau, x) d\tau + S_2(x) \int_0^T C(\tau, x) d\tau$.

2) From the system of integral equations (14)–(16) under $\mu(t) = 0$, $\lambda(x) = \lambda^{(0)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(0)}(x)$ we find the functions $\tilde{u}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{v}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{w}^{(0)}(t, x)$ for all $(t, x) \in \Omega$:

$$\begin{aligned}
 \tilde{v}^{(0)}(t, x) &= \int_0^t \{A(\tau, x) \tilde{v}^{(0)}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}^{(0)}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}^{(0)}(\tau, x) + \\
 &+ A(\tau, x) \dot{\lambda}^{(0)}(x) + C(\tau, x) \lambda^{(0)}(x) + f(\tau, x)\} d\tau, \\
 \tilde{w}^{(0)}(t, x) &= \dot{\psi}(t) + \int_0^x \{A(t, \xi) \tilde{v}^{(0)}(t, \xi) + B(t, \xi) \tilde{w}^{(0)}(t, \xi) + C(t, \xi) \tilde{u}^{(0)}(t, \xi) + \\
 &+ A(t, \xi) \dot{\lambda}^{(0)}(\xi) + C(t, \xi) \lambda^{(0)}(\xi) + f(t, \xi)\} d\xi, \\
 \tilde{u}^{(0)}(t, x) &= \psi(t) - \psi(0) + \int_0^t \int_0^x \{A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(0)}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(0)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(0)}(\tau, \xi) + \\
 &+ A(\tau, \xi) \dot{\lambda}^{(0)}(\xi) + C(\tau, \xi) \lambda^{(0)}(\xi) + f(\tau, \xi)\} d\xi d\tau.
 \end{aligned}$$

From integral relation (12) under $\tilde{u}(t, x) = \tilde{u}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x) = \tilde{v}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x) = \tilde{w}^{(0)}(t, x)$, $\lambda(x) = \lambda^{(0)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(0)}(x)$ we find the initial approximation $\mu^{(0)}(t)$ for all $t \in [0, T]$:

$$\mu^{(0)}(t) = \int_0^\theta [K_1(t, \xi) \tilde{v}^{(0)}(t, \xi) + K_2(t, \xi) \tilde{w}^{(0)}(t, \xi) + K_3(t, \xi) \tilde{u}^{(0)}(t, \xi) + K_1(t, \xi) \dot{\lambda}^{(0)}(\xi) + K_3(t, \xi) \lambda^{(0)}(\xi)] d\xi.$$

Step 1. 1) Suppose in the right-hand part of the system (17) $\mu(t) = \mu^{(0)}(t)$, $\tilde{u}(t, x) = \tilde{u}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x) = \tilde{v}^{(0)}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x) = \tilde{w}^{(0)}(t, x)$, from Cauchy problem (17), (18) we find the first approximation $\lambda^{(1)}(x)$ for all $x \in [0, \omega]$:

$$\begin{aligned}
 \lambda^{(1)}(x) &= \psi(0) - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) D_2(\xi) \lambda^{(1)}(\xi) d\xi - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) L_2(\xi) d\xi \int_0^\theta \mu^{(0)}(\tau) d\tau - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) S_2(\xi) d\xi \int_0^T \mu^{(0)}(\tau) d\tau - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) [P_1(\xi) \tilde{w}^{(0)}(0, \xi) + L_1(\xi) \tilde{w}^{(0)}(\theta, \xi) + S_1(\xi) \tilde{w}^{(0)}(T, \xi) + L_0(\xi) \tilde{u}^{(0)}(\theta, \xi) + S_0(\xi) \tilde{u}^{(0)}(T, \xi)] d\xi - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) L_2(\xi) \int_0^\theta \{A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(0)}(\tau, \xi) B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(0)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(0)}(\tau, \xi)\} d\tau d\xi - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) S_2(\xi) \int_0^T \{A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(0)}(\tau, \xi) B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(0)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(0)}(\tau, \xi)\} d\tau d\xi - \\
 & - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) \left[L_2(\xi) \int_0^\theta f(\tau, \xi) d\tau + S_2(\xi) \int_0^T f(\tau, \xi) d\tau - \varphi(\xi) \right] d\xi.
 \end{aligned}$$

2) From the system of integral equations (14)--(16) under $\mu(t) = \mu^{(0)}(t)$, $\lambda(x) = \lambda^{(1)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(1)}(x)$ we find the functions $\tilde{u}^{(1)}(t, x)$, $\tilde{v}^{(1)}(t, x)$, $\tilde{w}^{(1)}(t, x)$ for all $(t, x) \in \Omega$:

$$\begin{aligned}\tilde{v}^{(1)}(t, x) &= \int_0^t \left\{ A(\tau, x) \tilde{v}^{(1)}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}^{(1)}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}^{(1)}(\tau, x) + \right. \\ &\quad \left. + A(\tau, x) \dot{\lambda}^{(1)}(x) + C(\tau, x) \lambda^{(1)}(x) + \mu^{(0)}(\tau) + f(\tau, x) \right\} d\tau, \\ \tilde{w}^{(1)}(t, x) &= \dot{\psi}(t) + \int_0^x \left\{ A(t, \xi) \tilde{v}^{(1)}(t, \xi) + B(t, \xi) \tilde{w}^{(1)}(t, \xi) + C(t, \xi) \tilde{u}^{(1)}(t, \xi) + \right. \\ &\quad \left. + A(t, \xi) \dot{\lambda}^{(1)}(\xi) + C(t, \xi) \lambda^{(1)}(\xi) + \mu^{(0)}(t) + f(t, \xi) \right\} d\xi, \\ \tilde{u}^{(1)}(t, x) &= \psi(t) - \psi(0) + \int_0^t \int_0^x \left\{ A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(1)}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(1)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(1)}(\tau, \xi) + \right. \\ &\quad \left. + A(\tau, \xi) \dot{\lambda}^{(1)}(\xi) + C(\tau, \xi) \lambda^{(1)}(\xi) + \mu^{(0)}(\tau) + f(\tau, \xi) \right\} d\xi d\tau.\end{aligned}$$

From integral relation (12) under $\tilde{u}(t, x) = \tilde{u}^{(1)}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x) = \tilde{v}^{(1)}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x) = \tilde{w}^{(1)}(t, x)$, $\lambda(x) = \lambda^{(1)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(1)}(x)$ we find the first approximation $\mu^{(1)}(t)$ for all $t \in [0, T]$:

$$\mu^{(1)}(t) = \int_0^\theta \left[K_1(t, \xi) \tilde{v}^{(1)}(t, \xi) + K_2(t, \xi) \tilde{w}^{(1)}(t, \xi) + K_3(t, \xi) \tilde{u}^{(1)}(t, \xi) + K_1(t, \xi) \dot{\lambda}^{(1)}(\xi) + K_3(t, \xi) \lambda^{(1)}(\xi) \right] d\xi.$$

And so on.

Step m . 1) Suppose in the right-hand part of the system (17) $\mu(t) = \mu^{(m-1)}(t)$, $\tilde{u}(t, x) = \tilde{u}^{(m-1)}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x) = \tilde{v}^{(m-1)}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x) = \tilde{w}^{(m-1)}(t, x)$, from Cauchy problem (17), (18) we find the m -th approximation $\lambda^{(m)}(x)$ for all $x \in [0, \omega]$:

$$\begin{aligned}\lambda^{(m)}(x) &= \psi(0) - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) D_2(\xi) \lambda^{(m)}(\xi) d\xi - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) \left[L_2(\xi) \int_0^\theta \mu^{(m-1)}(\tau) d\tau + S_2(\xi) \int_0^T \mu^{(m-1)}(\tau) d\tau \right] d\xi - \\ &\quad - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) \left[P_1(\xi) \tilde{w}^{(m-1)}(0, \xi) + L_1(\xi) \tilde{w}^{(m-1)}(\theta, \xi) + S_1(\xi) \tilde{w}^{(m-1)}(T, \xi) + L_0(\xi) \tilde{u}^{(m-1)}(\theta, \xi) + S_0(\xi) \tilde{u}^{(m-1)}(T, \xi) \right] d\xi - \\ &\quad - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) L_2(\xi) \int_0^\theta \left\{ A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(m-1)}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(m-1)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(m-1)}(\tau, \xi) \right\} d\tau d\xi - \\ &\quad - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) S_2(\xi) \int_0^T \left\{ A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(m-1)}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(m-1)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(m-1)}(\tau, \xi) \right\} d\tau d\xi - \\ &\quad - \int_0^x D_1^{-1}(\xi) \left[L_2(\xi) \int_0^\theta f(\tau, \xi) d\tau + S_2(\xi) \int_0^T f(\tau, \xi) d\tau - \varphi(\xi) \right] d\xi, \quad x \in [0, \omega].\end{aligned}$$

2) From the system of integral equations (14)--(16) under $\mu(t) = \mu^{(m-1)}(t)$, $\lambda(x) = \lambda^{(m)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(m)}(x)$ we find the functions $\tilde{u}^{(m)}(t, x)$, $\tilde{v}^{(m)}(t, x)$, $\tilde{w}^{(m)}(t, x)$ for all $(t, x) \in \Omega$:

$$\begin{aligned}\tilde{v}^{(m)}(t, x) &= \int_0^t \left\{ A(\tau, x) \tilde{v}^{(m)}(\tau, x) + B(\tau, x) \tilde{w}^{(m)}(\tau, x) + C(\tau, x) \tilde{u}^{(m)}(\tau, x) + \right. \\ &\quad \left. + A(\tau, x) \dot{\lambda}^{(m)}(x) + C(\tau, x) \lambda^{(m)}(x) + \mu^{(m-1)}(\tau) + f(\tau, x) \right\} d\tau, \\ \tilde{w}^{(m)}(t, x) &= \dot{\psi}(t) + \int_0^x \left\{ A(t, \xi) \tilde{v}^{(m)}(t, \xi) + B(t, \xi) \tilde{w}^{(m)}(t, \xi) + C(t, \xi) \tilde{u}^{(m)}(t, \xi) + \right.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + A(t, \xi) \dot{\lambda}^{(m)}(\xi) + C(t, \xi) \lambda^{(m)}(\xi) + \mu^{(m-1)}(t) + f(t, \xi) \Big\} d\xi, \\
\tilde{u}^{(m)}(t, x) = & \psi(t) - \psi(0) + \int_0^t \int_0^x \{ A(\tau, \xi) \tilde{v}^{(m)}(\tau, \xi) + B(\tau, \xi) \tilde{w}^{(m)}(\tau, \xi) + C(\tau, \xi) \tilde{u}^{(m)}(\tau, \xi) + \\
& + A(\tau, \xi) \dot{\lambda}^{(m)}(\xi) + C(\tau, \xi) \lambda^{(m)}(\xi) + \mu^{(m-1)}(\tau) + f(\tau, \xi) \} d\xi d\tau.
\end{aligned}$$

From integral relation (12) under $\tilde{u}(t, x) = \tilde{u}^{(m)}(t, x)$, $\tilde{v}(t, x) = \tilde{v}^{(m)}(t, x)$, $\tilde{w}(t, x) = \tilde{w}^{(m)}(t, x)$, $\lambda(x) = \lambda^{(m)}(x)$, $\dot{\lambda}(x) = \dot{\lambda}^{(m)}(x)$ we find the m -th approximation $\mu^{(m)}(t)$ for all $t \in [0, T]$:

$$\begin{aligned}
\mu^{(m)}(t) = & \int_0^\theta [K_1(t, \xi) \tilde{v}^{(m)}(t, \xi) + K_2(t, \xi) \tilde{w}^{(m)}(t, \xi) + K_3(t, \xi) \tilde{u}^{(m)}(t, \xi)] d\xi + \\
& + \int_0^\theta [K_1(t, \xi) \dot{\lambda}^{(m)}(\xi) + K_3(t, \xi) \lambda^{(m)}(\xi)] d\xi, \quad m = 1, 2, 3, \dots
\end{aligned}$$

5. The main result.

Let $a = \max_{(t,x) \in \Omega} \|A(t, x)\|$, $b = \max_{(t,x) \in \Omega} \|B(t, x)\|$, $c = \max_{(t,x) \in \Omega} \|C(t, x)\|$, $H = a + b + c$,

$$\alpha_0 = \max_{x \in [0, \omega]} \|[D_1(x)]^{-1}\|, \quad \alpha = \max_{x \in [0, \omega]} \|[D_1(x)]^{-1} D_2(x)\|,$$

$$a_1 = \max_{x \in [0, \omega]} \|P_1(x)\| + \max_{x \in [0, \omega]} \|L_1(x)\| + \max_{x \in [0, \omega]} \|S_1(x)\| + \max_{x \in [0, \omega]} \|L_0(x)\| + \max_{x \in [0, \omega]} \|S_0(x)\|,$$

$$b_1 = \max_{x \in [0, \omega]} \|L_2(x)\| \max(T, \omega) [e^{H(\theta+\omega)} - e^{H\omega}] + \max_{x \in [0, \omega]} \|S_2(x)\| \max(T, \omega) [e^{H(T+\omega)} - e^{H\omega}],$$

$$a_2 = \theta \max_{x \in [0, \omega]} \|L_2(x)\| + T \max_{x \in [0, \omega]} \|S_2(x)\|, \quad b_2 = \max(T, \omega) e^{H(T+\omega)} (a + c + 1),$$

$$c_1 = \theta \left[(b_2 + 1) \left(\max_{(t,x) \in \Omega} \|K_1(t, x)\| + \max_{(t,x) \in \Omega} \|K_3(t, x)\| \right) + b_2 \max_{(t,x) \in \Omega} \|K_2(t, x)\| \right].$$

The following theorem gives conditions of realizability and convergence of the constructed algorithm and the conditions of the existence of unique solution to problem (8)--(12).

Theorem 1. *Suppose that*

i) *the matrix $D_1(x)$ is invertible for all $x \in [0, \omega]$;*

ii) *the inequality fulfilled*

$$q(T, \omega) = \max([\alpha e^{\alpha\omega} \omega + 1] \alpha_0 (a_2 c_1 + (a_1 + b_1) b_2), e^{\alpha\omega} \omega \alpha_0 (a_2 c_1 + (a_1 + b_1) b_2), c_1) < 1.$$

Then the problem for system of hyperbolic equations with parameters (8)--(12) has a unique solution.

Theorem 2. *Suppose that the conditions i) - ii) of Theorem 1 are fulfilled.*

Then the nonlocal problem for system of partial integro-differential equations (1)-(3) has a unique classical solution.

The proof of the theorem is similar to the scheme of the proof of theorem [12, p. 26].

REFERENCES

- [1] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Unique solvability of the boundary value problem for systems of hyperbolic equations with data on the characteristics // Computational Mathematics and Mathematical Physics. **2002**. Vol. 42. No 11. P. 1609-1621.
- [2] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Correct solvability of a nonlocal boundary value problem for systems of hyperbolic equations // Doklady Mathematics. **2003**. Vol. 68. No 1. P. 46-49.
- [3] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Unique solvability of nonlocal boundary value problems for systems of hyperbolic equations // Differential Equations. **2003**. Vol. 39. No 10. P. 1414-1427.
- [4] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Periodic solutions of systems of hyperbolic equations bounded on a plane // Ukrainian Mathematical Journal. **2004**. Vol. 56. No 4. P. 682-694.
- [5] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Well-posed solvability of nonlocal boundary value problems for systems of hyperbolic equations // Differential Equations. **2005**. Vol. 41. No 3. P. 352-363.
- [6] *Asanova A.T.* A nonlocal boundary value problem for systems of quasilinear hyperbolic equations // Doklady Mathematics. **2006**. Vol. 74. No 3. P. 787-791.
- [7] *Asanova A.T.* On the unique solvability of a family of two-point boundary-value problems for systems of ordinary differential equations // Journal of Mathematical Sciences. **2008**. Vol. 150. No 5. P. 2302-2316.

- [8] *Asanova A.T.* On the unique solvability of a nonlocal boundary value problem with data on intersecting lines for systems of hyperbolic equations // *Differential Equations*. **2009**. Vol. 45. No 3. P. 385-394.
- [9] *Asanova A.T.* On a boundary-value problem with data on noncharacteristic intersecting lines for systems of hyperbolic equations with mixed derivative // *Journal of Mathematical Sciences (United States)*. **2012**. Vol. 187. No 4. P. 375-386.
- [10] *Asanova A.T.* On a nonlocal boundary-value problem for systems of impulsive hyperbolic equations // *Ukrainian Mathematical Journal*. **2013**. Vol. 65. No 3. P. 349-365.
- [11] *Asanova A.T., Dzhumabaev D.S.* Well-posedness of nonlocal boundary value problems with integral condition for the system of hyperbolic equations // *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. **2013**. Vol. 402. No 1. P. 167-178.
- [12] *Asanova A.T.* On a solvability of the nonlocal problem with integral conditions for system of the equations of hyperbolic type // *Mathematical journal*. **2014**. Vol. 14. No 2 (52). P. 21-35. [in Russian]
- [13] *Asanova A.T.* Well-posed solvability of a nonlocal boundary-value problem for systems of hyperbolic equations with impulse effects // *Ukrainian Mathematical Journal*. **2015**. Vol. 67. No 3. P. 333-346.
- [14] *Asanova A.T.* On solvability of nonlinear boundary value problems with integral condition for the system of hyperbolic equations // *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*. **2015**. No 63. P. 1-13.
- [15] *Asanova A.T., Imanchiev A.E.* On conditions of the solvability of nonlocal multi-point boundary value problems for quasi-linear systems of hyperbolic equations // *Eurasian Mathematical Journal*. **2015**. Vol. 6. No 4. P. 19-28.
- [16] *Asanova A.T.* Multipoint problem for a system of hyperbolic equations with mixed derivative // *Journal of Mathematical Sciences (United States)*. **2016**. Vol. 212. No 3. P. 213-233.
- [17] *Asanova A.T.* Criteria of solvability of nonlocal boundary-value problem for systems of hyperbolic equations with mixed derivatives // *Russian Mathematics*. **2016**. Vol. 60. No 1. P. 1-17.
- [18] *Asanova A.T.* On the solvability of nonlocal boundary value problem for the systems of impulsive hyperbolic equations with mixed derivatives // *Journal of Discontinuity, Nonlinearity and Complexity*. **2016**. Vol. 5. No 2. P. 153-165.

ӘОЖ: 517.956

А.Т. Асанова¹, Х.А. Аширбаев², А.П. Сабалахова³

¹Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ., Қазақстан;

^{2,3}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

ГИПЕРБОЛАЛЫҚ ТЕКТЕС ДЕРБЕС ТУЫНДЫЛЫ ИНТЕГРАЛДЫҚ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІ ҮШІН БЕЙЛОКАЛ ЕСЕП ТУРАЛЫ

Аннотация. Екінші ретті гиперболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бейлокал есеп қарастырылады. Бейлокал есептің классикалық шешімінің бар болуы мен жалғыздығы мәселелері зерттелген. Интегралдық қосылғыштың орнына жаңа белгісіз функция енгізу жолымен зерттеліп отырған есеп пара-пара интегралдық шарты бар бейлокал есепке келтірілген. Параметрі бар есеп гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін параметрі бар бейлокал есептен және интегралдық қатынастан тұрады. Параметрі бар пара-пара есептің жуық шешімін табу алгоритмдері тұрғызылған және олардың жинақтылығы дәлелденген. Параметрі бар есептің жалғыз шешімінің бар болуының жеткілікті шарттары тағайындалған. Гиперболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бейлокал есептің жалғыз классикалық шешімінің бар болуының шарттары бастапқы берілімдер терминінде алынған. Қарастырылып отырған есепті зерттеу үшін бұрын дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер үшін есептер әулетіне келтіру әдісі пайдаланылған болатын. Зерттеліп отырған есептің жалғыз классикалық шешімінің бар болуының шарттары бастапқы берілімдер арқылы тұрғызылатын матрица терминінде табылған.

Түйін сөздер: бейлокал есеп, дербес туындылы интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі, параметр, алгоритм, жуық шешім, бірмәнді шешімділік.

А.Т. Асанова, Х.А. Аширбаев, А.П. Сабалахова

О НЕЛОКАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Аннотация. Рассматривается нелокальная задача с данными на характеристиках для системы интегро-дифференциальных уравнений гиперболического типа второго порядка. Исследуются вопросы существования и единственности классического решения нелокальной задачи. Путем введения новой неизвестной функции вместо интегральной слагаемой исследуемая задача сведена к эквивалентной нелокальной задаче с интегральным условием. Задача с параметром состоит из нелокальной задачи для системы гиперболических уравнений с параметром и интегрального соотношения. Построены алгоритмы нахождения приближенного решения эквивалентной задачи с параметром и доказана их сходимость. Установлены достаточные условия существования единственного решения задачи с параметром. Получены условия существования единственного классического решения нелокальной задачи для системы интегро-дифференциальных уравнений гиперболического типа в терминах исходных данных. Ранее к исследованию рассматриваемой задачи был применен метод сведения к эквивалентному семейству задач для дифференциальных уравнений в частных производных. Были найдены достаточные условия существования единственного классического решения исследуемой задачи в терминах некоторой матрицы, составляемой по исходным данным.

Ключевые слова: нелокальная задача, система интегро-дифференциальных уравнений в частных производных, параметр, алгоритм, приближенное решение, однозначная разрешимость.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 19 – 24

UDC 532.133, 371.62, 372.8.002

N.S. Saidullayeva, K.A Kabylbekov, D.T. Pazylova, Kh.A. Ashirbaev, A.O. KalikulovaSouth Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent
nurila-60@mail.ru**DESIGNING THE AMBIGUOUS TASKS AND TASKS WITH MISSING DATA FOR PERFORMANCE OF COMPUTER LABORATORY WORKS**

Abstract. Here are suggested the examples of ambiguous tasks and tasks with missing data for performance of computer laboratory works on the models "Composition of Vectors" and "Relative movement", "Movement with Acceleration of Gravity", "Movement with Continuous Acceleration", "Elastic and Inelastic Collision" and "Elastic Impacts of Spheres models". The choice of two interconnected parameters is necessary in ambiguous tasks which defines the set condition. Such tasks can have several decisions. While solving them the student has to choose one of parameters proceeding from computer model capacity, first to solve them on paper, then realize these conditions in a computer experiment, check result and reflect results in answers. Lacking parameter is determined in tasks with missing data in the first instance, and this parameter is chosen on the assumption of a computer model capacity, and further acts in the same way as in the previous case. Such tasks are improves the logical thinking, and the ability to find an optimal way of the solution of a task. Brief characteristics, an opt for change of initial parameters and questions discussed for the solution of tasks are given to each computer model.

The suggested tasks had a trial at Nazarbayev Intellectual School for the physical and mathematical direction in Shymkent, at regional school "Daryn" for exceptional children and at school gymnasium named after M. Auezov in Arys. Most of pupils performed all tasks with big interest.

Keywords: speed, acceleration, flight range and altitude, targeted distance, force of friction.

The President of the Republic of Kazakhstan N. Nazarbayev has told in his Message "Strategy "Kazakhstan-2050" is a new policy of the established state" to the people of Kazakhstan having emphasized the priorities in education: - We should make modernization of techniques of teaching and develop actively the online-education-systems and create the regional school centers. We have to intensively introduce innovative methods, decisions and tools to the national education system, including distance learning and training in online mode, which is available for those who want [1].

For accomplishment of the set tasks the "Theory and Technique of Teaching Physics" department of SKSU named after M. Auezov of the MES of the Republic of Kazakhstan has introduced the disciplines "Information technologies in education", "Information technologies in teaching physics", "The technique of using the electronic textbooks in teaching physics" in training process since 2013, which provide the development and use modern information technologies in teaching physics.

There have been created the new computer models, training programs, databases and a technique of their usage in teaching physics at schools, colleges, lyceums and HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENTS.

One difficult problem at introducing these results in educational institutions is insufficient practical skills of school teachers in using computer models of the physical phenomena at carrying out laboratory works at organizations. Activization, motivation and eventually learning efficiency in many respects depends on the organization of computer laboratory works. According to many domestic and foreign experts A powerful tool of teaching physics is production of the Fizikon company. Each teacher of physics optionally can independently design computer laboratory work, using interactive models from the multimedia course "Open Physics" of the Fizikon company [2-4]. And therefore it is recommended to use

the same algorithm for creation of laboratory works which was applied in this multimedia course. At first it is recommended to sort the theory of a question, then to answer control questions, then to do the tasks while working out on these tasks it is necessary to make a computer experiment and to check the received result. Certainly, For the accomplishment of computer laboratory works short data from the theory, fact-finding tasks to the corresponding computer model, which provide the description of work of interactive model have to precede ambiguous tasks and tasks with missing data for performance of computer laboratory works. We presented such tasks in works [5-17]. In ambiguous tasks the choice of two interconnected parameters is required, which define the specified condition. Of course such tasks can have several decisions. While working out these tasks student has to choose one of parameters relying on the possibility of computer model, first work out on paper, then realize these conditions in a computer experiment and check result. Lacking parameter will be determined firstly at tasks with missing data, and this parameter will be chosen proceeding from a possibility of computer model, further students act as in the previous case. Such tasks develop logical thinking, ability to find an most suitable way of solving tasks and their realization on computer model.

Ambiguous tasks and tasks with missing data for performance of computer laboratory works on some sections of physics with use of the "Open Physics" resource are given below 1.1. resource [2].

Tasks with missing data and ambiguous tasks.

1. The discussed questions:

- Composition of equally directed vectors A and V. Answer:.....
- Vector A is directed on an axis Ox, vector B is directed on Oy axis. The task here is to find the module of their composition and its direction respectively an axis Ox. Answer:.....
- River speed compared with the coast is 1 m/s, and boat speed compared with the coast is 3 m/s. The task is to find the resultant speed of the boatman when he goes down stream and against the current stream of the river, and also his speed if he directs the boat at right angle to the coast. Answers:.....
- Write expression of dependence of speed on time of the rectilinear body movement which has initial v_0 speed and a acceleration. Answer:.....
- Write expression of dependence of a way on time of the rectilinear body movement which has initial v_0 speed and a acceleration. Answer:.....
- Write dependence of final speed of the rectilinear body movement on acceleration and a way. Answer:.....
- The body of weight of 1 kg is located to a horizontal on the inclined plane with a tilt angle $\alpha=30^\circ$. With what force does the body press on a support. Answer:.....
- On the inclined plane with a tilt angle $\alpha=30^\circ$ the body of mass of $m=1\text{kg}$ is located to a horizontal. The body is affected by force of $F=1\text{ N}$ directed up along the plane. The task is to define the Module of the Sum of Force F and force of Gravity. Answer:.....
- The body is thrown at an angle $\alpha=30^\circ$ to the horizon with an initial speed $v_0=5$ in m/s. Define v_{0x} and v_{0y} . By what maximum height do the body, time of rise and time of falling, and also flight time rise. Answer:.....
- Write the expression of dependence component speeds V_x and V_y depending on time movement in the field of Earth gravity. Answer:.....
- Write the equation of a trajectory of the movement of the body thrown from the Earth's surface with an initial speed v_0 at an angle α to the horizon. Answer:.....
- Write expressions of flying range and the maximum height of the body thrown from the Earth's surface with an initial speed v_0 at an angle α to the horizon. Answer:.....
- What component of speed is responsible for height of raising of the body thrown at an angle to the horizon? Answer:.....
- What component of speed is responsible for flying range of the body thrown at an angle to the horizon? Answer:.....
- Write the equation of a trajectory of body movement in in the field of Earth gravitation if it is thrown at an angle α to the horizon with an initial speed v_0 from a hill h height. Answer:.....
- Write expression of law of preservation of impulse and energy. Answer:.....

Computer models: Composition of vectors. Relative movement.

Models can be used for demonstration of laws of composition, subtraction of vectors and the choice of vectors module size and their direction.

1.1. Width of the river is 100 m, watercourse speed is $u=3$ m/c. With what speed and under what angle to the river bank does the boatman have to sail to be transported on other coast on the shortest way? The task is to realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results

1.2. Width of the river is 100 m, the speed of a watercourse is u of $=3$ m / c. With what speed and under what angle to the river bank does the boatman have to sail to be transported on other coast in 25c? The task is to determine resulting speed of V and demolition Δx as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

1.3. Width of the river is 100 m, the speed of a watercourse is $u =4$ m / c. With what speed and under what angle to the river bank does the boatman have to sail to be transported on other coast in 20 c? The task is to determine resulting speed of V and demolition Δx as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

1.4. Width of the river is 100 m, the speed of a watercourse of u of $=5$ m / c. With what speed and under what corner to the river bank the boatman to be transported on other coast 20 with has to float? To determine also rezultirushchy speed of V and demolition Δx as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

1.5. Width of the river is 100 m, the speed of a watercourse of u of $=5$ m / c. With what speed and under what angle to the river bank does the boatman have to sail to be transported on other coast in 23c? The task is to determine resulting speed of V and demolition Δx as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

2. Computer model: The movement with gravity acceleration.

It is used for demonstration of body movement thrown from a certain height from the Earth's surface at an angle to the horizon. On the screen it is given schedules of dependence of speed and body coordinate on time. Choice of initial parameters of the movement is provided and on the screen you can observe the movement in the stroboscopic mode.

2.1. From what height and for what time does the body freely fall if its final speed makes 34.3 m/s? To determine final speed as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

2.2. From what height and with what final speed does the body freely fall if it flies with 3,5c ? To determine also final speed. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

2.3. From what height and with what initial speed is the body vertically up thrown if it flew 5,5s? To determine also final speed. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

2.4. From what height and with what initial speed is the body vertically up thrown if it flew 6,9s? To determine final speed as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

2.5. For what time does the body thrown from height vertically up with an initial speed of 25 m/s fall to the Ground? To realize this experiment on computer model. To determine final speed as well.

Answers:..... Computer results.....

3. Computer model: The movement with constant acceleration.

It is used at demonstration of the uniform accelerated rectilinear movement of a body. The choice of initial parameters of the movement is provided. There are provided the Schedules of dependence of speed, acceleration, a way and movement from time.

3.1. With what initial speed and with what acceleration does the body have to move if through 1,0s its final speed reached 10 m/s? What distance it will pass during the movement? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

3.1. With what initial speed and with what acceleration does the body have to move if through 35,0 s its final speed becomes 4.50 m/s? What distance it will pass during the movement? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

3.2. With what initial speed and with what acceleration does the body have to move if through 36,0 s its way was 38,80 m? What his final speed? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

3.3. With what initial speed and with what acceleration does the body have to move if through 145 s its way is 145 m? What his final speed? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

3.4. With what initial speed and with what acceleration did the body move if its way for 68,0 s was 115,6 m? What his final speed? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

3.5. With what initial speed and with what acceleration did the body move if its speed by the time 68,80s was 3,40 m/s? What is its way during the movement? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

4. Computer model: Movement on the inclined plane.

It is used for a research of the movement of a body in the presence of friction force and external force.

4.1. The body with a mass of $m=2\text{kg}$ is located on the inclined plane. External force is absent. At what tilt angle and coefficient of friction it will slide on a plane surface with acceleration and $=2,06\text{ m / c}^2$. The task is to determine sliding friction force as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

4.2. The body with a mass of $m=3\text{kg}$ is located on the inclined plane. External force is absent. At what tilt angle and coefficient of friction it will slide on a plane surface with acceleration and $=2,06\text{ m / c}^2$. The task is to determine sliding friction force as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

4.3. The body with a mass of $m=2\text{kg}$ is located on the inclined plane. The external force of $F=10,0\text{ H}$ works parallelly to the inclined plane down. At what tilt angle and coefficient of friction it will slide on a plane surface with acceleration and $=7,06\text{ m / c}^2$. The task is to determine also total force. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

4.4. The body with a mass of $m=3\text{kg}$ is located on the inclined plane. The external force of $F=10,0\text{ H}$ works parallelly to the inclined plane down. At what tilt angle and coefficient of friction it will slide on a plane surface with acceleration and $=5,39\text{ m / c}^2$. The task is to determine total force as well. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

4.5. The body with a mass of $m=3\text{kg}$ is located on the inclined plane. The external force of $F=3,1\text{ H}$ works parallel to the inclined plane up. At what tilt angle and coefficient of friction it will slide on a plane surface with acceleration and $=1,02\text{ m / c}^2$. To determine also total force. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

5. Computer models: Elastic and inelastic collision and impact of elastic spheres.

There are used research of elastic and inelastic collision of bodies on the basis of law of conservation of impulse and energy, and includingly for a case of noncentral impact is used. The choice of initial parameters is provided.

5.1. What mass be the mass of spheres that they at head-on elastic collision have exchanged speeds. To realize these experiments on computer model.

Answers:..... Computer results.....

5.2. Which have to be the mass of spheres that they at not head-on elastic collision have scattered at right angle. To realize these experiments on computer model.

Answers:..... Computer results.....

5.3. Which have to be the mass of two carts that they after head-on inelastic collision have stopped? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

5.4. Which have to be the mass of two carts that after elastic collision the speed of one of them was twice more than another? To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

5.5. At what ratio of the masses (m_1/m_2) of spheres the speed of spheres after elastic head-on collision will be $V_1=6,53$ m/s and $V_2=16,3$ m/s if the first ball at a speed of $V=9,8$ m/s. To realize this experiment on computer model.

Answers:..... Computer results.....

The proposed tasks were tested in Nazarbayev to intellectual school of physical and mathematical direction Shymkent, the regional school "Daryn" for gifted children and in the school gymnasium them M. Auezov of Arys. Most students with great interest fulfilled all tasks.

REFERENCES

- [1] N.A. Nazarbayev. "Strategy" Kazakhstan-2050 "is a new political course of the state". Message to the people of Kazakhstan. Astana. Www.bnews.kz. December 14, **2012** (in Russ.).
- [2] CD a disk of the company of Open Society "Physical icons". «The open physics 1.1".**2001** (in Russ.).
- [3] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, A.S. Arysbaeva. Students independent computer model of the form of laboratory work. Proceedings of the NAS RK, Ph.M. series, Almaty, **2013**, № 6. -P 82-89(in Kaz.).
- [4] Kabyzbekov K.A., Saidakhmetov P. A, Bajdullaeva L.E.Abduraimov. A procedure of use of computer models for photoeffect studying, Compton effect, models of forms of the organisation of performance of computer laboratory operations. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, **2013**, №6, P114-121(in Kaz.).
- [5]] K.A. Kabyzbekov, N.S. Saidullayeva, P.A. Saidakhmetov. Multimedia demonstration models of electromagnetic phenomena and their use in the educational process. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Chemistry in Building Materials and Materials Science in the XX Century" **2008**,p. 139-144. (in Russ.).
- [6] K.A.,Kabyzbekov, N.S. Saidullayeva, R.S. Spabekova. Experience of work of the Department of Physics on the creation and expansion of information resources on the discipline "Physics" for tehn. special use and their use in the educational process to improve the quality of educational services. // Collected works of conference. Actual problems of education, science and production. 2 vol. SKSU named after M.Auezov , Shymkent.**2008** (in Russ.).
- [7]K.A. Kabyzbekov, N.S. Saidullayeva., P.A. Saidakhmetov, T.A. Turmambekov, Omasheva G.Sh. Computer model of laboratory work "Verification of the Kirchhoff rules" program for computers. Certificate of the State registration of the intellectual property object, №. 319.22. 04.**2009**(in Russ.).
- [8] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, P.A. Saidakhmetov, Z.A. Baigulova, L.E. Baidullaeva. Newton's rings to study computer model of the form of laboratory work for the organization. News NAS of the RK, a series of Physics and Mathematics, №1 (299), Almaty, **2015**, P 14-20. (in Kaz.).
- [9] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, A.P. Sabalakhova, A.I. Dzhumagalieva.To study the phenomenon of interference of light in the form of the computer laboratory model for the organization. News NAS of the RK, Ph.M., №3 (301), Almaty. **2015**, P 131-136(in Kaz.).
- [10] K.A. Kabyzbekov, Kh. A. Ashirbaev, A.P. Sabalakhova, A.I. Dzhumagalieva.Computer model of the form of organization of work for the study of the effects of Doppler. News National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, section fiz., No. 3 (301) Almaty. **2015**, P 155-160. (in Kaz.).
- [11] K.A. Kabyzbekov. The organization of work in physics, computer laboratory. Work-book. Shymkent. **2015**, P 284 . (in Kaz.).
- [12] K.A. Kabyzbekov. Kh.A. Ashirbaev, Arysbaeva AS, Dzhumagalieva A.M. Model of the form of organization of computer laboratory work in the study of physical phenomena. Modern science-intensive technologies, №4, Moscow. **2015**, P 40-43(in Russ.).
- [13] K.A. Kabyzbekov.Model of the form of the organization of computer laboratory work. On the work of the speed selector. Modern science-intensive technologies, Moscow. **2015**,№6,P 19-21. (in Russ.).
- [14] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, G.S. Serikbayeva Zh.N. Suyerqulova. Free computer lab for the study of mechanical vibrations form a model of the organization. News NAN series of physical. Mat №2, **2016**. P 84-91. (in Kaz.).
- [15] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, M.A. Nurullaev, N. Artygalin . Model of the form of the organization of computer laboratory work on the investigation of the engine that performs the Carnot cycle. News NAN series physics mat number 2.**2016**.- P 98-103. (in Russ.).
- [16] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, Kh.A. Ashirbaev, F.I. Abdubaeva, A.E. Plovnanova, Investigation of gas operation on a computer model. Bulletin NAS **2016**,P 83-88. (in Russ.).
- [17] K.A. Kabyzbekov, P.A. Saidakhmetov, G.Sh. Omashova, D.I. Sutibaeva, G.N.Kozybakova. Isobaric process model of the organization of work with a computer laboratory for the study of form. News NAN series of physical-math at №2, **2016**. P 92-97. (in Kaz.).

Н.С. Сайдуллаева, К.А. Қабылбеков, Д.Т. Пазылова, Х.А. Аширбаев, А.О. Каликулова
М.О.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

КОМПЬЮТЕРЛІК ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ ОРЫНДАУ ҮШІН БІРМӘНДІ ЕМЕС ЕСЕПТЕР МЕН БЕРІЛГЕНДЕРІ ТҮГЕЛ ЕМЕС ЕСЕПТЕРДІ ҚҰРАСТЫРУ

Аннотация. Мақалада «Векторларды қосу», «Салыстырмалы қозғалыс», «Еркін түсу үдеуімен қозғалыс», «Тұрақты үдеумен қозғалыс», «Серпімді және серпімсіз соққы», «Шарлардың серпімді соқтығысуы» модельдерінде компьютерлік зертханалық жұмыстарды орындауға арналған бірімәнді емес есептер мен берілгендері түгел емес есептерге мысалдар қарастырылған.

Бірімәнді емес есептерде берілген шартты анықтайтын екі өзара байланысқан параметрді таңдау керек. Мұндай есептердің бірнеше шешімі болады. Оларды шешу кезінде оқушы компьютерлік модель мүмкіндігін ескеріп, параметрлердің ішінен біреуін таңдап, қағазда шығарып, содан соң осы шарттарды компьютерлік тәжірибеде жүзеге асыру керек. Нәтижені тексеріп болғаннан кейін оларды жауап түрінде көрсету керек. Берілгендері түгел емес есептерде алдымен жетпей тұрған параметр анықталады. Бұл параметр компьютерлік модель мүмкіндігін ескеріліп таңдалады. Әрі қарай алдыңғы жағдайдағыдай әрекет етеді. Осындай есептер қисынмен ойлауды, есепті шығарудың оңтайлы әдісін анықтау дағдысын дамытады. Әр компьютерлік модельге оның қысқаша сипаттамасы, бастапқы параметрлерді өзгертуді таңдау, есептерді шешу үшін сұрақтар берілген.

Ұсынылған тапсырмалар физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, дарынды балдарға арналған «Дарын» облыстық мектебі, Арыс қаласының М.Әуезов атындағы мектеп-гимназияда сынақтан өткізілді. Оқушылардың басым көпшілігі тапсырмаларды аса қызығушылықпен орындады.

Түйін сөздер: жылдамдық, үдеу, ұшудың алыстығы мен биіктігі, дәлдеу қашықтығы, үйкеліс күші.

УДК532.133, 371.62, 372.8.002

Н.С. Сайдуллаева, К.А. Қабылбеков, Д.Т. Пазылова, Х.А. Аширбаев, А.О. Каликулова
Южно-Казахстанский государственный университет имени М.О.Ауэзова, г.Шымкент

КОНСТРУИРОВАНИЕ НЕОДНОЗНАЧНЫХ ЗАДАЧ И ЗАДАЧ С НЕДОСТАЮЩИМИ ДАНЫМИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Аннотация. Предлагаются примеры неоднозначных задач и задач с недостающими данными для выполнения компьютерных лабораторных работ на моделях «Сложение векторов» и «Относительное движение», «Движение с ускорением свободного падения», «Движение с постоянным ускорением», «Упругое и неупругое столкновение» и «Упругое соударения шаров». В неоднозначных задачах требуется выбор двух взаимосвязанных параметров, определяющих заданное условие. У таких задач могут быть несколько решений. При их решении обучающийся должен выбрать один из параметров, исходя из возможности компьютерной модели, прорешать на бумаге, затем реализовать эти условия в компьютерном эксперименте, проверить результаты и отразить их в ответах. В задачах с недостающими данными сначала определяется недостающий параметр, выбирается этот параметр, исходя из возможности компьютерной модели, далее поступают также, как в предыдущем случае. Такие задачи развивают логическое мышление, умение находить оптимальный способ решения задачи. К каждой компьютерной модели дается краткая ее характеристика, выбор изменения начальных параметров и вопросы, обсуждаемые для решения задач.

Предложенные задания апробированы в Назарбаев интеллектуальной школе физико-математического направления г. Шымкент, областной школе «Дарын» для одаренных детей и в школе-гимназии им. М.Ауэзова г.Арысь. Большинство учащихся выполняли все задания с большой заинтересованностью.

Ключевые слова: скорость, ускорение, дальность и высота полета, прицельное расстояние, сила трения.

Сведения об авторах:

Сайдуллаева Нурила Сайдуллаевна – к. ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Физика для технических специальностей» ЮКГУ им.М.Ауэзова, 87073735675, nurila-60@mail.ru;

Қабылбеков Кенжехан Арыстанбекович - к.ф.-м.н., доцент кафедры «Теория и методика преподавания физики» ЮКГУ им.М.Ауэзова., 87022011512, kenkab@mail.ru;

Пазылова Дана Темирбековна – магистр, старший преподаватель кафедры «Физика для технических специальностей» ЮКГУ им.М.Ауэзова, 87478989526, danapazyl@mail.ru;

Аширбаев Хасымхан Аширбаевич - к.т.н. доцент кафедры «Математика для технических специальностей» ЮКГУ им.М.Ауэзова., 87013430169, Ashirdaev54@mail.ru;

Каликулова Ахмарал Омиралиевна - магистр, старший преподаватель кафедры иностранных языков для гуманитарных специальностей ЮКГУ им.М.Ауэзова, 8 7052256595, mara.81-15@mail.ru

Проблемы небесной механики, динамики звездных систем и ядерной астрофизики

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 25 – 31

UDC-539.17; 519.6; 52-1/-8:539.14; 524.1:539.14

S. B. Dubovichenko¹, N.A. Burkova², A.V. Dzhazairov-Kakhramanov¹,
A.S. Tkachenko^{1,2}, B.U. Beisenov^{1,2}, A.R. Mukaeva^{1,2}

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

dubovichenko@gmail.com

ASTROPHYSICAL S-FACTOR FOR THE RADIATIVE ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ CAPTURE

Abstract. The process of radiative capture ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ at low energies corresponding to the thermonuclear processes in the prestellar stage of the evolution of the Universe plays a key role in nuclear astrophysics, since it can close the proton-proton cycle.

Another aspect that requires an estimation of the ${}^7\text{Be}$ rate production is the inclusion of this nucleus in the chain of radiative capture of protons leading to the synthesis of ${}^8\text{B}$ decay of which is directly related to the solution of the problem of the intensity of solar neutrino fluxes. That is why, experimental data on the reaction ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ are constantly refined, which in turn requires the adjustment of theoretical model calculations.

In the framework of the modified potential cluster model with the classification of orbital states according to Young diagrams and the refined potential parameters for the ground state of the ${}^7\text{Be}$ nucleus in the ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ cluster model with forbidden states, astrophysical S -factors of the radiative capture of ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ from 20 keV have been calculated. The obtained results are in good agreement with the new experimental data on the astrophysical S -factor at 23 keV. The parameters of the cluster-cluster potential are consistent with the data on the asymptotic normalization constants, the data on the ${}^7\text{Be}$ nucleus spectra, the binding energy, and also the root-mean-square charge radii.

Key words: nuclear astrophysics, light atomic nuclei, low and astrophysical energies, radiative capture, total cross sections, thermonuclear reactions, potential cluster model, forbidden states, classification of orbital states by Young diagrams.

УДК 539.17; 519.6; 52-1/-8:539.14; 524.1:539.14

С.Б. Дубовиченко¹, Н.А. Буркова², А.В. Джазайров-Кахраманов¹,
А.С. Ткаченко^{1,2}, Б.У. Бейсенов^{1,2}, А.Р. Мукаева^{1,2}

¹Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан;

²Казхский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ S-ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ ЗАХВАТА

Аннотация. Процесс радиационного захвата ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ при низких энергиях, соответствующих термоядерным процессам в дозвездной стадии эволюции Вселенной играет одну из ключевых ролей в ядерной

астрофизике, так как может замыкать протон-протонный цикл. Ещё один аспект, требующий оценки скорости наработки ${}^7\text{Be}$ связан с включением этого ядра в цепочку процессов радиационного захвата протонов, приводящей к синтезу ${}^8\text{B}$, распад которого имеет прямое отношение к решению задачи об интенсивности потоков солнечного нейтрино. В этой связи экспериментальные данные по реакции ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ постоянно уточняются, что в свою очередь требует согласования теоретических модельных расчетов.

В рамках модифицированной потенциальной кластерной модели с классификацией орбитальных состояний по схемам Юнга и уточненными параметрами потенциалов для основного состояния ядра ${}^7\text{Be}$ в ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ кластерной модели с запрещенными состояниями рассчитаны астрофизические S -факторы процесса радиационного захвата ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ от 20 кэВ. Полученные результаты расчетов хорошо согласуются с новыми экспериментальными данными при 23 кэВ. Параметры кластер-кластерного потенциала согласованы с данными по асимптотическим нормировочным константам, данным по спектрам ядра ${}^7\text{Be}$, энергии связи, а также среднеквадратичным зарядовым радиусам.

Ключевые слова: ядерная астрофизика, легкие атомные ядра, низкие и астрофизические энергии, радиационный захват, полные сечения, термоядерные реакции, потенциальная кластерная модель, запрещенные состояния, классификация орбитальных состояний по схемам Юнга.

Введение

Радиационный захват ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ при сверхнизких энергиях представляет несомненный интерес для ядерной астрофизики, поскольку входит в протон-протонный термоядерный цикл, и в последнее время появились новые экспериментальные данные по астрофизическим S -факторам этого процесса. Протонный цикл может завершаться процессом [1] ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$ или рассматриваемой здесь реакцией с участием дозвездного ${}^4\text{He}$ (см., например, [2]) ${}^3\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^7\text{Be} + \gamma$. Кроме того, реакция радиационного ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ захвата может играть определенную роль при дозвездном нуклеосинтезе, когда после Большого взрыва температура Вселенной понизилась до $0.3 T_9$ [3] ($T_9 = 10^9$ К). Данная реакция представляет сегодня дополнительный интерес, поскольку для нее были выполнены новые измерения астрофизического S -фактора при самой низкой за всю историю ее изучения энергии 23 кэВ [4]. Поэтому мы возвращаемся к ее рассмотрению, и выполним сравнение наших новых результатов с результатами, полученными нами в 2010 г. [5].

Ранее в обзоре [6] (см. здесь ссылки на наши предыдущие обзоры) и книге [7] на основе двухчастичной потенциальной кластерной модели (ПКМ) показана возможность описания астрофизических S -факторов или полных сечений радиационного захвата для трех десятков процессов. Расчеты этих реакций выполнены на основе модифицированного варианта ПКМ с запрещенными состояниями (ЗС) [8] и классификацией орбитальных состояний по схемам Юнга (МПКМ). Вполне определенный успех МПКМ при описании полных сечений процессов подобного типа можно объяснить тем, что потенциалы межкластерного взаимодействия в непрерывном спектре строятся не только на основе известных фаз упругого рассеяния или структуры спектров резонансных уровней конечного ядра, а для дискретного спектра на основе описания основных характеристик связанных состояний (СС) таких ядер. Такие межкластерные потенциалы основаны также на классификации орбитальных состояний по схемам Юнга [9], которая позволяет определить наличие и количество ЗС в каждой парциальной волне, а, значит, число узлов волновой функции (ВФ) относительного движения рассматриваемых кластеров [7]. В результате каждый парциальный потенциал зависит не только от обычных квантовых чисел JLS , но и от схем Юнга $\{f\}$.

Потенциалы и методы расчета

Как было показано, например, в работе [10] орбитальные состояния в кластерной системе ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ ядра ${}^7\text{Be}$ являются чистыми по схемам Юнга. Поэтому ядерные парциальные потенциалы ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ взаимодействия вида $V_{JLS\{f\}}(r) = V_0(JLS\{f\})\exp[-\alpha(JLS\{f\})r^2] + V_{\text{coul}}(r)$ с параметрами, полученными на основе фаз упругого рассеяния и зависящими от квантовых чисел JLS и схем Юнга $\{f\}$, можно непосредственно использовать для рассмотрения характеристик СС ядра ${}^7\text{Be}$ [6, 7, 11]. В качестве кулоновского потенциала $V_{\text{coul}}(r)$ выбирается обычная сферическая форма [12].

Таблица 1 - Параметры потенциалов для ОС и ПВС ${}^3\text{He}^4\text{He}$ системы и зарядовые радиусы ядра ${}^7\text{Be}$.
 Параметр α равен 0.15747 Фм^{-2} и $R_c = 3.095 \text{ Фм}$

L_J	$V_0, \text{ МэВ}$	$E, \text{ МэВ}$	$\langle r^2 \rangle^{1/2}, \text{ Фм}$
${}^2S_{1/2}$	-67.5	(2 ЗС)	---
${}^2P_{3/2}$	-83.589554	-1.586600 (1 ЗС)	2.64
${}^2P_{1/2}$	-81.815179	-1.160820 (1 ЗС)	2.69
${}^2D_{5/2}$	-69.0	(1 ЗС)	---
${}^2D_{3/2}$	-66.0	(1 ЗС)	---

Ранее в [5] нами было проведено уточнение основных расчетных характеристик связанных состояний ядра ${}^7\text{Be}$ в ${}^3\text{He}^4\text{He}$ канале. Для этого были уточнены параметры потенциалов связанных P -состояний, приведенные в табл. 1, и теперь расчетные энергии уровней полностью совпадают с экспериментальными величинами [13]. Потенциал хорошо описывает S -фазы упругого рассеяния [7] из работы [14], поскольку именно переходы из S -волн на ОС и ПВС ядра ${}^7\text{Be}$ дают преобладающий вклад в S -фактор радиационного захвата. Такие потенциалы в S -волне имеют два запрещенных СС, которые соответствуют запрещенным схемам Юнга {7} и {52}. В P -волне запрещена схема {61} при разрешенном связанном состоянии (РС) со схемой Юнга {43}. В D -волне имеется ЗС со схемой {52} [9, 10, 15], а РС отсутствует.

Энергии связанных уровней рассматриваемых ядер в заданных потенциалах вычислялись конечно-разностным методом [16] с точностью не хуже 10^{-6} МэВ. Ширины потенциалов в табл. 1 были выбраны исходя из описания зарядовых радиусов и асимптотических констант [5]. В табл. 1 приведены также результаты расчета зарядовых радиусов рассматриваемого ядра. Для нахождения зарядового радиуса ядра использовались радиусы кластеров, приведенные в [17].

Для контроля устойчивости «хвоста» волновой функции основных и первых возбужденных связанных состояний на больших расстояниях использовалась безразмерная асимптотическая константа (АК) C_w вида [18] $\chi_L(R) = \sqrt{2k_0} C_w W_{-\eta L+1/2}(2k_0 R)$, где $\chi_L(R)$ – численная волновая функция связанного состояния, получаемая из решения радиального уравнения Шредингера и нормированная на единицу, $W_{-\eta L+1/2}$ – функция Уиттекера связанного состояния, определяющая асимптотическое поведение ВФ и являющаяся решением того же уравнения без ядерного потенциала, т.е. на больших расстояниях R , k_0 – волновое число, обусловленное каналной энергией связи, η – кулоновский параметр, L – орбитальный момент связанного состояния.

В результате для АК ОС ядра ${}^7\text{Be}$ было получено значение 5.03(1), а для ПВС найдено 4.64(1). Приведенная ошибка определяется усреднением полученной в результате расчета константы на интервале $6 \div 16$ Фм. Для основного состояния ядра ${}^7\text{Be}$ в ${}^3\text{He}^4\text{He}$ канале в работе [19] на основе анализа различных экспериментальных данных предложено, если привести к безразмерной величине при $k_0 = 0.363 \text{ Фм}^{-1}$, значение 5.66(16), что несколько больше нашей расчетной величины. А для первого возбужденного состояния приведено 4.66(15), что хорошо совпадает с полученной нами величиной.

Астрофизический S-фактор

Далее в связи с публикацией новых экспериментальных данных заново рассмотрим астрофизический S -фактор ${}^3\text{He}^4\text{He}$ радиационного захвата при максимально низких энергиях. По-прежнему используем для этого потенциальную кластерную модель [6, 7] с ЗС и уточненными здесь потенциалами ОС ядра ${}^7\text{Be}$ (см. табл. 1) [5]. В расчетах для ${}^3\text{He}^4\text{He}$ системы учитываются только $E1$ переходы, поскольку вклады $E2$ и $M1$ переходов оказываются на $2 \div 3$ порядка меньше. В этой системе возможен $E1$ переход между основным $P_{3/2}$ -состоянием ${}^7\text{Be}$ и $S_{1/2}$, $D_{3/2}$, $D_{5/2}$ -состояниями рассеяния, а также между первым возбужденным связанным $P_{1/2}$ -состоянием и $S_{1/2}$, $D_{3/2}$ -состояниями рассеяния.

Результаты расчета астрофизического S -фактора радиационного ${}^3\text{He}^4\text{He}$ захвата при энергиях от 20 кэВ показаны на рис. 1 непрерывной линией. Точечной кривой на рис. 1 показан S -фактор для захвата на ОС, штрих-пунктирной на ПВС. Экспериментальные данные взяты из работ [4, 20-

25]. Как видно на рис. 1, результаты наших расчетов при энергии 23 кэВ лежат в области экспериментальных ошибок работы [4]. Для энергии 20 кэВ наш расчет дает величину S -фактора 0.570 кэВ·б, а при 23 кэВ он равен 0.561 кэВ·б. Ранее в наших работах [5, 7] для этой величины было получено 0.593 кэВ·б, т.е. примерно на 4% больше, поскольку для ОС и ПВС использовался один и тот же потенциал ОС. В то время это не имело принципиального значения, поскольку ошибки S -фактора в измеренной ранее области энергий от 90 кэВ и выше составляли $10 \div 20\%$, а данные при более низких энергиях отсутствовали. Теперь, поскольку появились новые данные при низкой энергии [4], мы уточнили величину S -фактора, используя для ПВС его потенциал из табл. 1.

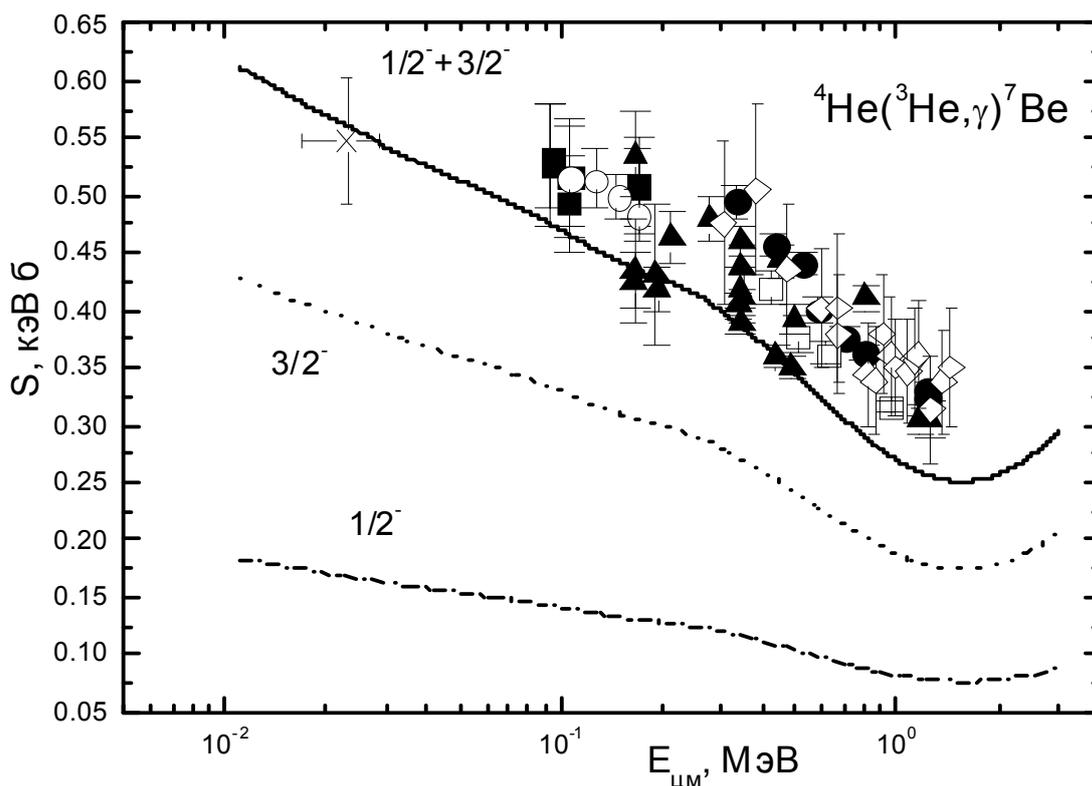


Рисунок 1 - Астрофизический S -фактор ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ захвата.

Точки – экспериментальные данные [20], квадраты – [21], кружки – [22], открытые квадраты – [23], треугольники – [24], открытые ромбы – [25], крестик – [4]. Линии – результаты расчета с параметрами потенциалов ОС из табл. 1

Для сравнения приведем результаты экстраполяции экспериментальных данных к нулевой энергии: 0.54(9) кэВ·б [26], 0.550(12) кэВ·б [27], 0.595(18) кэВ·б [20], 0.560(17) кэВ·б [21], 0.550(17) кэВ·б [22] и 0.567(18) кэВ·б [28]. Не очень давно в работе [19], на основе анализа различных экспериментальных данных, получено $S(0) = 0.610(37)$ кэВ·б и $S(23 \text{ кэВ}) = 0.599(36)$ кэВ·б. Самые последние измерения S -фактора при энергии $23 \begin{pmatrix} +6 \\ -5 \end{pmatrix}$ кэВ [4] приводят к значению 0.548(54) кэВ·б, которое хорошо согласуется с нашими результатами.

Обратим внимание, что наши расчеты S -фактора были выполнены в работе [5] в 2010 г. (здесь сделано только небольшое уточнение за счет использования правильного потенциала ПВС), а новые экспериментальные данные [4] были опубликованы в 2015 г. Иначе говоря, теоретические результаты работы [5] предсказали поведение S -фактора при самых низких энергиях до 23 кэВ.

Заключение

Таким образом, уточненные варианты расчетов астрофизического S -фактора, когда для всех парциальных волн используются требуемые потенциалы, лучше согласуются с имеющимися ранее

и новыми экспериментальными данными. Что касается ${}^3\text{He}^4\text{He}$ захвата, то результаты расчетов, сделанные нами в 2010 г. [5] и уточненные в данной работе, в пределах ошибок согласуются с новыми измерениями из [4] при энергии 23 кэВ, опубликованными в 2015 г.

Настоящая работа поддерживалась грантом МОН РК № 0070/ГФ4 «Термоядерные реакции в звездах и управляемом термоядерном синтезе» через Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова «НЦКИТ» АКА МОКП РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Imbriani G. Underground laboratory studies of pp and CNO some astrophysical consequences LUNA. Third European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics, Catania, Italy, October 2-9, 2005.
- [2] Zel'dovich Ya.B., Novikov I.D. Relativistic Astrophysics, 2: Structure and Evolution of the Universe. Chicago and London: The University of Chicago press, 1983, 718 p.
- [3] Cacioli A. et al. Ultra-sensitive in-beam γ -ray spectroscopy for nuclear astrophysics at LUNA. *Eur. Phys. J.*, **2009**, V. A39, P. 179-186.
- [4] Takács M.P. et al. Constraining big bang lithium production with recent solar neutrino data. *Phys. Rev.*, **2015**, V.D91., P. 123526(1-7).
- [5] Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors of radiative ${}^3\text{He}^4\text{He}$, ${}^3\text{H}^4\text{He}$, and ${}^2\text{H}^4\text{He}$ capture. *Phys. Atom. Nucl.*, **2010**, V.73, P. 1517-1522.
- [6] Dubovichenko, S.B., Dzhazairov-Kakhramanov, A.V. Study of the Nucleon Radiative Captures ${}^8\text{Li}(n,\gamma)$, ${}^9\text{Be}(p,\gamma)$, ${}^{10}\text{Be}(n,\gamma)$, ${}^{10}\text{B}(p,\gamma)$, and ${}^{16}\text{O}(p,\gamma)$ at Thermal and Astrophysical Energies. *Int. Jour. Mod. Phys.*, **2017**, V.E26, P. 1630009(1-56).
- [7] Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes in Stars and Universe. Second English edition, revised and expanded. Germany, Saarbrücken: Scholar's Press, 2015, 332 p.
- [8] Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of ${}^4\text{He}$ and the Supermultiplet Potential Model of Cluster-Cluster Interactions. *Few-Body Systems*, **1995**, V.18, P. 159-172.
- [9] Neudatchin V.G. et al. Generalized potential-model description of mutual scattering of the lightest p+d, d+ ${}^3\text{He}$ nuclei and the corresponding photonuclear reactions. *Phys. Rev.*, **1992**, V.C45, P. 1512-1527.
- [10] Kukulín V.I., Neudatchin V.G., Smirnov Yu.F. Composite particle interaction relevant to the Pauli principle. *Sov. Jour. Part. Nucl.*, **1979**, V.10, P. 1236-1255.
- [11] Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture and primordial nucleosynthesis of the Universe. Fifth Russian Edition, corrected and added. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co KG, 2016, 496 p.
- [12] Hodgson P.E. The Optical model of elastic scattering. Oxford: Clarendon Press, 1963, 211 p.
- [13] Tilley D.R. et al. Energy levels of light nuclei A=5,6,7. *Nucl. Phys.*, **2002**, V. A708, P. 3-163.
- [14] Barnard A.C., Jones C.M., Phillips G.C. The scattering of ${}^3\text{He}$ by ${}^4\text{He}$. *Nucl. Phys.*, **1964**, V. 50, P. 629-640.
- [15] Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics. Second Russian Edition, corrected and enlarged. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co KG, 2013, 316 p.
- [16] Dubovichenko S.B. Methods of Calculation of Nuclear Characteristics: Nuclear and Thermonuclear Processes. Second Russian Edition, corrected and enlarged. Germany, Saarbrücken: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co KG, 2012, 432 p.
- [17] <http://cdfc.sinp.msu.ru>.
- [18] Plattner G.R., Viollier R.D. Coupling constants of commonly used nuclear probes. *Nucl. Phys.*, **1981**, V. A365, P. 8-12.
- [19] Igamov S.B., Tursunmakhatov K.I., Yarmukhamedov R. Determination of the ${}^3\text{He}+\alpha$ to ${}^7\text{Be}$ asymp. normalization coefficients and their application for extrapolation of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ astrophysical S-factors to the solar energy region. *Phys. Rev.*, **2012**, V.C85, P. 45807.
- [20] Brune C.R., Kavanagh R.W., Rolf C. ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction at low energies. *Phys. Rev.*, **1994**, V.C50, P. 2205-2218.
- [21] Confortola F. et al. Astrophysical S-factor of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ reaction measured at low energy via detection of prompt and delayed γ -rays. *Phys. Rev.*, **2007**, V. C75, P. 065803.
- [22] Gyurky G. et al. ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section at low energies. *Phys. Rev.*, **2007**, V.C75, P. 035805-035813.
- [23] Singh N. et al. New Precision Measurement of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section. *Phys. Rev. Lett.*, **2004**, V.93, P. 262503-262507.
- [24] Osborn J.L. et al. Low-energy behavior of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section. *Nucl. Phys.*, **1984**, V.A419, P. 15-132.
- [25] Kontos A. et al. Astrophysical S-factor of ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$. *Phys. Rev.*, 2013, V.C87, P. 065804(1-9).
- [26] Costantini H. et al. The ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ S-factor at solar energies: the prompt experiment at LUNA. *Nucl. Phys.*, **2008**, V.A814, P. 144-158.
- [27] Angulo C. et al. A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates. *Nucl. Phys.*, **1999**, V.A656, P. 3-183.
- [28] Bemmerer D. et al. Activation measurement of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section at low energy. *Phys. Rev. Lett.*, **2006**, V.97, P. 122502-122507.

REFERENCES

- [1] Imbriani G. Underground laboratory studies of pp and CNO some astrophysical consequences LUNA. Third European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics, Catania, Italy, October 2-9, 2005 (in Eng.).
- [2] Zel'dovich Ya.B., Novikov I.D. Relativistic Astrophysics, 2: Structure and Evolution of the Universe. Chicago and London: The University of Chicago press, 1983, 718 p. (in Eng.).

- [3] Cacioli A. et al. Ultra-sensitive in-beam γ -ray spectroscopy for nuclear astrophysics at LUNA. *Eur. Phys. J.*, **2009**, V. A39, P. 179-186 (in Eng.).
- [4] Takács M.P. et al. Constraining big bang lithium production with recent solar neutrino data. *Phys. Rev.*, **2015**, V.D91., P. 123526(1-7) (in Eng.).
- [5] Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors of radiative ${}^3\text{He}^4\text{He}$, ${}^3\text{H}^4\text{He}$, and ${}^2\text{H}^4\text{He}$ capture. *Phys. Atom. Nucl.*, **2010**, V.73, P. 1517-1522 (in Eng.).
- [6] Dubovichenko, S.B., Dzhazairov-Kakhramanov, A.V. Study of the Nucleon Radiative Captures ${}^8\text{Li}(n,\gamma)$, ${}^9\text{Be}(p,\gamma)$, ${}^{10}\text{Be}(n,\gamma)$, ${}^{10}\text{B}(p,\gamma)$, and ${}^{16}\text{O}(p,\gamma)$ at Thermal and Astrophysical Energies. *Int. Jour. Mod. Phys.*, **2017**, V.E26, P. 1630009(1-56) (in Eng.).
- [7] Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes in Stars and Universe. Second English edition, revised and expanded. Germany, Saarbrücken: Scholar's Press, 2015, 332 p. (in Eng.).
- [8] Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of ${}^4\text{He}$ and the Supermultiplet Potential Model of Cluster-Cluster Interactions. *Few-Body Systems*, **1995**, V.18, P. 159-172 (in Eng.).
- [9] Neudatchin V.G. et al. Generalized potential-model description of the lightest p+d, d+ ${}^3\text{He}$ nuclei and the corresponding photonuclear reactions. *Phys. Rev.*, **1992**, V.C45, P. 1512-1527 (in Eng.).
- [10] Kukulin V.I, Neudatchin V.G., Smirnov Yu.F. Composite particle interaction relevant to the Pauli principle. *Sov. Jour. Part. Nucl.*, **1979**, V.10, P. 1236-1255 (in Eng.).
- [11] Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture and primordial nucleosynthesis of the Universe. Fifth Russian Edition, corrected and added. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co KG, 2016, 496 p. (in Rus.).
- [12] Hodgson P.E. The Optical model of elastic scattering. Oxford: Clarendon Press, 1963, 211 p. (in Eng.).
- [13] Tilley D.R. et al. Energy levels of light nuclei A=5,6,7. *Nucl. Phys.*, **2002**, V. A708, P. 3-163 (in Eng.).
- [14] Barnard A.C., Jones C.M., Phillips G.C. The scattering of ${}^3\text{He}$ by ${}^4\text{He}$. *Nucl. Phys.*, **1964**, V. 50, P. 629-640 (in Eng.).
- [15] Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics. Second Russian Edition, corrected and enlarged. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co KG, 2013, 316 p. (in Rus.).
- [16] Dubovichenko S.B. Methods of Calculation of Nuclear Characteristics: Nuclear and Thermonuclear Processes. Second Russian Edition, corrected and enlarged. Germany, Saarbrücken: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co KG, 2012, 432 p. (in Rus.).
- [17] <http://cdfc.sinp.msu.ru>.
- [18] Plattner G.R., Viollier R.D. Coupling constants of commonly used nuclear probes. *Nucl. Phys.*, **1981**, V. A365, P. 8-12 (in Eng.).
- [19] Igamov S.B., Tursunmakhatov K.I., Yarmukhamedov R. Determination of the ${}^3\text{He}+\alpha$ to ${}^7\text{Be}$ asymp. normalization coefficients and their application for extrapolation of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ astrophysical S-factors to the solar energy region. *Phys. Rev.*, **2012**, V.C85, P. 45807 (in Eng.).
- [20] Brune C.R., Kavanagh R.W. Rolf C. ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction at low energies. *Phys. Rev.*, **1994**, V.C50, P. 2205-2218 (in Eng.).
- [21] Confortola F. et al. Astrophysical S-factor of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ reaction measured at low energy via detection of prompt and delayed γ -rays. *Phys. Rev.*, **2007**, V. C75, P. 065803 (in Eng.).
- [22] Gyurky G. et al. ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section at low energies. *Phys. Rev.*, **2007**, V.C75, P. 035805-035813 (in Eng.).
- [23] Singh N. et al. New Precision Measurement of the ${}^3\text{He}(\alpha,\text{He},\gamma){}^7\text{Be}$ cross section. *Phys. Rev. Lett.*, **2004**, V.93, P. 262503-262507 (in Eng.).
- [24] Osborn J.L. et al. Low-energy behavior of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section. *Nucl. Phys.*, **1984**, V.A419, P. 15-132 (in Eng.).
- [25] Kontos A. et al. Astrophysical S-factor of ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$. *Phys. Rev.*, 2013, V.C87, P. 065804(1-9) (in Eng.).
- [26] Costantini H. et al. The ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ S-factor at solar energies: the prompt experiment at LUNA. *Nucl. Phys.*, **2008**, V.A814, P. 144-158 (in Eng.).
- [27] Angulo C. et al. A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates. *Nucl. Phys.*, **1999**, V.A656, P. 3-183 (in Eng.).
- [28] Bemmerer D. et al. Activation measurement of the ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ cross section at low energy. *Phys. Rev. Lett.*, **2006**, V.97, P. 122502-122507 (in Eng.).

ӨОЖ: 539.17; 519.6; 52-1/-8:539.14; 524.1:539.14

С.Б. Дубовиченко¹, Н.А. Буркова², А.В. Джазаиров-Кахраманов¹,
А.С. Ткаченко^{1,2}, Б.У. Бейсенов^{1,2}, А.Р. Мукаева^{1,2}

¹ В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы қ., Қазақстан;

² Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

РАДИАЦИЯЛЫҚ ${}^3\text{He}^4\text{He}$ БАСЫП АЛУ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ S-ФАКТОРЫ

Аннотация. Әлем эволюциясының жұлдызға дейінгі кезеңіндегі термоядролық процесстерге сәйкес келетін төмен энергия кезінде ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ радиациялық басып алу процесі протонды-протондық циклді тұйықтай алатындықтан ядролық астрофизикада негізгі рөлдердің бірі атқарады. ${}^7\text{Be}$ атқарымдарының

жылдамдық бағалауын талап ететін тағы бір аспект ыдырау күн нейтроны ағымдарының қарқындылығы жөніндегі есептерді шешуге тікелей қатысты ^8B синтезіне алып келетін бұл ядроны протондарды радиациялық басып алу процесстері тізбегіне қосылуымен байланысты. Бұл байланыста өз кезегінде теориялық үлгілердің есептерінің келісімін талап ететін $^3\text{He}(\alpha, \gamma)^7\text{Be}$ реакциясы бойынша эксперименттік мәліметтер үнемі дәлелденеді.

Юнг сызбасы бойынша орбиталық жағдай жіктелісімен түрлендірілген потенциалды кластерлік үлгі аясында және потенциалдардың дәлелденген параметрлерімен тыйым салынған жағдайда кластерлік үлгілердің ^7Be в $^3\text{He}^4\text{He}$ ядролардың негізгі жағдайлары үшін $^3\text{He}^4\text{He}$ от 20 кэВ радиациялық басып алу процесстерінің астрофизикалық S-факторлары есептелді. Есептердің алынған нәтижелері 23 кэВ кезінде жаңа эксперименттік мәліметтермен жақсы келісіледі. Кластер-кластерлік потенциал параметрлері асимптотикалық нормалайтын тұрақты шама бойынша мәліметтермен, байланыс энергиясы ^7Be ядро спектрлері бойынша мәліметтермен, сонымен қатар орташа квадраттық зарядты радиустермен келісілген.

Түйін сөздер: ядролық астрофизика, жеңіл атом ядролары, төмен және астрофизикалық энергия, радиациялық басып алу, толық қиысу, термоядролық реакция, потенциалды кластерлік үлгі, тыйым салынған жағдай, Юнг сызбасы бойынша орбиталық жағдайлардың жіктелісі.

Сведения об авторах:

Дубовиченко Сергей Борисович - Лауреат государственной премии РК в области науки и техники, академик МАИН (РК), академик ПАНИ (РФ), академик РАЕ (РФ), академик EANS (EU), член Международного астрономического союза (IAU), член Европейского физического общества (EPS), член Американского физического общества (APS), д.ф.-м.н. в РК и РФ, профессор, зав. лаб. «Ядерная астрофизика», e-mail: dubovichenko@mail.ru; dubovichenko@gmail.com;

Буркова Наталья Александровна - д.ф.-м.н. в РК и РФ, профессор, e-mail: natali.burkova@gmail.com;

Джазаиров-Кахраманов Альберт Вейсалович - академик МАИН (РК), академик EANS (EU), к.ф.-м.н. в РК, ГНС лаборатории «Ядерная астрофизика», e-mail: albert-j@yandex.ru;

Ткаченко Алеся Сергеевна - магистр естественных наук, PhD-докторант КазНУ им. аль-Фараби, младший научный сотрудник лаборатории «Ядерная астрофизика», e-mail: tkachenko.alessya@gmail.com;

Бейсенов Бекмурза Уласбекулы - студент бакалавриата КазНУ им. аль-Фараби, инженер лаборатории «Ядерная астрофизика», e-mail: bekmurza-b@mail.ru;

Мукаева Анелия Рысбековна, студент бакалавриата КазНУ им. аль-Фараби, инженер лаборатории «Ядерная астрофизика», e-mail: mukaeva.aneliya@gmail.com.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 32 – 40

UDC 524.47-54

A.T. Ibraimova

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
ibraimova@aphi.kz

**LUMINOSITY PROFILES IN NUMERICAL
MODELS OF STAR CLUSTERS**

Abstract. In this work we investigate an actual problem of computational astrophysics - the effect of evolution of density distribution with various-mass stars inside star clusters on the behaviour of observed property of these clusters - their luminosity profiles. The investigation is performed based on numerical models in which stars at initial moment are distributed in phase space according to Plummer distribution, while stellar masses follow bimodal and trimodal laws. Simulation of cluster evolution is performed with direct integration of N-body problem using open-source code based on the Hermite scheme. To analyze the results, we have developed an algorithm of finding luminosity profile given the density distribution of stars, taking into account the dependence of stellar lifetimes on their initial masses. As a result, it was found that for models of the described type, in which the initial quantities of stars of different masses are approximately equal, the luminosity profile peak in general shifts away from the center during star cluster evolution. A physical interpretation of this result is given.

Keywords: stellar dynamics, N-body problem, luminosity profile, mass segregation

УДК 524.47-54

А. Т. Ибраимова

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

**ПРОФИЛИ СВЕТИМОСТИ В ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ
ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ**

Аннотация. В работе изучается актуальная задача вычислительной астрофизики – эффект эволюции распределения звезд разных масс внутри звездных скоплений на изменение наблюдаемой характеристики этих скоплений, а именно их профиль светимости. Исследование проводится на основе численных моделей, в которых звезды в начальный момент распределены в фазовом пространстве согласно модели Пламмера, а распределение по массе является двух- или трехмодальным. Моделирование эволюции производится прямым численным интегрированием задачи многих тел, с использованием открытого кода на основе метода Хермита. Для анализа результатов разработан алгоритм нахождения профиля светимости по заданному распределению плотности скопления, с учетом зависимости времени жизни звезд от их начальной массы. В результате найдено, что для моделей указанного типа, в которых начальное количество звезд разных масс примерно одинаково, пик профиля светимости смещается, в общем случае, в течение эволюции в сторону от центра. Дана физическая интерпретация полученного результата.

Ключевые слова: звездная динамика, задача многих тел, профиль светимости, сегрегация масс.

Введение

Профиль светимости – одна из основных наблюдаемых характеристик звездных скоплений [1]. Однако при проведении численного моделирования звездных скоплений имеют дело в основном с профилями распределения плотности. Вообще говоря, эти два профиля описывают совершенно

разные вещи. Профиль плотности задает распределение массы в трехмерном пространстве, тогда как профиль светимости определяет распределение поверхностной яркости как проекцию на двумерную небесную сферу. В этой работе мы изучим вопрос о связи между этими двумя типами профилей, с учетом различных типов звезд и конечного времени их жизни.

Если модельный кластер состоит из звезд одной и той же массы m , то эволюция профиля светимости будет обусловлена лишь динамической эволюцией самого кластера, по крайней мере в течение времени, равному жизни звезды массы m . Однако в реальных звездных системах звезды имеют различные массы, и в этом случае эволюция профиля светимости будет обусловлена также и другим фактором – временем жизни отдельных популяций звезд. Тяжелые звезды ярче легких, но и время их жизни меньше, поэтому с течением времени профиль светимости будет меняться за счет двух факторов – перераспределения массы и угасанием самых тяжелых (и поэтому самых ярких звезд). В этой работе мы определим, как оба эти фактора, действуя одновременно, влияют на профиль светимости звездных кластеров.

Сегрегация массы в течение эволюции звездных скоплений является не до конца изученным вопросом [2, 3]. Тем не менее, хорошо известно, что в кластерах с неоднородной (в смысле массы) популяцией звезд в течение характерного динамического времени происходит перераспределение массы – самые тяжелые звезды оседают ближе к центру системы, а популяция легких звезд распределяется до больших расстояний (см., например, [4]). Поскольку яркость звезды пропорциональна ее массе, то отсюда следовало бы, что профиль светимости кластеров должен резко возрастать к центру. Однако это имеет место лишь для самых молодых кластеров, в которых большинство звезд еще не закончили свой жизненный цикл. Со временем тяжелые звезды вблизи центра скопления пройдут через фазу сверхновых и оставят после себя остатки в виде черных дыр или нейтронных звезд, имеющих фактически нулевую светимость в оптическом диапазоне. Поэтому и светимость вблизи центра кластера будет со временем падать, несмотря на то, что отношение светимость/масса там изменяется несильно. С другой стороны, во внешних областях кластера находятся в основном легкие и долгоживущие звезды, поэтому светимость в этих областях будет меняться со временем менее выражено.

Численная модель

Обычно в численных экспериментах по эволюции звездных кластеров в качестве начальной функции распределения масс берется распределение Круппы [5], которое достаточно оптимально отражает наблюдаемые распределения звезд по массам во многих реальных скоплениях. Это распределение характеризуется тем, что самых массивных звезд в нем на порядки меньше, чем самых легких. В итоге, в численной модели самых массивных звезд оказывается всего несколько штук, и они почти не играют никакой роли в плане исследования профиля светимости всего скопления. Поэтому мы принимаем более простые распределения звезд – двух- и трехмодальные, т.е. когда вся популяция звезд делится на два или три типа по массе. При этом принимаем, что вклад по количеству звезд от суб-популяций одинаков – иными словами, если распределение двухмодально, то половина звезд имеет одну массу, а другая половина – другую. Аналогично, если распределение трехмодально, то треть звезд имеет одну массу, другая треть – вторую массу, и оставшаяся треть – третью массу. Такое упрощение является оправданным, поскольку за исключением хвоста самых массивных звезд, оно в первом приближении описывает распределение Круппы. Мы также будем варьировать массовый диапазон распределения, т.е. разницу между самыми тяжелыми и самыми легкими звездами.

Для компьютерного моделирования эволюции звездных кластеров мы использовали открытый код `phiGRAPE+GPU` [6]. Расчёты проводились на компьютерном мини-кластере Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова. Кластер снабжен GPGPU-модулями Nvidia Tesla C1060, которые используются кодом `phiGRAPE+GPU` для ускорения просчета гравитационного взаимодействия. Построение и анализ моделей проводились на основе безразмерных систем единиц *N-body units* (NBU), которая разработана специально для применения в области вычислительной астрофизики [7].

В Таблице 1 приведен список использованных в данной работе моделей. Во всех случаях число частиц $N = 16384$. В качестве начального пространственного распределения плотности во

всех моделях использовался сферически-симметричный профиль Пламмера [6]. Модели отличались типом начального распределения звезд по массам и массовым диапазоном, при этом распределение звезд по массам вводилось стохастически, то есть без какой-либо корреляции с положением звезды в кластере. Первая модель с унимодальным распределением – эталонная. Все модели просчитывались до 500 NBU, что для используемого числа частиц соответствует времени, немного большему времени релаксации системы t_{rx} (t_{rx} – характерное время релаксации системы, определяемое числом частиц и временем пересечения частицей всей системы [9]).

Таблица 1 - Исследовавшиеся численные модели

Модель	Тип распределения звезд по массам	Значения масс (NBU)	Массовый диапазон Δm_{\max} , (NBU)
1	Унимодальное	$m = 6.10 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0$
2	Бимодальное	$m_1 = 5.49 \cdot 10^{-5}, m_2 = 6.71 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0.1$
3	Бимодальное	$m_1 = 3.05 \cdot 10^{-5}, m_2 = 7.93 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0.4$
4	Бимодальное	$m_1 = 1.22 \cdot 10^{-5}, m_2 = 9.76 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0.78$
5	Трехмодальное	$m_1 = 5.49 \cdot 10^{-5}, m_2 = 6.22 \cdot 10^{-5}, m_3 = 6.71 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0.1$
6	Трехмодальное	$m_1 = 1.22 \cdot 10^{-5}, m_2 = 5.49 \cdot 10^{-5}, m_3 = 9.76 \cdot 10^{-5}$	$\Delta m_{\max} = 0.78$
7	Трехмодальное	$m_1 = 1.03 \cdot 10^{-6}, m_2 = 5.49 \cdot 10^{-5}, m_3 = 5.06 \cdot 10^{-4}$	$\Delta m_{\max} = 0.9$

Для вычисления светимости звезд по их заданным массам мы используем следующие известные феноменологические соотношения [10, 11]:

$$\begin{aligned} \frac{L}{L_{sol}} &= 0.23 \left(\frac{M}{M_{sol}} \right)^{2.3} && \text{при } M < 0.43 M_{sol} \\ \frac{L}{L_{sol}} &= \left(\frac{M}{M_{sol}} \right)^4 && \text{при } 0.43 M_{sol} < M < 2 M_{sol} \\ \frac{L}{L_{sol}} &= 1.5 \left(\frac{M}{M_{sol}} \right)^{3.5} && \text{при } 2 M_{sol} < M < 20 M_{sol} \\ \frac{L}{L_{sol}} &= 3200 \frac{M}{M_{sol}} && \text{при } M > 20 M_{sol} \end{aligned} \quad (1)$$

Для вычисления времени жизни звезды по ее начальной массе мы также используем стандартное соотношение для звезд главной последовательности:

$$\frac{t}{t_{sol}} \sim \left(\frac{M}{M_{sol}} \right)^{-2.5} \quad (2)$$

Построение профиля светимости для модельных звездных скоплений производилось по следующему алгоритму. Сначала находится радиус Лагранжа R_{95} , т.е. тот радиус, внутри которого находится 95% массы всего скопления (100%-ый радиус в таких расчётах не используется,

поскольку несколько звезд, улетевших далеко за пределы системы, могут испортить статистику). Затем пространственное распределение звезд проецируется на заданную плоскость (поскольку мы рассматриваем сферически-симметричные распределения, то, не ограничивая общности, мы проектируем скопление на XY - плоскость). Далее, плоское распределение разбивается в пределах от 0 до R_{95} на заданное количество концентрических колец одинаковой толщины для построения гистограммы светимости (мы использовали 80 интервалов шириной $R_{95}/80$). Внутри каждого кольца производится суммирование светимостей всех звезд, попадающих в это кольцо, в данный момент времени, согласно формулам, приведенным выше. Если для какой-то звезды время жизни меньше текущего момента в модельной эволюции (т.е. вместо этой звезды мы уже имеем нейтронную звезду или черную дыру), то ее светимость принимается равной нулю. Затем суммарная светимость в кольце нормируется на площадь кольца, и строится профиль светимости.

Результаты и обсуждение

На Рис. 1 показано кумулятивное распределение массы во всех семи моделях, на конечный момент модельной эволюции. Как и следовало ожидать, видно, что кластер “раздувается” в течение эволюции тем сильнее, чем больше массовый диапазон в начальном распределении звезд.

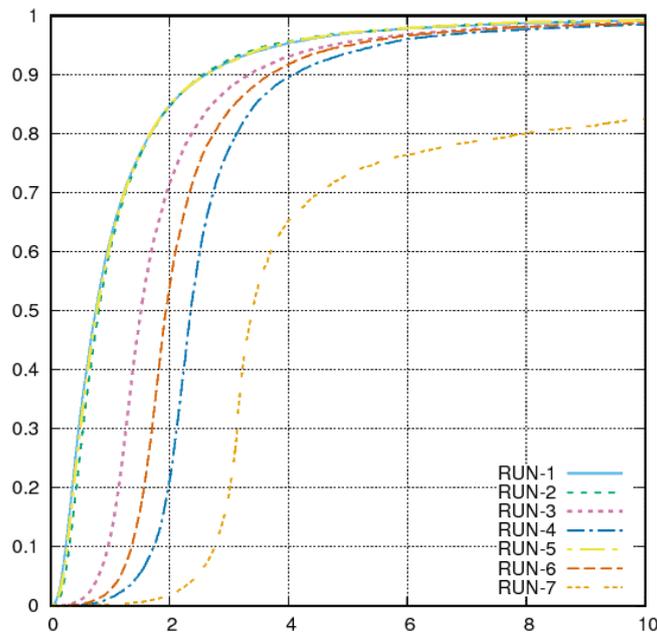


Рисунок 1 – Кумулятивное распределение массы в скоплениях на момент $t = t_{tx}$.

Расстояния (ось абсцисс) и массы (ось ординат) указаны в безразмерных единицах NBU

В Таблице 2 приведены два параметра – 95-процентный радиус Лагранжа R_{95} в начальный момент эволюции, и массовый индекс в конечный момент. Определение R_{95} здесь играет контрольную роль – как видно, его значение в начальный момент почти одинаков для всех моделей. Это свидетельствует о том, что массы звезд действительно не коррелируют с их положением в системе в заданных начальных условиях. Второй параметр – т.н. массовый индекс, просчитанный на конечный момент эволюции. Этим параметром мы определили отношение массы системы, которая вышла за первоначальное значение R_{95} , ко всей массе системы. Этот параметр определяет сразу два эффекта – насколько изменились размеры скопления в течение эволюции, и до какой степени произошла сегрегация масс внутри нее.

Для удобства в Таблице 2 приведены также массовые диапазоны из Таблицы 1 – видно, что существует корреляция между конечным массовым индексом и начальным массовым диапазоном.

Таблица 2 - Параметры численных моделей

Модель	1	2	3	4	5	6	7
$R_{95} (t = 0)$	3.085	3.089	3.098	3.127	3.080	3.121	3.005
Массовый индекс при $t = t_{end}$	0.075	0.070	0.115	0.201	0.076	0.147	0.807
Массовый диапазон	0	0.1	0.4	0.78	0.1	0.78	0.9

Для более детального исследования сегрегации массы внутри скоплений, с учетом вклада от различных популяций звезд, мы построили дифференциальные распределения масс (гистограммы), на конечный момент эволюции, при этом были построены распределения отдельно по массовым компонентам (рис. 2). В частности, видно, что пик массы для всех компонент сдвигается от центра тем сильнее, чем больше массовый диапазон модели, при этом пики для различных компонент фактически не сдвигаются друг относительно друга. На последнем рисунке в нижнем ряду необходимо учесть масштаб расстояния – в результате большого массового диапазона, многие звезды вылетели на расстояния, на порядок большее начального размера системы.

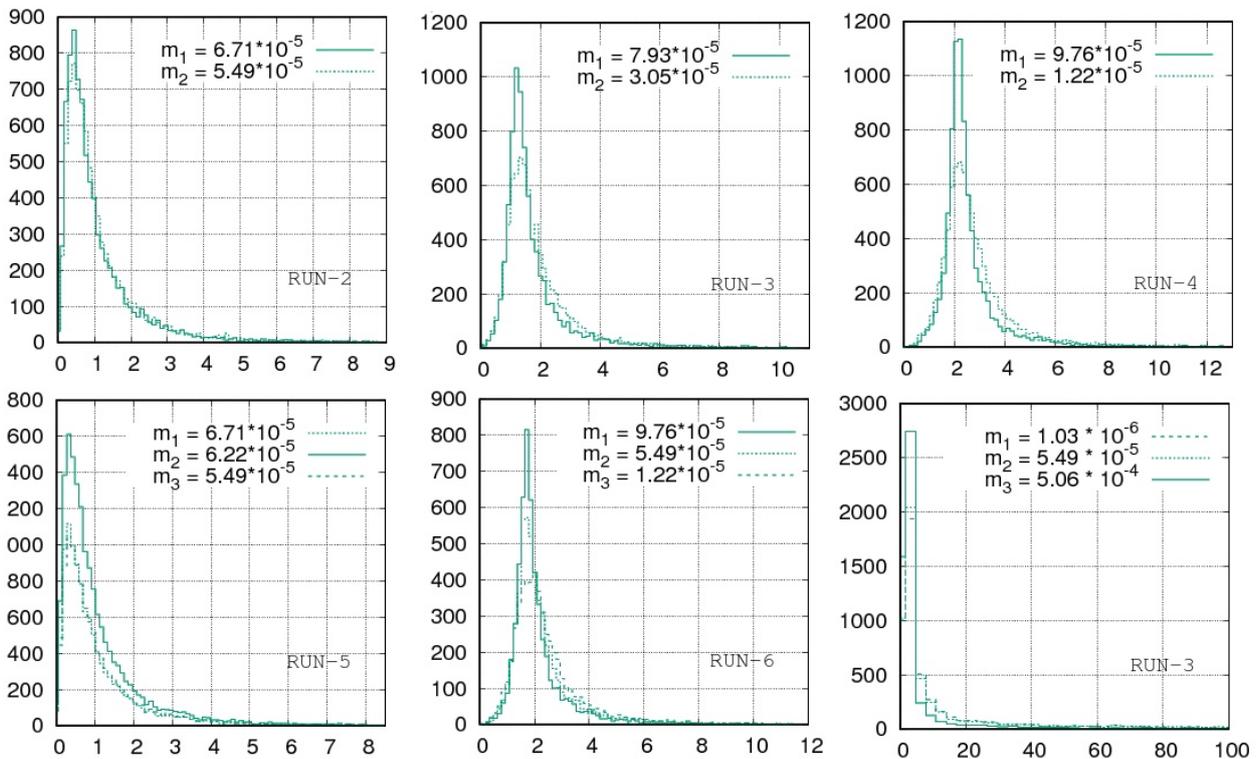


Рисунок 2 – дифференциальное распределение масс для моделей 2-7, на конечный момент эволюции. Ось абсцисс – расстояние от центра системы (в единицах NBU), по оси ординат – масса (в единицах NBU). Для каждой модели распределение показано отдельно для массовых компонент. Верхний ряд – модели с бимодальным распределением масс, нижний ряд – модели с трехмодальным распределением

Еще более подробную информацию об эволюции структуры скопления можно получить с помощью отображения радиусов Лагранжа. На Рис. 3 мы изобразили радиусы Лагранжа для следующих значений масс: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% и 95%. Каждая кривая показывает эволюцию радиуса сферы, содержащей указанное количество массы (в процентах от общей массы скопления). Расположение моделей на рисунке такое же, как на Рис. 2. Видно, что четко наблюдается корреляция между массовым диапазоном и ростом внутренних радиусов Лагранжа. Например, в моделях 2 и 5 с наименьшим массовым диапазоном внутренние радиусы практически

не изменяются со временем, то есть массовая структура скопления не эволюционирует в областях до 75% массы. Напротив, в моделях 4 и 7 с максимальными массовыми диапазонами происходит заметное увеличение даже 1%-го радиуса Лагранжа.

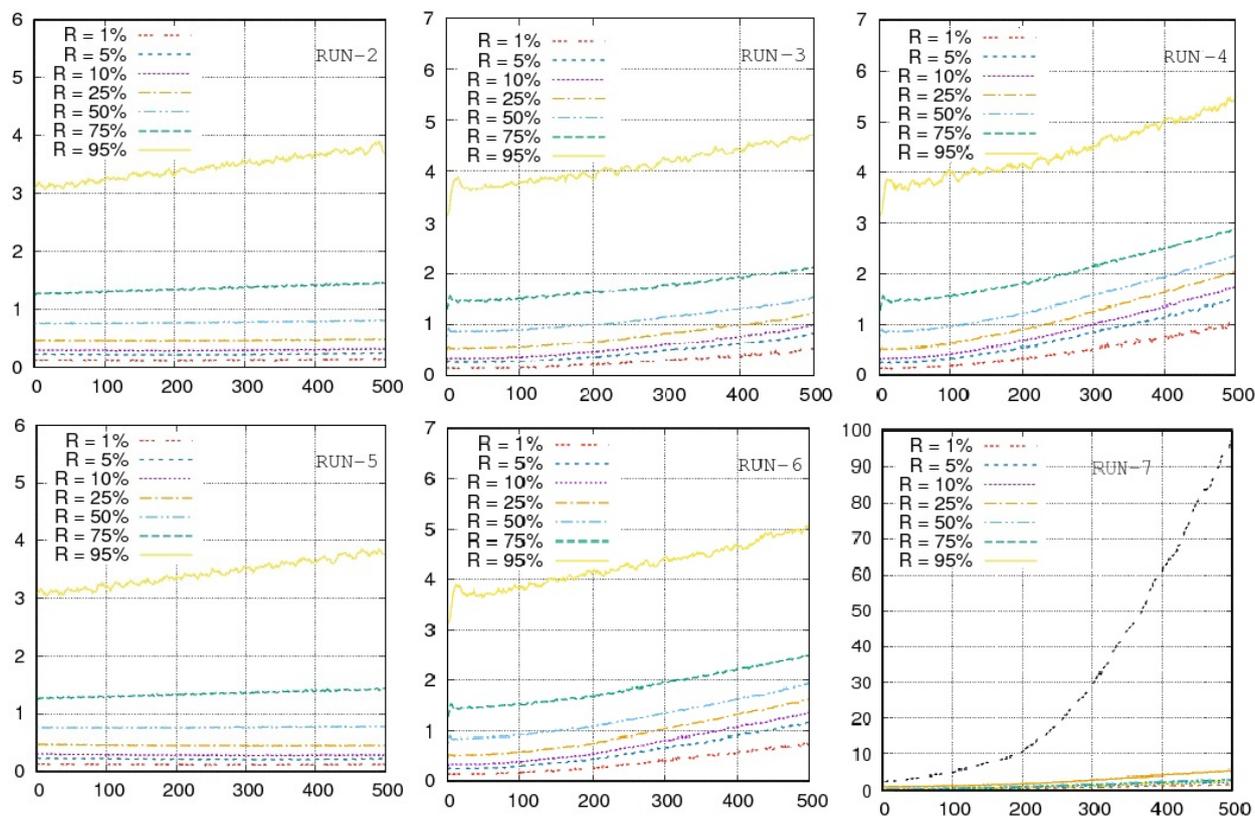


Рисунок 3 – эволюция лагранжевских радиусов в численных моделях. Ось абсцисс – время (в единицах NBU), ось ординат – радиус сферы (в единицах NBU), содержащий указанный процент массы

Теперь обратимся к вопросу о том, как вышеописанная эволюция массовой структуры скоплений сказывается на их наблюдаемой характеристике – профиле светимости. Для этого применяем алгоритм, описанный в конце предыдущего раздела. При этом заметим, что, в силу использования безразмерной NBU-системы единиц, мы можем оценить профиль светимости для каждой модели (кроме модели 1 с унимодальным распределением) в двух вариантах. В первом варианте – с прямой иерархией масс – принимается, что самая легкая масса в модели соответствует массе Солнца. В другом варианте – с инвертированной иерархией масс – принимаем, что самые тяжелые звезды в модели соответствуют массе Солнца. Зафиксировав таким образом одну из масс, в обоих случаях остальные массы определяются автоматически. Поэтому, имея 6 численных моделей, можно получить 12 профилей светимости.

В качестве эталонного профиля светимости на Рис. 4 показан случай модели 1, в которой все массы одинаковы. Как видно, в этом случае профиль светимости практически не изменился за все модельное время эволюции. (Конечно, даже если бы существовали реальные скопления с изначально одинаковыми звездами, то профиль светимости в них рано или поздно изменился бы радикальным образом, поскольку время жизни звезд конечно. В данном случае мы принимаем, что все звезды имеют массу Солнца, что соответствует времени жизни звезды в ~ 10 млрд лет. Это намного больше масштаба времени релаксации рассматриваемых моделей.)

Модельные профили светимости, аналогичные изображенному на Рис. 4, показаны для моделей 2-7 с прямой иерархией масс на Рис. 5, а с инвертированной иерархией – на Рис. 6. На всех указанных гистограммах количество интервалов составляет 80.

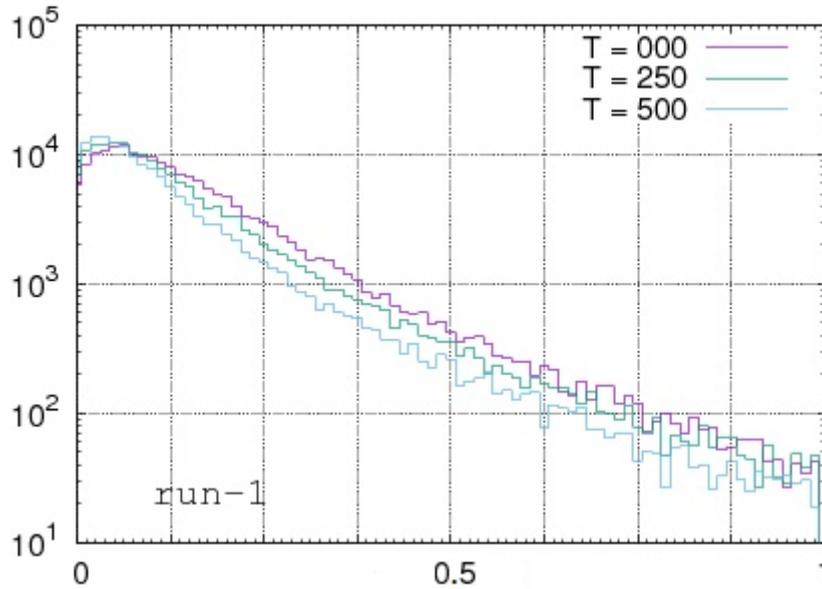


Рисунок 4 – Профиль светимости для модели 1 в три момента – начало, середина ($T = 250 \text{ NBU}$) и конец ($T = 500 \text{ NBU}$) модельной эволюции. Ось абсцисс – расстояние от центра системы в единицах текущего значения R_{95} , ось ординат – светимость (в единицах светимости Солнца), нормированная на площадь.

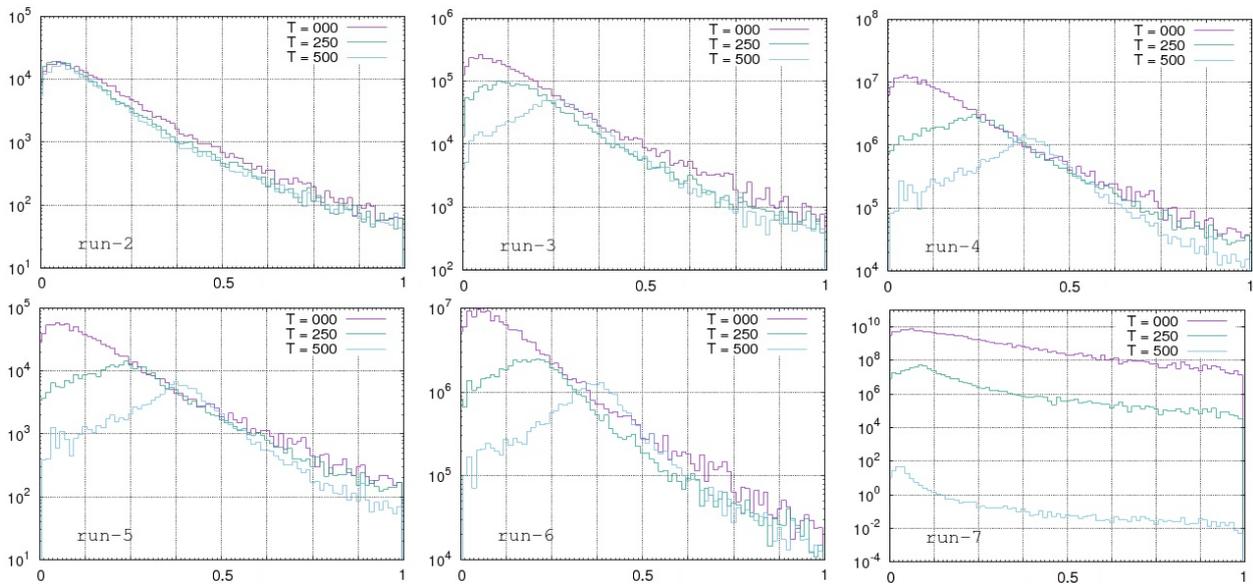


Рисунок 5 – Профили светимости для моделей 2-7 с прямой иерархией масс. Обозначения и системы единиц те же, что и на Рис. 4

Как можно сразу же заметить, отличие между формами соответствующих кривых на рисунках 5 и 6 малы – профили отличаются фактически только абсолютным значением, при этом светимость выше в случаях с прямой иерархией масс. Заметное исключение составляет модель 7, с тремя типами масс и большим массовым диапазоном. Для этой модели большое отличие видно и для формы конечного профиля – в случае прямой иерархии пик профиля сильно упал к концу модельной эволюции, тогда как для случая инвертированной иерархии пик снизился незначительно. Это обусловлено тем, что в случае инвертированной иерархии большинство звезд имеют массу меньше массы Солнца и, соответственно, живут дольше. Для прямой иерархии –

наоборот, большинство звезд имеют массу больше массы Солнца, живут меньше, и, как следствие, к концу модельной эволюции самые тяжелые звезды уже превратились в черные дыры и нейтронные звезды. Это и привело к общему опусканию профиля светимости.

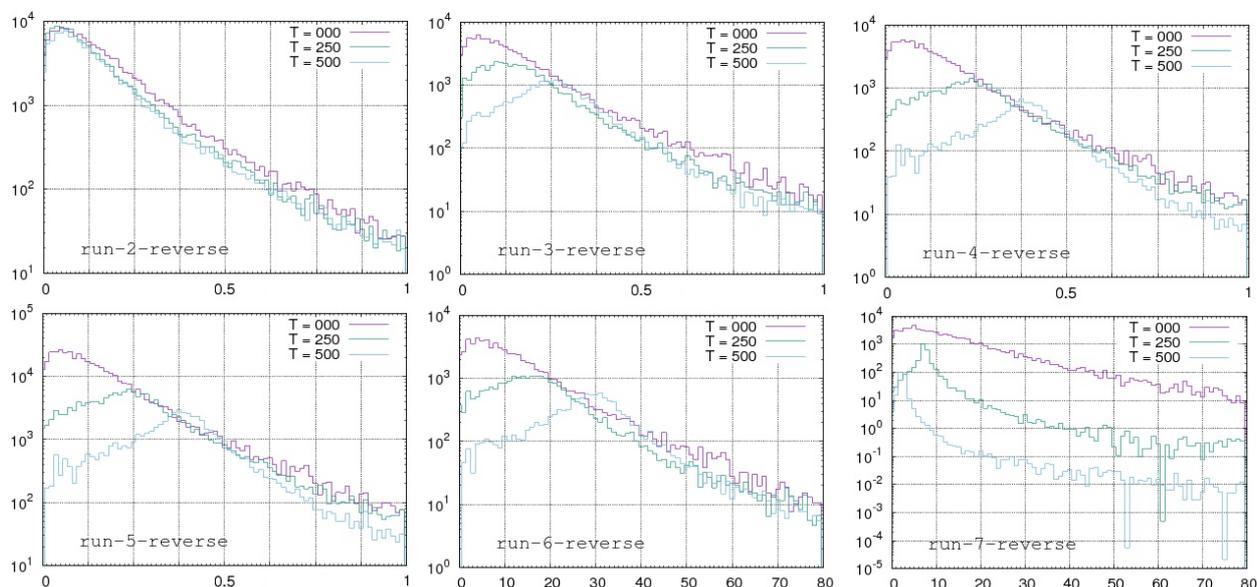


Рисунок 6 – Профили светимости для моделей 2-7 с инвертированной иерархией масс. Обозначения и системы единиц те же, что и на Рис. 4

Другая нетипичная характеристика модели 7 (как с прямой, так и с инвертированной иерархией масс) – пик профиля светимости сначала удаляется от центра, а затем возвращается к нему в течение эволюции, тогда как в других моделях пик удаляется от центра монотонно. Дальнейшее подробное исследование этой модели объяснило этот факт особой комбинацией распределения популяций звезд с минимальной и средней массой.

Интересным результатом оказалось также и то, что эволюция профиля светимости зависит не только от начального диапазона масс, но и количества типов масс внутри этого диапазона. Из Рис. 5 и 6 видно, что эволюция профиля светимости в моделях 2 и 5 отличается коренным образом, несмотря на то, что массовый диапазон в этих моделях одинаков.

Заключение

В целом, из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Во-первых, мы разработали (в первом приближении) алгоритм, позволяющий по текущему распределению звезд внутри модельного звездного скопления получить наблюдаемую характеристику этого скопления в виде профиля светимости, что важно с точки зрения сопоставления численных и наблюдательных результатов. Для этого необходимо для конкретных случаев соответственным образом согласовывать системы единиц, поскольку, например, для наблюдаемых профилей светимости расстояние по оси абсцисс будет выражено в угловых единицах. Во-вторых, для скоплений, заданных по модели Пламмера и имеющих простые двух- и трехмодальные распределения звезд по массе, мы получили, что в общем случае пик профиля светимости смещается в течение эволюции от центра скопления. Такой результат подтверждается и простыми физическими соображениями. Тяжелые звезды в результате действия динамического трения на фоне легких звезд оседают к центру, передавая кинетическую энергию легким звездам, которые, в свою очередь, распределяются по расстоянию дальше от центра. В то же время, тяжелые звезды живут меньше легких, поэтому с течением эволюции светимость в центральной области падает. С другой стороны, менее массивные звезды продолжают светить, но они распределены по большему объему и потому дают небольшой вклад в светимость. В результате, для распределений, имеющих достаточно большой массовый диапазон с примерно равными количествами звезд разной массы, профиль светимости со временем опускается как в центре, так и на периферии, что может сделать скопления, рожденные с указанными начальными условиями, трудно наблюдаемыми.

Работа выполнена в рамках проекта № 0073-10/ПЦФ-15-МОН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bastian N., Schweizer, F., Goudfrooij P., Larsen S. S., Kissler-Patig M. Luminosity profiles and sizes of massive star clusters in NGC 7252. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 431(2), 2013. P. 1252-1263
- [2] Küpper A. H. W. et al. "Mass segregation and fractal substructure in young massive clusters - I. The McLuster code and method calibration". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 417(3), 2011. P. 2300–2317.
- [3] Krumholz M. R. "The Big Problems in Star Formation: the Star Formation Rate, Stellar Clustering, and the Initial Mass Function". *Physics Reports*, Vol. 539, P. 49–134.
- [4] Parker R.J., Goodwin, S.P., Wright N.J., Meyer M.R., Quanz S.P. Mass segregation in star clusters is not energy equipartition. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Vol. 459, 2016. P. L119-L123
- [5] Kroupa P. On the variation of the initial mass function. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 322, 2001. 231p.
- [6] Harfst S., Gualandris A., Merritt D., Spurzem R., Portegies Zwart S.F., Berczik P. Performance analysis of direct N-body algorithms on special-purpose supercomputers. *New Astronomy*, Vol. 12, 2007. P. 357-377
- [7] Aarseth S.J. Gravitational N-body Simulations: Tools and Algorithms. *Cambridge University Press*, Cambridge. 2003.
- [8] Plummer H.C. On the problem of distribution in globular star clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 71, 1911. P. 460-470
- [9] Binney J., Tremaine S. *Galactic Dynamics*. Princeton University Press, Princeton. 2008.
- [10] Duric N. *Advanced astrophysics*. Cambridge University Press, 2004. 19 p.
- [11] Salaris M., Cassisi S., *Evolution of stars and stellar populations*. John Wiley & Sons. 2005. P. 138–140.

REFERENCES

- [1] Bastian N., Schweizer, F., Goudfrooij P., Larsen S. S., Kissler-Patig M. Luminosity profiles and sizes of massive star clusters in NGC 7252. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 431(2), 2013. P. 1252-1263
- [2] Küpper A. H. W. et al. "Mass segregation and fractal substructure in young massive clusters - I. The McLuster code and method calibration". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 417(3), 2011. P. 2300–2317.
- [3] Krumholz M. R. "The Big Problems in Star Formation: the Star Formation Rate, Stellar Clustering, and the Initial Mass Function". *Physics Reports*, Vol. 539, P. 49–134.
- [4] Parker R.J., Goodwin, S.P., Wright N.J., Meyer M.R., Quanz S.P. Mass segregation in star clusters is not energy equipartition. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Vol. 459, 2016. P. L119-L123
- [5] Kroupa P. On the variation of the initial mass function. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 322, 2001. 231p.
- [6] Harfst S., Gualandris A., Merritt D., Spurzem R., Portegies Zwart S.F., Berczik P. Performance analysis of direct N-body algorithms on special-purpose supercomputers. *New Astronomy*, Vol. 12, 2007. P. 357-377
- [7] Aarseth S.J. Gravitational N-body Simulations: Tools and Algorithms. *Cambridge University Press*, Cambridge. 2003.
- [8] Plummer H.C. On the problem of distribution in globular star clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 71, 1911. P. 460-470
- [9] Binney J., Tremaine S. *Galactic Dynamics*. Princeton University Press, Princeton. 2008.
- [10] Duric N. *Advanced astrophysics*. Cambridge University Press, 2004. 19 p.
- [11] Salaris M., Cassisi S., *Evolution of stars and stellar populations*. John Wiley & Sons. 2005. P. 138–140.

ӨОЖ: 524.47-54

А.Т. Ибраимова

В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**ЖҰЛДЫЗДЫ ШОҒЫРЛАРДЫҢ САНДЫҚ ҮЛГІЛЕРІНДЕГІ
ЖАРҚЫРАҒЫШТЫЛЫҚ КЕСКІНІ**

Аннотация. Аталған жұмыста есептеуіш астрофизиканың өзекті мәселесі – жұлдызды шоғырлардағы әртүрлі массадағы жұлдыздар таралу эволюциясының осы шоғырлардың бақыланатын сипаттамаларының, яғни олардың жарқырағыштық кескіні өзгерісіне әсері зерттелген. Зерттеу сандық үлгілеу негізінде жүргізілді, атап айтсақ, Пламмер үлгісіне сәйкес жұлдыздар бастапқы мезетте фазалық кеңістікте таралған, ал масса таралуы екі немесе үш модальды болып табылады. Эволюцияны үлгілеу Хермит әдісіне негізделген ашық кодты пайдалана отырып көп дене есебін тікелей сандық интегралдау арқылы жүзеге асырылады. Нәтижелерді талдау үшін шоғырдың берілген таралу тығыздығы бойынша жарқырағыштылық кескінін табу үшін жұлдыздардың бастапқы массаларының өмір сүру уақытына тәуелділігін еске ала отырып алгоритм жасалды. Нәтижесінде аталған типтегі үлгілер үшін, яғни массалары әртүрлі жұлдыздар саны шамамен бірдей, жалпы айтқанда, жарқырағыштылық кескін шыңы эволюция барысында ортасынан шетке қарай жылжиды. Алынған нәтижеге физикалық түсіндірме берілген.

Түйін сөздер: жұлдызды динамика, көп денелер есебі, жарқырағыштылық кескіні, массаларды сегрега-циялау.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 41 – 49

UDK 524.7

V.Gaisina, E.Denissyuk, R.Valiullin, A.Kusakin, S.Shomsheкова, I.Reva

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
gaisina52@mail.ru

VARIABILITY OF SEYFERT GALAXY NGC 5548

Abstract. The results of a long-term (40 years) optical monitoring of the Seyfert galaxy NGC 5548 are presented in this Paper. Spectral observations in the wavelength range $\lambda\lambda 4200-7500\text{\AA}$ were carried out on the telescope AZT-8 (700 mm, Almaty, AFIF) in 1975-2016. Photometric data were obtained on the AZT-8 telescope (700mm, Almaty, AFIF) and 1m telescope AFIF Tshao.

Absolute fluxes of radiation are obtained both for the continuum at $\lambda 5100\text{\AA}$ and $\lambda 6750\text{\AA}$, and for the broad hydrogen emission lines $H\beta$ and $H\alpha$. The profiles of broad hydrogen emission lines $H\beta$ and $H\alpha$ are analyzed. The results of analysis of long-term observations show structural changes in the regions of the broad emission lines formation. During the monitoring period, the radiation fluxes in the emission lines and in continuum changed by a factor of 9, the profiles of lines corresponded to the Seyfert type Sy1. According to the data of photometric observations, the light curve of galaxy NGC 5548 in filter V for 1975-2016 was constructed. Since 2013, photometric observations are carried out in filters B, V, R and the results of these observations are given in this paper.

Key words: seyfert galaxy, spectral and fotometric variability.

УДК 524.7

В. Гайсина, Э. Денисюк, Р. Валиуллин, А. Кусакин, С. Шомшекова, И. Рева

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

ПЕРЕМЕННОСТЬ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 5548

Аннотация. В данной работе представлены результаты долговременного (40 лет) оптического мониторинга сейфертовской галактики NGC 5548. Спектральные наблюдения были проведены на телескопе АЗТ-8 (700мм, г.Алматы, АФИФ) в диапазоне длин волн $\lambda\lambda 4200-7500\text{\AA}$ в 1975-2016гг. Фотометрические данные получены на телескопе АЗТ-8 (700мм, г.Алматы, АФИФ) и 1м телескопе АФИФ ТШАО.

Получены абсолютные потоки излучения, как для континуума на $\lambda 5100\text{\AA}$ и $\lambda 6750\text{\AA}$, так и для широких эмиссионных линий водорода $H\beta$ и $H\alpha$. Проведен анализ профилей широких эмиссионных линий водорода $H\beta$ и $H\alpha$. Результаты анализа длительных наблюдений показывают структурные изменения в области формирования широких эмиссионных линий. В период мониторинга потоки излучения в эмиссионных линиях и континууме менялись в 9 раз, профили линий соответствовали сейфертовскому типу Sy1. По данным фотометрических наблюдений построена кривая блеска галактики NGC 5548 в фильтре V за 1975-2016гг. С 2013 года фотометрические наблюдения проводятся в фильтрах B, V, R и результаты этих наблюдений приводятся в данной работе.

Ключевые слова: сейфертовская галактика (СГ), спектральная переменность, фотометрическая переменность.

Введение.



Галактика NGC 5548 наблюдается в АФИФ с 1976 года. Получено около 400 спектрограмм, общая экспозиция 6100 мин. и 90 прямых снимков поля галактики. Координаты галактики $14^{\text{h}} 15^{\text{m}} 43.5 +25^{\circ} 22' 01''$, красное смещение $z=0.0171$. Галактика NGC 5548 спиральная галактика, класс SY 1. Это большая сейфертовская галактика диаметром более 50 000 световых лет находится в направлении созвездия Волопас более чем в 223 миллионах световых лет от нас.

NGC 5548 - галактика, в которой открыто около 250 цефеид. Эти яркие объекты являются ключевыми при определении астрономических расстояний. NGC 5548 - одна из 8 галактик, включённых в новую программу исследований Космического телескопа Хаббла. Эта программа должна улучшить точность измерения постоянной Хаббла - меры расширения Вселенной.

Активность галактических ядер привлекает пристальное внимание астрономов. Столь сильный интерес вызван тем, что активные галактические ядра наряду с квазарами - самые мощные из длительно существующих источников излучения во Вселенной.

Основная особенность спектров галактик с активными ядрами - очень интенсивные и широкие спектральные линии излучения. Они видны на фоне яркого непрерывного спектра (континуума). Их ширина соответствует дисперсии скоростей ~ 10000 км/с (в разных объектах от 1000 до 25000 км/с).

Наблюдавшиеся неоднократно переходы (по спектральным характеристикам) Sy1 в Sy2 (NGC4151, NGC 3516, NGC 7496) и обратно подчёркивают общность природы ядер СГ разных типов, а также доминирующую роль центрального источника – ядра, которое представляет собой сверхмассивное тело с массой в миллионы масс Солнца.

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

Начиная с 2000 г. в качестве приемника излучения применяется CCD-матрица типа ST-7, а с конца 2002 г. – ST-8 (1530x1020, 9 мр). В зависимости от используемой дифракционной решетки и объектива камеры спектрограммы имели спектральное разрешение в пределах 2.5–5.0 Å. Ширина входной щели составляла 4"–10". Как правило, для повышения точности результатов спектр исследуемой галактики экспонировался от 2 до 6 раз подряд с экспозициями от 5 до 30 мин в зависимости от дисперсии и яркости ядра галактики.

Фотометрические наблюдения галактики проводились на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории АФИФ на 1-м телескопе системы Ричи-Критьена фирмы Карл Цейсс Йена с корректором фокуса и эквивалентным фокусным расстоянием 6,5 м. и полем $20' \times 20'$. Для

наблюдений использовалась CCD камера U9000D9 фирмы Apogee Alta и BVR Astrodon фильтры. Угловой масштаб кадра с изображением объектов – 0,38"/пиксель. Для обработки наблюдений применялась стандартная программа Maxim DL 5.

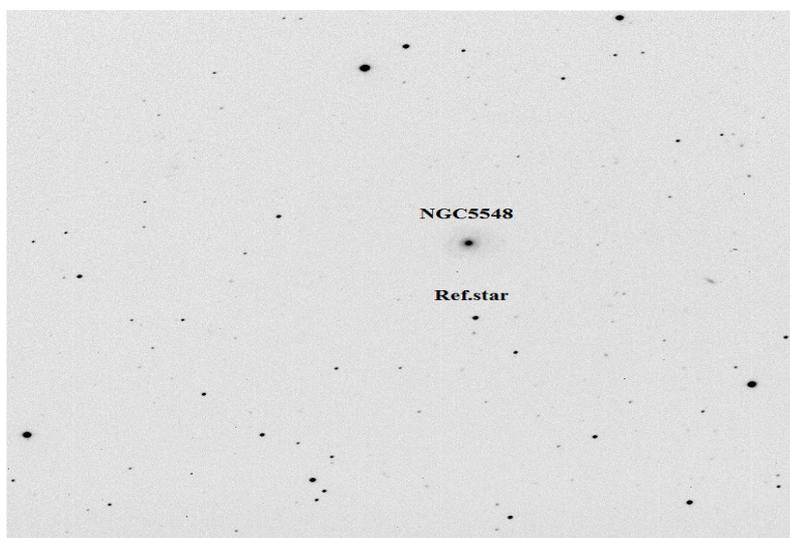


Рисунок 1 - Поле галактики NGC 5548, получено в АФИФ на 1-м телескопе системы Ричи-Критъена (ТШАО)

Спектрограммы, полученные в процессе наблюдений, требуют дальнейшей обработки для того, чтобы получить данные, пригодные для определения различных физических характеристик исследуемого объекта [2]. Работа проводится с помощью ряда стандартных пакетов программ и с использованием нескольких десятков программ, разработанных в АФИФ. Все процедуры выполняются с каждой полученной спектрограммой.

Спектры галактики NGC 5548 в АФИФ наблюдаются в диапазоне эмиссионных линий H_{β} ($\lambda\lambda$ 4200-5500) и H_{α} ($\lambda\lambda$ 6000-7100).

На Рис. 2 и 3 приводится вид типичных спектрограмм галактики

NGC 5548, полученных на телескопе АЗТ-8 (г.Алматы, Казахстан), по оси X - длина волны в \AA , по оси Y- относительная интенсивность.

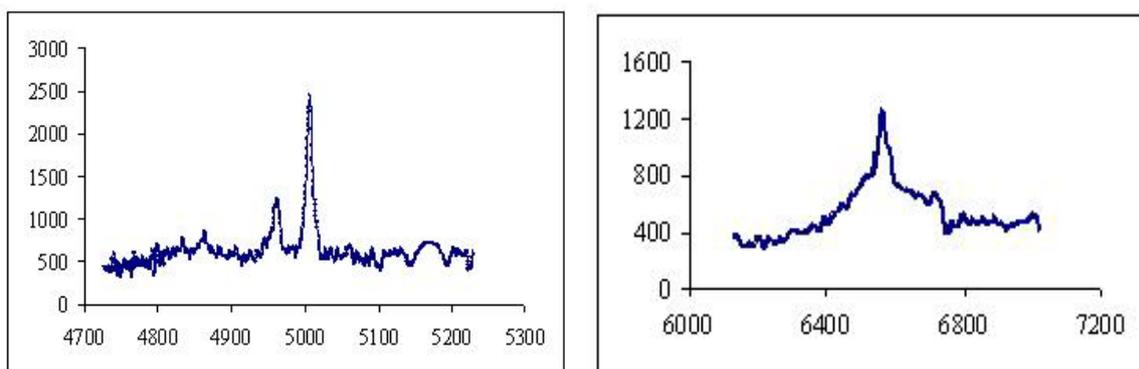


Рисунок 2 - Спектр СГ NGC 5548 в диапазоне бальмеровской линии H_{β} , Рисунок 3. Спектр СГ NGC 5548 в диапазоне бальмеровской линии H_{α} .

Наблюдения сейфертовской галактики NGC 5548 в АФИФ продолжаются уже более 40 лет, что дает возможность построить кривые изменения потоков излучения для широких эмиссионных линий водорода и континуума на длинном интервале времени. Одновременно с галактиками мы получаем спектры стандартных звезд с известным распределением энергии в спектре [3]. Они

используются для вычисления абсолютного потока в запрещенных линиях, которые считаются стационарными. Для вычисления абсолютного потока в эмиссионной линии H β используется абсолютный поток излучения в запрещенной линии [OIII] $\lambda 5006.85\text{\AA}$, для линии H α – поток в линии [SII] $\lambda 6716.42-6730.78\text{\AA}$. Для галактики NGC 5548 абсолютный поток излучения в запрещенной линии [OIII] $\lambda 5006.85\text{\AA}$ равен $5.48 \cdot 10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, а поток излучения в линии [SII] $\lambda 6716.42-6730.78\text{\AA}$ - $0.51 \cdot 10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ [4,5].

Таблица 1 - Изменения абсолютного потока излучения в бальмеровской линии H β ядра галактики NGC 5548.

Дата	27.03 1976	09.03 1986	14.02 1988	08.03 1989	25.07 1989	02.03 1990	04.05 1992	13.05 1994	17.02 1996	21.04 2007
JD	2864	6498	7205	7593	7732	7952	8746	9485	10130	14211
F $_{H\beta}$	6.52	7.45	9.48	8.93	6.85	6.96	9.86	9.48	11.73	0.77
Дата	27.04 2007	10.05 2007	28.05 2007	02.04 2008	19.02 2009	15.05 2010	06.04 2011	03.05 2011	27.05 2011	05.03. 2016
JD	14217	14230	14248	14558	14881	15331	15657	15684	15708	17452
F $_{H\beta}$	0.76	0.82	0.93	2.08	0.93	8.17	7.45	7.78	7.61	1.70

Дата – дата наблюдений,
 JD- юлианская дата - 2440000,
 F $_{H\beta}$ - абсолютный поток излучения в линии H β в ед. $10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

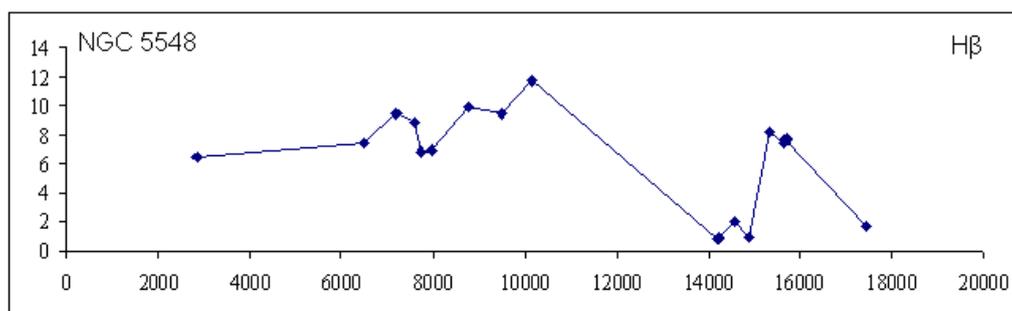


Рисунок 2 - Абсолютный поток излучения в эмиссионной линии H β ядра галактики NGC 5548 (1976-2016 год)
 По оси X - юлианская дата - 2440000, по си Y - абсолютный поток излучения в линии H β в ед. $10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Таблица 5 - Изменения абсолютного потока излучения в бальмеровской линии H α ядра галактики NGC 5548.

Дата	30.03 1976	25.05 1977	16.04 1988	05.02 1989	04.03 1989	06.04 1989	03.03 1990	13.03 1991	06.05 1991	11.02 1992	05.04 1992
JD	2867	3288	7267	7562	7589	7622	7953	8328	8382	8663	8717
F $_{H\alpha}$	15.3	8.23	20.39	15.14	13.68	12.90	13.31	9.56	10.43	15.49	6.74
Дата	12.05 1994	13.05 1994	30.07 1994	20.05 1995	13.02 1997	27.02 1998	18.03 1999	26.04 1999	21.05 1999	24.04. 2003	09.05 2003
JD	9484	9485	9563	9857	10492	10871	11255	11294	11319	12753	12768
F $_{H\alpha}$	8.94	8.83	10.75	26.74	16.08	14.94	10.72	13.31	13.26	4.23	8.91
Дата	05.02 2004	10.02 2004	13.05 2004	11.06 2004	17.06 2005	01.07 2005	22.05 2006	14.03 2007	19.06 2007	04.05 2008	08.06 2008
JD	13040	13045	13138	13167	13538	13552	13877	14173	14270	14621	14625
F $_{H\alpha}$	3.02	3.70	5.13	3.71	4.05	4.40	4.88	4.31	4.68	3.68	3.75
Дата	29.06 2008	30.04 2009	01.05 2009	19.06 2009	08.04 2011	20.04. 2012	06.03. 2016	15.04. 2016	16.04. 2016		
JD	14646	14951	14952	15001	15659	16037	17454	17493	17494		
F $_{H\alpha}$	5.68	6.76	6.14	4.82	10.86	13.43	14.23	14.64	14.63		

Дата – дата наблюдений,
 JD-2440000- юлианская дата,
 F $_{H\alpha}$ - абсолютный поток излучения в линии H α в ед. $10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

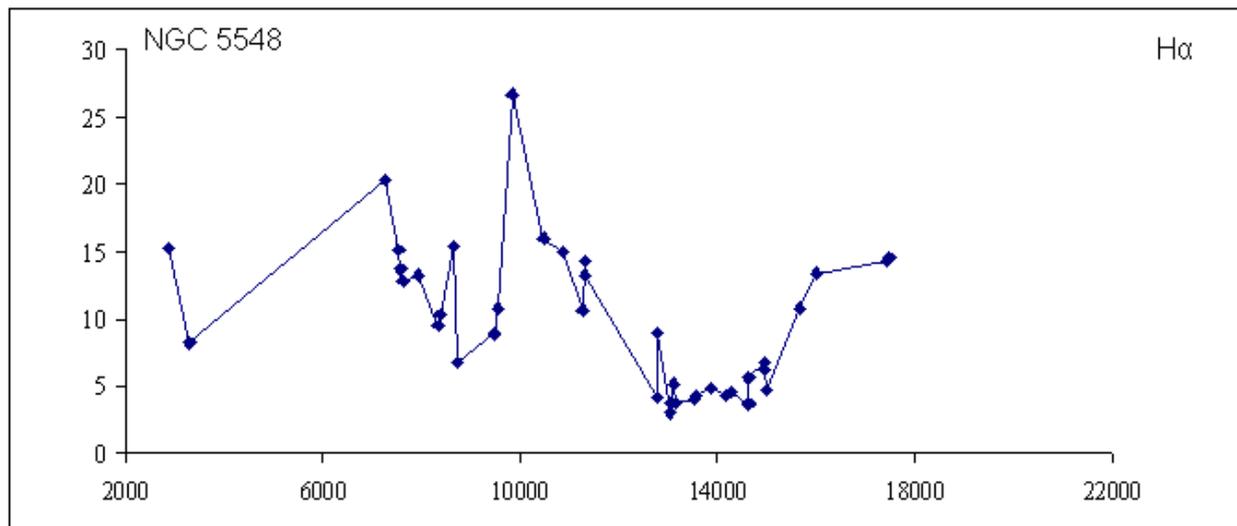


Рисунок 5 - Абсолютный поток излучения в эмиссионной линии $H\alpha$ ядра галактики NGC 5548 (1976-2016 год).
По оси X - юлианская дата - 2440000, по си Y - абсолютный поток излучения в линии $H\alpha$ в ед. $10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Таблица 3 - Кривая блеска в фильтре V СГ NGC 5548, построенная по данным наших наблюдений и по наблюдениям других авторов [6,7]

Дата	10.04 1975	26.02 1976	03.04 1978	07.03 1979	15.04 1980	23.07 1982	14.12 1988	18.12 1988	27.01 1989	11.03 1989	12.03 1989
JD	2512	2834	3601	3939	4344	5173	7508	7512	7552	7595	7596
m_v	13..65	13.59	13.61	13.75	13.63	13.69	13.69	13.71	13.76	13.78	13.74
Дата	29.03 1989	01.04 1989	17.04 1989	25.04 1989	29.04 1989	03.05. 1989	07.05 1989	13.05 1989	16.05 1989	23.05 1989	27.05 1989
JD	7613	7616	7632	7640	7644	7648	7652	7658	7661	7668	7672
m_v	13.75	13.72	13.48	13.50	13.52	13.63	13.71	13.67	13.61	13.49	13.51
Дата	10.06 1989	11.06 1989	01.07 1989	15.06 1991	18.04 1993	22.04 1993	23.04 1993	27.04 1993	14.05 1993	17.05 1993	26.05 1993
JD	7686	7687	7707	8422	9095	9099	9100	9104	9121	9124	9133
m_v	13.57	13.55	13.48	13.56	13.62	13.59	13.59	13.54	13.49	13.49	13.54
Дата	16.06 1993	14.08 1993	15.08 1993	16.08 1993	16.04 1994	17.04 1994	15.01 1995	03.02 1995	28.03 1995	15.05 1995	09.06 1995
JD	9154	9213	9214	9215	9458	9459	9732	9751	9804	9852	9879
m_v	13.62	13.52	13.51	13.5	13.71	13.7	13.7	13.66	13.55	13.42	13.58
Дата	14.07 1995	24.08 1995	17.02 1996	13.02 1997	27.02 1998	18.03 1999	21.05 1999	24.04 2003	09.05 2003	05.02 2004	10.02 2004
JD	9912	9953	10130	10492	10871	11255	11319	12753	12768	13040	13045
m_v	13.68	13.69	13.57	13.59	13.65	13.63	13.59	13.68	13.63	13.68	13.69
Дата	13.05 2004	11.06 2004	17.06 2005	01.07 2005	22.05 2006	14.03 2007	19.06 2007	04.06 2008	08.06 2008	29.06 2008	30.04 2009
JD	13138	13167	13538	13552	13877	14173	14270	14621	14625	14646	14951
m_v	13.72	13.74	13.81	13.79	13.81	13.79	13.73	13.77	13.73	13.71	13.59
Дата	01.05 2009	19.06 2009	08.04 2011	03.05 2011	27.05 2011	09.04. 2014	05.04. 2015	09Ю04. 2015	11.04. 2015	22.04. 2015	28.04. 2015
JD	14952	15001	15659	15684	15708	16756	17117	17121	17123	17134	17140
m_v	13.57	13.54	13.61	13.58	13.63	13.56	13.91	13.88	13.91	13.83	13.78
Дата	03.05. 2015	18.05. 2015	01.06. 2015	02.06. 2015	03.06. 2015	05.06. 2015	09.06. 2015	10.06. 2015	11.06. 2015	16.06. 2015	17.06. 2015
JD	17145	17160	17174	17175	17176	17178	17182	17183	17184	17189	17190
m_v	13.75	13.86	13.94	13.92	13.95	13.91	13.90	13.87	13.87	13.91	13.92
Дата	18.06. 2015	19.06. 2015	05.04. 2016	13.05. 2016	05.06. 2016	09.06. 2016	Дата - дата наблюдений, JD-юлианская дата - 2440000, m_v - звездная величина в фильтре V.				
JD	17191	17192	17483	17521	17544	17548					
m_v	13.93	13.92	13.73	13.84	13.75	13.78					

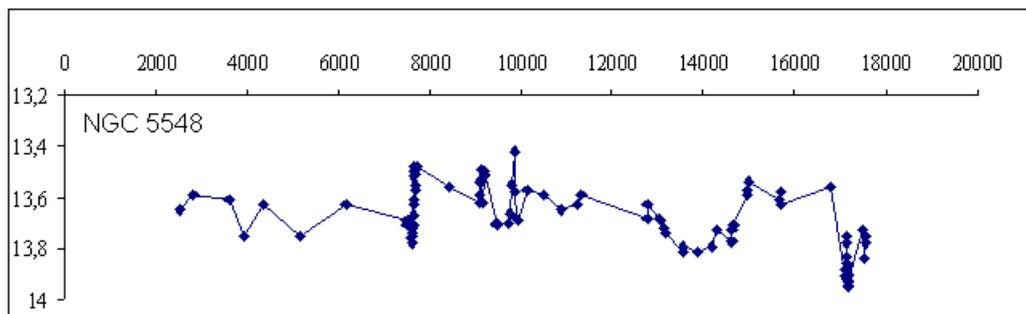


Рисунок 6 - Кривая блеска СГ NGC 5548 в фильтре V за 1975-2016 гг.

По оси X - - юлианская дата - 2440000, по оси Y – звездная величина в фильтре V

С 2013 года фотометрические наблюдения проводятся в фильтрах B,V,R, в таблице 4 приводятся данные этих наблюдений за 2014-2016гг.

Таблица 4 - Кривая блеска СГ NGC 5548 в фильтрах B, V, R и показатели цвета (B-V) и (V-R) за 2014-2016 гг [7].

Дата	JD	B	V	R	(B-V)	(V-R)
09.04.2014	16756	13,767	13,56	12,687	0,207	0,873
05.04.2015	17117	14,273	13,913	12,974	0,36	0,939
09.04.2015	17121	14,226	13,881	12,959	0,345	0,922
11.04.2015	17123	14,237	13,91	12,97	0,327	0,94
22.04.2015	17134	14,089	13,83	12,92	0,259	0,91
28.04.2015	17140	14,073	13,782	12,866	0,291	0,916
03.05.2015	17145	14,024	13,749	12,851	0,275	0,898
18.05.2015	17160	14,075	13,856	12,938	0,219	0,918
01.06.2015	17174	14,324	13,942	13,003	0,382	0,939
02.06.2015	17175	14,286	13,915	12,982	0,371	0,933
03.06.2016	17175	14,335	13,954	12,995	0,381	0,959
05.06.2016	17177	14,183	13,905	12,981	0,278	0,924
09.06.2015	17182	14,058	13,898	12,956	0,16	0,942
10.06.2015	17183	14,09	13,87	12,964	0,22	0,906
11.06.2015	17184	14,041	13,866	12,935	0,175	0,931
16.06.2015	17189	14,177	13,907	12,969	0,27	0,938
17.06.2015	17190	14,171	13,921	12,987	0,25	0,934
18.06.2015	17191	14,193	13,932	12,981	0,261	0,951
19.06.2015	17192	14,152	13,918	12,976	0,234	0,942
05.04.2016	17483	14,028	13,733	12,842	0,295	0,891
13.05.2016	17521	14,154	13,836	12,902	0,318	0,934
05.06.2016	17544	14,032	13,751	12,839	0,281	0,912
09.06.2016	17548	14,087	13,778	12,858	0,309	0,92

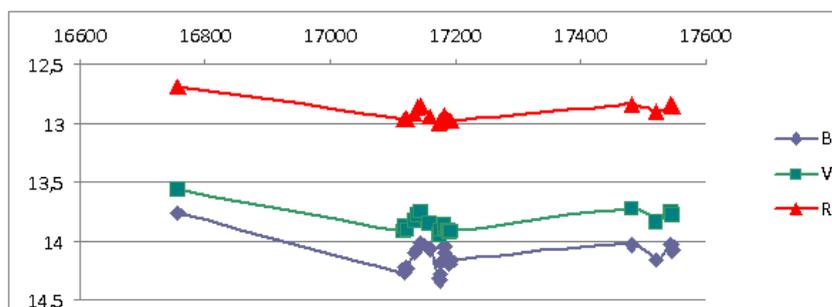


Рисунок 7 - Кривая блеска в фильтрах B, V, R СГ NGC 5548 за 2014-2016 гг.

По оси X - юлианская дата - 2440000, по си Y – звездная величина в фильтрах B,V,R.

В таблицах 5 и 6 приводятся абсолютные потоки оптического континуума для галактики NGC 5548 на $\lambda 5100\text{\AA}$ и $\lambda 6750\text{\AA}$, а на рисунках 8 и 9 кривые изменения континуума на этих длинах волн. Поток излучения континуума измерялся в полосе шириной в 10\AA и приводился к полосе в 1\AA . Границы интервала выбирались из условия отсутствия в нем эмиссионных и абсорбционных линий.

Таблица 5 - Значения абсолютного потока излучения оптического континуума на $\lambda 5100\text{\AA}$ ядра галактики NGC 5548.

Дата	14.02. 1988	08.03. 1989	25.07. 1989	02.03. 1990	04.05. 1992	13.05. 1994	17.02. 1996	21.04. 2007	27.04. 2007	28.05. 2007
JD	7205	7593	7732	7952	8746	9485	10130	14211	14217	14248
cont	11.27	6.72	6.67	4.27	16.8	9.10	14.4	8.98	6.47	8.92
Дата	26.06. 2007	02.04. 2008	19.02. 2009	10.05. 2010	16.05. 2010	07.04. 2011	03.05. 2011	27.05. 2011	05.03. 2016	
JD	14277	14558	14881	14230	15332	15658	15684	15708	17452	
cont	6.13	4.45	13.31	6.91	13.32	11.11	12.47	13.42	9.2	

Дата – дата наблюдений, JD юлианская дата – 2440000, cont – абсолютный поток излучения на $\lambda 5100\text{\AA}$ в единицах $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}/\text{\AA}$.

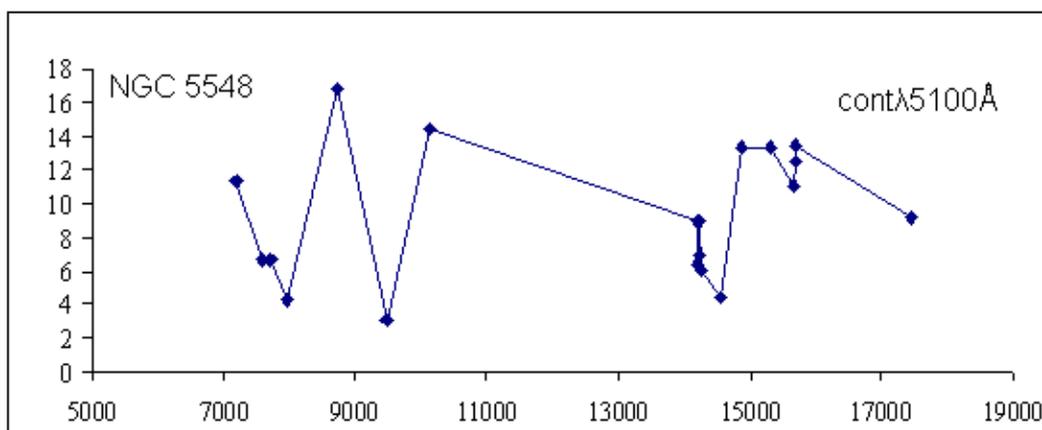


Рисунок 8 - Значения абсолютного потока излучения оптического континуума на $\lambda 5100\text{\AA}$ ядра галактики NGC 5548 в единицах $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}/\text{\AA}$. По оси X- юлианская дата – 2440000, по оси Y- абсолютный поток

Таблица 6 - Значения абсолютного потока излучения оптического континуума на $\lambda 6750\text{\AA}$ ядра галактики NGC 5548.

Дата	30.03. 1976	25.05. 1977	16.04. 1988	05.02. 1989	04.03. 1989	06.04. 1989	03.03. 1990	13.03. 1991	06.05. 1991	11.02. 1992
JD	2867	3288	7267	7562	7589	7622	7953	8328	8382	8663
cont	3.25	2.05	2.76	2.45	1.57	2.03	1.13	2.24	2.67	2.08
Дата	05.04. 1992	12.05. 1994	13.05. 1994	30.07. 1994	20.05. 1995	13.02. 1997	27.02. 1998	18.03. 1999	23.03. 1999	26.04. 1999
JD	8717	9484	9485	9563	9857	10492	10871	11255	11260	11294
cont	1.44	1.95	2.71	2.79	2.32	1.62	1.83	1.69	3.01	1.83
Дата	21.05. 1999	26.04. 2003	09.05. 2003	06.02. 2004	11.02. 2004	14.05. 2004	11.06. 2004	17.06. 2005	01.07. 2005	22.05. 2006
JD	11319	12755	12768	13041	13046	13139	13167	13538	13552	13877
cont	2.48	2.87	3.18	2.96	2.99	2.96	2.95	1.47	2.45	2.98
Дата	15.03. 2007	19.06. 2007	05.06. 2008	08.06. 2008	30.06. 2008	30.04. 2009	01.05. 2009	19.06. 2009	08.04. 2011	21.04. 2012
JD	14174	14270	14622	14625	14647	14951	14952	15001	15659	16038
cont	2.29	2.57	2.62	2.38	2.52	4.83	4.62	3.03	2.51	3.71

Дата – дата наблюдений, JD юлианская дата – 2440000, cont – абсолютный поток излучения на $\lambda 6750\text{\AA}$ в единицах $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}/\text{\AA}$.

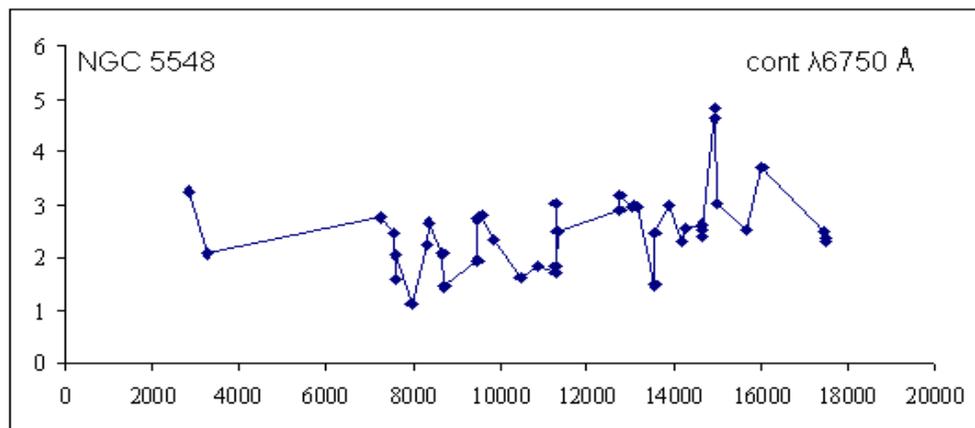


Рисунок 9 - Значения абсолютного потока оптического континуума на $\lambda 6750 \text{ Å}$ ядра галактики NGC 5548 в единицах $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2} / \text{Å}$. По оси X- юлианская дата – 2440000, по оси Y- абсолютный поток

Заключение Долговременный спектральный мониторинг сейфертовской галактики NGC 5548 дал возможность построить световые кривые, как для континуума, так и для широких эмиссионных линий водорода H_{β} и H_{α} . Проведен анализ профилей широких эмиссионных линий водорода H_{β} и H_{α} . Результаты анализа длительных наблюдений показывают структурные изменения в области формирования широких эмиссионных линий. В период мониторинга потоки излучения в эмиссионных линиях менялись в 9 раз, профили линий соответствовали сейфертовскому типу Sy1. По данным фотометрических наблюдений построена кривая блеска галактики NGC 5548 в фильтре V за 1975-2016гг. Несмотря на то, что наблюдения проводились недостаточно часто, хорошо просматривается корреляция между потоками в водородных линиях H_{β} , H_{α} и континуумом.

С 2013 года фотометрические наблюдения проводятся в фильтрах B,V,R. В данной работе представлена кривая блеска в 3х фильтрах и показатели цвета (B-V) и (V-R) за 2014-2016гг. Анализ кривой блеска сейфертовской галактики NGC 5548 на исследуемом интервале времени показал, что вариации блеска происходят синхронно в трех фильтрах. Колебания блеска составили более 0.5^m . Полученные кривые изменения континуума на $\lambda 5100 \text{ Å}$ и $\lambda 6750 \text{ Å}$ хорошо согласуются с данными широкополосной фотометрии в фильтре V. Ошибки определения потока после усреднения спектров, полученных в течение одной наблюдательной ночи, составляют 5-9%.

Большинство астрономов, занимающихся исследованием активных ядер галактик, утверждают, что оптическая переменность в континууме связана с процессами переработки аккреционным диском рентгеновского излучения от мощного рентгеновского источника вблизи центра галактики, а также с процессами нестабильности в аккреционном диске. Однако переменность линий и континуума, проявляющаяся в разных спектральных областях не очень понятна, т.к. и временные масштабы и амплитуды переменности различаются в разных областях спектра. Особенно это заметно на длинных временных рядах наблюдений. Поэтому долговременные наблюдательные данные о переменности в любой спектральной области могут помочь определиться с выводами о механизме переменности АЯГ.

Работа выполнена в рамках Проекта 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Denisjuk E. Spektrograf for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, V.22, **2003**, P.175
- [2] Peterson B. M. Variability of the optical spectrum of NGC 5548 and evidence for a multiple-component broad – line region., *ApJ*, V. 312. **1987**, P.79-90
- [3] Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд, Алма-Ата, **2011**, P.304.

- [4] Shapovalova A.I. et al. Profile variability of the H α and H β broad emission lines in NGC 5548, *A&A*, V. 422, **2004**, P. 925-940.
- [5] Sergeev S.G. et al. Thirty years of continuum and emission-line variability in NGC 5548, *ApJ*, V. 668, **2007**, P.708-720.
- [6] Dietrich M. et al. Steps toward determination of the size and structure of the broad-line region in active galactic nuclei.
- IV. Intensity variations of the optical emission lines of NGC 5548, *ApJ*, V. 408, **1993**, P. 416-427.
- [7] Doroshenko V.T., Sergeev S.G., Merkulova N.I. BVRI CCD-photometry of comparison stars in the neighborhoods of galaxies with active nuclei. I, *Astrophysics.*, V. 48, No. 2, **2005**, P.365-379.

REFERENCES

- [1] Denisyuk E. Spectrograph for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, V. 22, 2003, P. 175.
- [2] Peterson B. M. Variability of the optical spectrum of NGC 5548 and evidence for a multiple-component broad – line region., *ApJ.*, V. 312. 1987, P.79-90.
- [3] Kharitonov A.V., Tereschenko V.M., Kniazeva L.N. Spectrophotometric catalog of stars, *Almaty, Kazak University*, 2011, P. 304. (in Russ.).
- [4] Shapovalova A.I. et al. Profile variability of the H α and H β broad emission lines in NGC 5548, *A&A*, V. 422, 2004, P. 925-940.
- [5] Sergeev S.G. et al. Thirty years of continuum and emission-line variability in NGC 5548, *ApJ*, V. 668, 2007, P.708-720.
- [6] Dietrich M. et al. Steps toward determination of the size and structure of the broad-line region in active galactic nuclei.
- IV. Intensity variations of the optical emission lines of NGC 5548, *ApJ*, V. 408, 1993, P. 416-427.
- [7] Doroshenko V.T., Sergeev S.G., Merkulova N.I. BVRI CCD-photometry of comparison stars in the neighborhoods of galaxies with active nuclei. I, *Astrophysics.*, V. 48, No. 2, 2005, P.365-379.

ӘОЖ: 524.7

В.Н. Гайсина, Э.К. Денисюк, Р.Р. Валиуллин, А.В. Кусакин, С.А. Шомшекова, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

NGC 5548 АЙНЫМАЛЫ СЕЙФЕРТ ҒАЛАМЫ

Аннотация. Бұл жұмыста, NGC 5548 сейферт ғаламының ұзақ уақыт аралығындағы (40 жыл) оптикалық мониторингінің нәтижелері көрсетілген. 1975-2016 жылдардағы $\lambda\lambda 4200-7500\text{Å}$ толқын ұзындығы аймағында АЗТ-8 телескобында спектрлік бақылаулар (Алматы қ, ФАФИ, 700 мм.) жүргізілді. ТШАО ФАФИ 1 метрлік және АЗТ-8 телескобында фотометрлік мәліметтер алынды. Сәулеленудің абсолютті ағыны $\lambda 5100\text{Å}$ және $\lambda 6750\text{Å}$ континуумы және H β және H α сүттегінің кең эмиссиялық сызықтары үшін алынды. H β және H α сүттегінің кең эмиссиялық сызықтары үшін талдаулар орындалды. Кең эмиссиялық сызықтардың жасалу аймағындағы құрылымдық өзгерістер ұзақ уақыт аралығында бақылаудың талдауларының нәтижелері. Континуум және эмиссиялық сызықтардың сәулелену ағынының мониторинг аралығы кезінде 9 рет өзгерді, сызықтардың кескіні Sy1 сейферт түріне сәйкес келді. 1975-2016 жылдарына V фильтрінде NGC 5548 ғаламының жарқырау қисығы фотометрлік бақылаулар мәліметтерінен құрылды. 2013 жылдан бастап фотометрлік бақылаулар B,V,R фильтрлерінде бақылаулар жүргізіледі, бақылау нәтижелері берілген жұмыста келтірілген.

Түйін сөздер: сейферт ғаламы, фотометрлік және спектрлік айнымалылық.

Сведения об авторах:

Гайсина Валентина Николаевна - ДТОО «Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова», СНС лаб. физики звезд и туманностей, дом.адрес: Алматы, Обсерватория, д.17, кв.2, Телефон: 260-87-99, e-mail: gaisina52@mail.ru;

Денисюк Эдуард Константинович * канд.физ.-мат.наук, доцент, Дом.адрес: Алматы, Обсерватория, д.20, кв.18, Место работы – ДТОО «Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова», ГНС лаб. физики звезд и туманностей, Телефон: 260-74-99, e-mail: eddenis@mail.ru;

Валиуллин Рашид Равилевич - канд.физ.-мат.наук, Дом.адрес: Алматы, 8- мкр., д.86, кв10,

Место работы – ДТОО «Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова», И.О. директора АФИФ, Телефон: 249-69-33, e-mail: rashit_valiullin@mail.ru;

Кусакин Анатолий Васильевич - канд.физ.-мат.наук, Дом.адрес: Алматы, ул.Кисловодская, д.34, кв1, Место работы – ДТОО «Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова», ВНС лаб. физики звезд и туманностей, Телефон: 3-999-879, e-mail: un7gbd@gmail.com;

Шомшекова Сауле Ахметбековна - НС лаб. физики звезд и туманностей, ДТОО «Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова», Дом.адрес: Алматы, ул.Шелихова д.163, Телефон: 290-03-71, e-mail: shmshekva-saule@mail.ru;

Рева Инна Владимировна - МНС лаб. физики звезд и туманностей, ДТОО «Астрофизический Институт им.В.Г.Фесенкова», Дом. адрес:Алматы, Обсерватория, д.23. Телефон: +7 707 531 38 55, e-mail: alfekka@list.ru

**B. I. Demchenko¹⁾, A. A. Komarov¹⁾, A. V. Serebryansky¹⁾,
V. A. Voropaev²⁾, L. A. Usoltseva¹⁾, C. B. Akniyazov¹⁾**

¹⁾ Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

²⁾ Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia

E-mail: demchenko@aphi.kz, komarov@aphi.kz, alex@aphi.kz, usoltseva@aphi.kz, akniyazov@aphi.kz

GEOSTATIONARY SATELLITES, POTENTIALLY DANGEROUS FOR KAZAKHSTAN COMMUNICATION SATELLITES KAZSAT-2 AND KAZSAT-3

Annotation. We provide updated classification of GSS based on data from the GSS Zone Catalog available in AFIF at beginning of 2017. For each class, danger criteria in terms of too close passages are defined. The list of objects potentially dangerous for the corrected GSS, including for Kazsat-2 and Kazsat-3, is given, for the time of their operability at 10-15 years. It is shown that unguided satellites are no less dangerous than neighboring corrected geostationary ones. The table of really dangerous GSS for Kazsat-2 and Kazsat-3 for January and March 2017 is given. In these months Kazsat-2 and Kazsat-3 approaches with other GSS's to a distance of 50 km occurred approximately one time in 3-4 days.

Key words: geostationary object, geostationary orbit, dangerous approach, Kazsat-2, Kazsat-3.

УДК 629.21

**Б. И. Демченко¹⁾, В. А. Воропаев²⁾, А. А. Комаров¹⁾,
А. В. Серебрянский¹⁾, Л. А. Усольцева¹⁾, Ч. Б. Акниязов¹⁾**

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

ГЕОСТАЦИОНАРНЫЕ СПУТНИКИ, ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ДЛЯ КАЗАХСТАНСКИХ СПУТНИКОВ СВЯЗИ KAZSAT-2 и KAZSAT-3

Аннотация. На основе данных из зонального Каталога ГСС, имеющегося в АФИФ на начало 2017г, дана обновленная классификация ГСС. По каждому классу определены критерии опасности в плане слишком близких прохождений. Приведен список объектов, потенциально опасных для корректируемых ГСС, в том числе для Kazsat-2 и Kazsat-3, за время их работоспособности в 10-15 лет. Показано, что неуправляемые спутники не менее опасны, чем соседние корректируемые геостационары. Дана таблица реально опасных ГСС для Kazsat-2 и Kazsat-3 на январь и март 2017 года. В эти месяцы сближения Kazsat-2 и Kazsat-3 с другими ГСС до расстояния 50 км происходили примерно 1 раз за 3-4 суток.

Ключевые слова: геостационарный объект, геостационарная орбита, опасное сближение, Kazsat-2, Kazsat-3.

В настоящей работе используются данные из Зонального Каталога геостационарных спутников (ГСС), имеющегося в АФИФ на январь-февраль 2017г. Общее количество объектов в Каталоге около 1900. Сюда включены спутники, традиционно относящиеся к геостационарным, а также некоторые нестационарные ИСЗ, способные проходить вблизи геостационарной зоны или пересекать ее. Каталог постоянно обновляется и дополняется как по собственным наблюдениям, [1], так и по информации из внешних источников: (<http://www.planet4589.org/space/log/geo.log>); (<http://celestrak.com/NORAD/elements/geo.txt>); (<http://spacedata.vimpel.ru/ru>).

Ниже приведена классификация ГСС и обновленные статистические характеристики множества ГСС из этого Каталога. В скобках указано процентное содержание каждого класса от общего количества.

Класс С. Корректируемые ГСС – 490 объектов (26%). Это реально работающие телекоммуникационные спутники. Время работоспособности оценивается в 10-15 лет от момента запуска. Из них 334 объекта корректируются в плоскости экватора (класс С0), то есть удерживаются на заданной долготе и нулевом наклоне плоскости орбиты к плоскости земного экватора. Для этих ГСС географическая широта подспутниковой точки близка к нулю. Спутники Kazsat-2 и Kazsat-3 относятся именно к этому классу.

Остальные 156 объектов класса С корректируются в плоскости своей орбиты (класс С1). Они удерживаются только по долготе, а плоскость орбиты эволюционирует примерно так же, как у неуправляемых стационаров. Среди этих ГСС довольно много объектов специального назначения. Геоцентрическая широта меняется в пределах $\pm i$ где i – угол наклона плоскости орбиты к плоскости земного экватора. Долгота восходящего узла Ω и наклон i для класса С1 (а также для неуправляемых ГСС, см. ниже) подвержены долгопериодическим колебаниям с периодом около 54 лет [2-4].

Класс L. Неуправляемые либрационные ГСС – 210 объектов (11%). Из них 156 ГСС принадлежат первой устойчивой точке либрации с долготой $\lambda_1=75^{\circ}\text{E}$ (класс L1), и лишь 54 объекта принадлежат второй точке $\lambda_2=255^{\circ}\text{E}$ (класс L2). Столь большая асимметрия между классами L1 и L2 требует своего объяснения, но этот вопрос здесь не рассматривается. Долготы двух точек неустойчивого равновесия для ГСС равны примерно 165°E и 345°E (более точные значения 161°E и 348°E).

Либрационные ГСС совершают долгопериодические колебания по долготе около одной из двух упомянутых выше устойчивых точек либрации. Период колебаний от 2 до 6 лет, амплитуда до 80° . Заметим, что географические долготы двух горных астрономических обсерваторий, расположенных вблизи Алматы (ТШАО и Ассы-Турген), равны примерно 77°E , то есть эти обсерватории находятся почти точно на долготе первой точки 75°E . Либрационные ГСС класса L1 можно наблюдать со всей территории Казахстана. Вторая точка либрации 255°E близка к средней долготе США. Все объекты класса L2 с территории Казахстана никогда не видны, и для отечественных спутников опасности не представляют.

Класс D. Неуправляемые дрейфующие ГСС – около 1190 объектов (63%). Это самый большой класс. Из них примерно 2/3 постоянно дрейфуют с востока на запад (класс D1, восточная долгота убывает), и 1/3 - в обратном направлении (класс D2, восточная долгота возрастает). Дрейфующие ГСС находятся на двух так называемых “орбитах захоронения”. Объекты класса D1 в среднем расположены дальше геостационарной зоны, а объекты класса D2 – ближе к ней. Но многие из них имеют большой эксцентриситет орбиты, вследствие чего они способны приближаться к геостационарной зоне, или даже пересекать эту зону. С некоторыми оговорками можно считать, что дрейфующие ГСС примерно только 1/3 времени доступны для наблюдений с двух астрономических обсерваторий АФИФ, а 2/3 времени они недоступны для наблюдений (находятся под горизонтом).

Подавляющее большинство неуправляемых либрационных и дрейфующих ГСС представляют собой крупные фрагменты космического мусора (space debris). Это либо старые спутники, уже отработавшие свой ресурс и переведенные на орбиты захоронения, либо различные фрагменты (последние ступени ракет-носителей, или разгонные блоки типа Transtage, apogee motor, fourth stage, а также сброшенные защитные кожухи и др.). Некоторые из этих ГСС в действительности являются управляемыми спутниками, но в момент их фиксации находились на переходных орбитах, и вели себя как неуправляемые.

Чтобы определить потенциально опасные объекты, требуется сформулировать соответствующие критерии. Сначала грубо выделим объекты, которые заведомо не опасны для Kazsat-2 и Kazsat-3, то есть не могут приблизиться к ним на опасное расстояние, по крайней мере, за 10-15 лет. В соответствии с приведенной выше общей классификацией ГСС, неопасными являются (более подробно см. ниже):

- все корректируемые ГСС, отстоящие по долготе от Kazsat-2, Kazsat-3 более чем на 1^0 ;
- все либрационные ГСС класса L2;
- все либрационные ГСС класса L1 с амплитудой либрации менее 10^0 ;
- все дрейфующие ГСС класса D1 с перигейным расстоянием более 42214 км;
- все дрейфующие ГСС класса D2 с апогейным расстоянием менее 42114 км.

Остальные объекты будем считать потенциально опасными. Они способны хотя бы один раз за 10-15 лет приблизиться к Kazsat-2 и Kazsat-3 на опасное расстояние, менее 50 км.

Выделим более подробно опасные объекты отдельно по каждому классу и определим соответствующие критерии (при необходимости эти критерии могут быть изменены).

1. Потенциально опасные корректируемые ГСС (класс С)

Под действием различного рода возмущений эти ГСС регулярно смещаются со своей долготы, и их приходится время от времени корректировать. Интервал времени между коррекциями составляет примерно 2 месяца (многие ГСС класса С0 корректируются постоянно). На интервале времени между коррекциями эти спутники двигаются по законам либрационных объектов. Следовательно, близкие корректируемые ГСС могут представлять опасность друг для друга, особенно если при коррекции произошел сбой управления. Кроме того, можно показать, что если орбита ГСС имеет большой эксцентриситет e , то вариации долготы в течение суток достигают значения $2e$ радиан. Например, для корректируемого ГСС с $e=0.01$ вариации долготы составляют $0.02 \text{ рад} = 1.1^0$ в течение суток, а геоцентрическое расстояние может меняться в пределах от 41740 до 42580 км. Подавляющее большинство ГСС класса С имеют эксцентриситет менее 0.003, но есть и такие для которых $e > 0.01$.

Полусуточные вариации долготы за счет наклона плоскости орбиты к плоскости экватора пропорциональны квадрату угла наклона, и при малых углах большого значения не имеют. Типичные наклоны орбит ГСС к экватору не превышают 15^0 .

Исходя из этих соображений, будем считать, что потенциально опасными являются корректируемые ГСС, отстоящие от Kazsat-2 и Kazsat-3 менее чем на 1^0 по долготе, вне зависимости от эксцентриситета и угла наклона (в картинной плоскости угловое расстояние 1^0 соответствует линейному расстоянию 735 км). Таких объектов всего 5. В Таблице 1 приведены некоторые параметры Kazsat-2 и Kazsat-3, а также потенциально опасных ГСС класса С. Обозначения, использованные в Таблице:

№ – номер Norad. Для неотожествленных объектов - внутренний номер (более 60000);

Период – текущий сидерический период обращения в минутах солнечного времени. Для идеального ГСС сидерический период равен 1436.068 минут; Экс – эксцентриситет орбиты; Наклон, Узел – кеплеровские угловые параметры плоскости орбиты в градусах; Долгота – географическая восточная долгота точки стояния в градусах; Mz – звездная величина на нулевой фазе (при максимальной освещенности спутника).

Таблица 1 - Параметры орбит Kazsat-2, Kazsat-3 и потенциально опасных корректируемых ГСС

№	Название	Период	Экс	Наклон	Узел	Долгота	Mz
24932	Meteosat 7	1435.99	0.0002	10.5	38.6	57.75±0.35	13.1±0.4
39728	Kazsat-3	1436.06	0.0001	0.0	67.2	58.50±0.05	11.9±0.4
38091	Beidow DW11	1436.10	0.0004	2.0	54.1	58.68±0.06	12.1±0.4
41748	Intelsat IS 33-E	1436.10	0.0002	0.0	305.1	59.74±0.25	10.3±0.3
39017	Zhonghing 12	1436.10	0.0003	0.0	55.0	87.50±0.05	11.1±0.4
33463	Feng Yun 2E	1436.12	0.0004	1.9	66.0	86.63±0.22	12.8±0.6
37749	Kazsat-2	1436.13	0.0001	0.0	253.2	86.50±0.05	11.8±0.3

Объекты с номерами 24932, 38091, 41748 опасны для Kazsat-3, а 39017 и 33463 – для Kazsat-2. Наиболее опасны те спутники, орбиты которых имеют небольшой наклон i . Чем меньше наклон, тем больше времени этот ГСС находится вблизи плоскости экватора, и тем большую опасность он представляет для соседних корректируемых ГСС. Это замечание справедливо и для неуправляемых спутников.

2. Потенциально опасные либрационные ГСС

Расстояние от центра Земли до геостационарной орбиты около 42164км. Примерно такое же расстояние характерно и для всех либрационных ГСС. По этому параметру либрационные

спутники близки к корректируемым стационарам, и, следовательно, они более опасны, чем дрейфующие объекты. Будем ориентироваться только на либрационные ГСС класса L1. Как отмечено выше, ГСС класса L2 для отечественных спутников опасности не представляют.

Kazsat-2 отстоит от первой точки либрации $\lambda_1=75^0E$ на 11.5^0 , Kazsat-3 отстоит от точки 75^0E на 16.5^0 . Следовательно, все либрационные ГСС класса L1 с амплитудой либрации менее 10^0 заведомо не опасны, так как они просто не могут дойти до долготы отечественных ГСС (для Kazsat-3 граница амплитуды 15^0). Границы в 10^0-15^0 взяты с небольшим запасом. Это связано с тем, что в расчетах учитывались только долгопериодические колебания средней долготы. Короткопериодические вариации истинной долготы (суточные и полусуточные) за счет большого эксцентриситета и угла наклона не учитывались.

Ниже в Таблице 2 перечислены все потенциально опасные объекты класса L1 с амплитудой либрации более 10^0 и наклоном менее 5^0 . Обозначения такие же, как в Таблице 1. Дополнительные параметры:

Дрейф – текущее суточное изменение долготы, град/сутки; Dm – максимальный дрейф (по модулю) при прохождении либрационной долготы 75^0E ; AL – амплитуда либрации в градусах. Долгота ГСС меняется в пределах $75^0 \pm AL$; PL – период либрации в сутках.

Таблица 2 - Потенциально опасные либрационные ГСС с наклоном менее 5^0

№	Период	Экс	Наклон	Узел	Дрейф	Dm	AL	PL	Mz
37950	1435.38	0.0002	0.9	89.1	0.17	0.374	54.2	1002	12.3
2717	1435.42	0.0024	4.0	305.1	0.16	0.436	77.8	1525	13.2
60693	1435.90	0.0079	0.7	266.1	0.04	0.213	26.6	798	16.4
25785	1436.04	0.0001	3.6	70.2	0.01	0.247	31.5	821	11.7
60214	1436.28	0.0134	1.4	77.6	-0.05	0.306	40.8	878	16.6
65241	1436.32	0.0017	0.1	339.9	-0.06	0.094	11.2	753	10.6
33111	1436.42	0.0034	4.4	57.7	-0.09	0.132	15.9	763	12.0
60195	1436.51	0.0119	3.7	60.0	-0.11	0.352	49.3	949	16.8
28094	1436.64	0.0007	2.0	80.4	-0.14	0.147	17.9	768	13.0
27554	1436.77	0.0015	1.1	87.9	-0.18	0.374	54.0	1000	12.6
65210	1437.08	0.0004	3.8	74.0	-0.26	0.406	62.8	1123	12.4

Количество потенциально опасных ГСС класса L1 с наклоном более 5^0 и амплитудой либрации более 10^0 равно 123. Здесь они не приводятся ввиду большого объема информации.

3. Потенциально опасные дрейфующие ГСС

Дрейфующие объекты класса D1 в среднем находятся значительно дальше расстояния 42164 км, а объекты класса D2 – значительно ближе (это две упомянутые выше “орбиты захоронения”). Но, как уже отмечено, при большом эксцентриситете дрейфующие ГСС способны проходить вблизи геостационарной зоны. В качестве критериев “опасности” для дрейфующих ГСС примем следующее: потенциально опасные дрейфующие ГСС способны приближаться к геостационарной орбите менее чем на 50 км, а именно:

Для класса D1 – перигейное (наименьшее) расстояние $R_p=a(1-e)$ меньше 42214км.

Для класса D2 – апогейное (наибольшее) расстояние $R_a=a(1+e)$ больше 42114 км.

Здесь a, e – большая полуось и эксцентриситет орбиты.

Общее количество дрейфующих ГСС в Каталоге, удовлетворяющих эти критериям, равно 549. Из них 31 объект имеют наклон менее 3^0 , 26 объектов – от 3^0 до 5^0 и т.д.

В Таблице 3 перечислены все дрейфующие ГСС с наклоном менее 3^0 (ГСС с наклоном более 3^0 здесь не приводятся, так как их слишком много, и в рамках принятых критериев они наименее опасны). Обозначения такие же, как в предыдущих таблицах. Дополнительные параметры:

Полуось – большая полуось орбиты в км;

Периг – перигейное расстояние минус 42164км (то есть расстояние от ближайшей к Земле точки орбиты до геостационарной орбиты, Периг = $a(1-e) - 42164$);

Апог – апогейное расстояние минус 42164км (то есть расстояние от наиболее далекой точки орбиты до геостационарной орбиты, Апог = $a(1+e)-2164$).

Таблица 3 - Потенциально опасные дрейфующие ГСС с наклоном менее 3°

N	Полуось	Период	Экс	Наклон	Узел	Дрейф	Периг	Апог	Mz
65716	39853.8	1319.66	0.0743	1.5	267.6	31.84	-5272	651	16.0
61258	40179.5	1335.87	0.0612	2.2	308.5	27.08	-4444	475	17.8
60536	40752.7	1364.56	0.0691	1.9	299.1	18.92	-4227	1404	17.4
60853	40892.6	1371.60	0.0676	2.3	312.6	16.97	-4036	1493	17.7
43133	40964.6	1375.21	0.0470	2.8	323.3	15.97	-3126	727	16.2
41122	40982.8	1376.14	0.0322	0.9	93.8	15.72	-2502	140	11.6
39376	41095.3	1381.80	0.0251	2.3	79.2	14.18	-2101	-36	12.0
61409	41235.0	1388.86	0.0526	2.8	311.3	12.27	-3098	1240	17.7
61067	41292.9	1391.78	0.0238	0.8	109.2	11.49	-1853	110	17.8
60086	41296.3	1391.95	0.0518	2.4	312.5	11.44	-3007	1272	16.3
61103	41363.8	1395.37	0.0269	0.8	116.3	10.53	-1912	312	17.2
41106	41444.9	1399.48	0.0182	0.3	91.5	9.44	-1475	37	12.1
4478	41613.7	1408.03	0.0344	2.5	297.3	7.19	-1983	882	13.2
61025	41635.3	1409.13	0.0389	1.3	68.1	6.90	-2148	1091	16.1
60820	41639.2	1409.33	0.0274	1.9	69.4	6.85	-1664	615	16.3
60340	41688.0	1411.81	0.0799	2.5	316.0	6.20	-3809	2857	17.0
65237	42115.6	1433.58	0.0001	0.2	89.5	0.63	-54	-43	13.7
27298	42125.6	1434.10	0.0001	0.3	90.6	0.50	-44	-33	11.6
65251	42127.1	1434.17	0.0002	0.1	78.0	0.48	-46	-28	14.1
38101	42132.0	1434.42	0.0006	1.4	65.6	0.41	-58	-6	11.9
858	42193.7	1437.57	0.0005	1.1	308.1	-0.38	10	50	16.6
69990	42285.9	1442.29	0.0830	0.6	269.3	-1.56	-3389	3632	14.5
40369	42358.9	1446.02	0.0042	0.8	267.3	-2.49	16	374	14.4
38072	42413.8	1448.83	0.0058	1.4	76.6	-3.18	5	495	14.6
61098	42449.7	1450.68	0.0130	0.7	263.6	-3.64	-264	836	16.5
30323	42482.2	1452.34	0.0065	2.1	86.8	-4.05	40	596	13.0
40278	43642.7	1512.26	0.0567	0.8	83.0	-18.19	-995	3952	12.1
41840	44183.0	1540.42	0.0489	0.6	117.5	-24.45	-141	4179	10.5
39729	44479.3	1555.95	0.0584	2.5	53.7	-27.81	-280	4911	12.2
40259	44756.1	1570.49	0.0578	1.9	79.4	-30.90	3	5181	12.2
39614	45122.5	1589.82	0.0690	2.3	78.7	-34.91	-156	6073	12.3

Объекты с отрицательным дрейфом по долготе относятся к классу D1, с положительным дрейфом – к классу D2. Если параметры ‘Периг’, ‘Апог’ имеют одинаковые знаки, то данный объект только приближается к геостационарной зоне, но не пересекает ее. Если знаки разные, то этот ГСС способен пересекать геостационарную зону, и, следовательно, он более опасен по сравнению с другими дрейфующими спутниками. Объекты с номерами 65237, 27298, 65251 отнесены к дрейфующим, но, на самом деле, это управляемые ГСС, которые либо находятся на переходных орбитах, либо имеют специальное функциональное назначение.

4. Реально опасные ГСС

Как определено выше, потенциально опасные ГСС – это такие спутники, которые способны хотя бы один раз за 10-15 лет подойти на опасное расстояние к Kazsat-2 или Kazsat-3. Общее количество таких объектов в Каталоге равно 688. Но на заданном небольшом интервале не все из них реально опасны. Например, либрационный ГСС с амплитудой либрации $AL=25^0$ и текущей географической долготой 100^0E , в данное время реально опасен только для корректируемых ГСС, расположенных вблизи этой же долготы 100^0E . Для Kazsat-2 он может стать реально опасным через несколько месяцев, а для Kazsat-3 – примерно через год.

Для примера в Таблицах 4 и 5 приведены реально опасные объекты для отечественных спутников в январе и марте 2017 года. В расчетах учитывались все объекты Каталога, вне зависимости от класса ГСС и параметров орбит. Критерий опасности – сближение до расстояния менее 50 км в пространстве. Обозначения, использованные в Таблицах:

№ – номер Norad. Для неотожествленных объектов – внутренний номер (более 60000); Класс – класс ГСС (С–корректируемый, L–либрационный, D–дрейфующий); UT – ориентировочное Всемирное время минимального сближения (формат чч:мм); D – полное расстояние минимального сближения в км, $D^2=U^2+R^2$; U – расстояние минимального сближения в картинной плоскости

(всегда неотрицательно); R – расстояние минимального сближения по лучу зрения (может быть отрицательным)

Таблица 4 - ГСС, реально опасные для Kazsat-2 в январе и марте 2017 г.

№	Класс	Год	М-ц	День	УТ	D	U	R
22963	L	2017	01	05	12:47	33.9	33.2	6.7
60386	D	2017	01	06	09:34	27.5	7.5	26.5
9503	L	2017	01	15	19:37	42.4	32.5	27.3
13129	L	2017	01	16	08:44	40.9	5.4	-40.6
20367	L	2017	01	17	10:42	11.8	9.5	-6.9
33111	L	2017	01	18	02:14	39.6	19.3	-34.6
25050	L	2017	01	24	00:56	36.5	11.4	-34.7
23010	L	2017	01	25	11:06	20.4	12.9	15.7
19330	L	2017	01	31	21:20	25.8	25.6	-2.9
33463	C	2017	03	03	11:58	30.4	26.1	15.5
33463	C	2017	03	04	11:54	15.8	2.8	15.5
33463	C	2017	03	04	23:52	30.7	24.4	-18.7
33463	C	2017	03	05	11:50	25.2	19.8	15.5
33463	C	2017	03	05	23:48	18.8	2.0	-18.7
33463	C	2017	03	06	11:46	44.7	41.9	15.5
33463	C	2017	03	06	23:44	27.2	19.8	-18.6
33463	C	2017	03	07	23:40	45.0	41.0	-18.6
26939	L	2017	03	19	08:58	32.8	6.1	-32.2
10987	L	2017	03	19	15:45	47.6	16.7	44.6
10365	L	2017	03	22	03:26	44.7	8.1	-44.0
10365	L	2017	03	26	15:08	44.4	42.4	13.0
21016	L	2017	03	28	18:16	24.2	9.5	22.3
21016	L	2017	03	29	06:15	34.3	34.3	-0.4

Таблица 5. ГСС, реально опасные для Kazsat-3 в январе и марте 2017 г.

№	Класс	Год	М-ц	День	УТ	D	U	R
20659	L	2017	01	01	13:44	32.4	3.1	32.3
20659	L	2017	01	02	01:42	30.5	24.7	-17.8
12618	L	2017	01	02	11:17	13.7	2.8	13.4
24435	L	2017	01	11	14:16	11.7	8.2	-8.4
24435	L	2017	01	13	02:10	40.5	34.4	-21.3
11561	L	2017	01	20	21:42	38.4	36.6	11.5
11561	L	2017	01	21	09:40	41.4	27.1	-31.4
20473	L	2017	01	23	13:00	10.4	5.7	-8.7
20473	L	2017	01	24	00:58	44.1	42.6	-11.2
60006	L	2017	01	30	20:37	21.4	21.3	2.1
24932	C	2017	03	01	23:57	31.3	30.9	5.1
24932	C	2017	03	02	11:55	49.6	49.5	-2.4
24932	C	2017	03	02	23:54	8.2	6.5	5.1
24932	C	2017	03	03	11:52	25.6	25.5	-2.4
24932	C	2017	03	03	23:50	17.8	17.1	5.1
24932	C	2017	03	04	11:48	3.3	2.3	-2.4
24932	C	2017	03	04	23:46	40.2	39.9	5.1
24932	C	2017	03	05	11:44	20.3	20.1	-2.4
24932	C	2017	03	06	11:40	41.8	41.7	-2.4
14940	L	2017	03	08	07:52	34.5	33.8	6.7
20266	D	2017	03	13	20:47	46.4	46.4	-1.5
14134	D	2017	03	16	08:24	24.7	17.3	17.7
65098	D	2017	03	17	06:27	34.0	17.3	-29.3
25642	L	2017	03	26	21:56	19.7	19.2	4.4
25642	L	2017	03	27	09:54	42.0	14.1	39.5

При расчете данных таблиц 4 и 5 приняты следующие предположения.

Сидерический период для Kazsat-2, Kazsat-3 равен 1436.082 минут, то есть по этому параметру отечественные спутники являются идеальными ГСС. Все другие объекты в январе и марте 2017 года не корректировались, даже если они относятся к классу С.

Моменты сближений рассчитывались с внутренней точностью 2мсек, линейные расстояния – с точностью 5м (соответствующий метод изложен в работе [5]).

Однако действительная погрешность расчетов линейных расстояний D,U,R довольно велика, около 30 км. Здесь сказываются ограниченная точность математической модели, погрешности в задании элементов орбит и др. Тем не менее, приведенные выше Таблицы дают общее представление о ситуации в геостационарной зоне в целом, а также вблизи казахстанских спутников связи Kazsat-2 и Kazsat-3.

Работа выполнена в рамках проектов №0069/ГФ4 и №003-1/ПЦФ-15-АКМИР –Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Диденко А. В., Демченко Б. И., Усольцева Л. А., Афонин А. Н., Калужный Е. А., Гордыгага Н. Н., Старожилов Н. И., Зикрань В. А., Есенгали С. Р., Кабенко Ф. Х. //Зональный каталог геостационарных спутников. Вып.2. Алматы, Гылым.– 2000.– 108с.
- [2] Сочилина А. С., Вершков А. Н., Григорьев К. В., Киладзе Р. И., Гаязов И. С. Каталог улучшенных орбит неуправляемых геостационарных объектов. С.-Петербург, ИТА РАН.– 1994.– т.1.– 102с: т.2.–, 95с.
- [3] Сочилина А. С., Киладзе Р. И., Григорьев К. В., Вершков А. Н. Каталог орбит геостационарных спутников. С.-Петербург, ИТА РАН.– 1996.– 104с.
- [4] Киладзе Р. И., Сочилина А. С. Теория движения геостационарных спутников. С.-Петербург, ГАО РАН.– 2008.– 132с.
- [5] Демченко Б. И., Диденко А. В. Фрактальная размерность взаимных сближений ГСС и некоторые статистические оценки. // Экологический Вестник НЦ ЧЭС.– 2013.– т.3, –№4.–С.63-66.

REFERENCES

- [1] Didenko A.V., Demchenko B.I. Usoltseva L.A. et al. Zone catalogue of geostationary satellites. Issue 2. Almaty. Gylm, 2000, 108 p.
- [2] Sochilina A.S., Vershkov A.N., Grigoriev K.V., Kiladze R.I., Gayazov I.S. Catalog of improved orbits of uncontrolled geostationary objects. St. Petersburg, ITA RAS, 1994, vol.1, 102p; V.2.-, 95p.
- [3] Sochilina A.S., Kiladze R.I., Grigoriev K.V., Vershkov A.N. Catalog of orbits of geostationary satellites. St. Petersburg, ITA RAS, 1996, 104p.
- [4] Kiladze R.I., Sochilina A.S. The theory of motion of geostationary satellites. St. Petersburg, GAO RAS, 2008, 132p.
- [5] Demchenko B.I., Didenko A. V. Fractal dimension of GCC mutual approaches and some statistical estimates. Ecological Bulletin of the Center of the BSEC, 2013, vol.3, №4, P.63-66.

**Б. И. Демченко¹⁾, В. А. Воропаев²⁾, А. А. Комаров¹⁾,
А. В. Серебрянский¹⁾, Л. А. Усольцева¹⁾, Ч. Б. Акниязов¹⁾**

В.Г. Фесенкова атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

KAZSAT-2 және KAZSAT-3 ҚАЗАҚСТАНДЫҚ БАЙЛАНЫС СЕРІКТЕРІ ҮШІН ӘЛЕУЕТТІ ҚАУІПТІ ГЕОТҰРАҚТЫ СЕРІКТЕР

Аннотация. 2017 жылдың басында ГТС аймақтық Каталогынан мәліметтер негізінде ГТС жаңартылған жіктемесі берілді. Әр топ бойынша өте жақын өту негізінде қауіптіліктің критерилері анықталды. Түзетілген ГТС үшін, соның ішінде Kazsat-2 және Kazsat-3 үшін олардың жұмысқа қабілеттілігі 10-15 жыл уақыты ішінде әлеуетті қауіпті объектілердің тізімі келтірілді. Көрші түзетілетін геотұрақтыларға қарағанда басқарылмайтын серіктер кем емес қауіпті екені көрсетілді. 2017 жылдың қаңтар және наурыз айларына Kazsat-2 және Kazsat-3 үшін нақты қауіпті ГТС кестесі берілді. Осы айларда басқа ГТС Kazsat-2 және Kazsat-3 жақындауы 50 км қашықтыққа дейін 3-4 тәулікте шамамен 1 рет болды.

Тірек сөздер: геотұрақты объект, геотұрақты рбита, қауіпті жақындау, Kazsat-2, Kazsat-3.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 57 – 65

C.B. Akniyazov

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

E-mail: akniyazov@aphi.kz, demchenko@aphi.kz, komarov@aphi.kz,
mkrugov@aphi.kz, reva@aphi.kz, alex@aphi.kz, usoltseva@aphi.kz**SHORT- AND LONG- TERM APPROACH COLLISION
PROBABILITY OF THE OBJECTS IN SPACE DEBRIS CLOUD**

Abstract. The main area of investigation is about self-production of the debris in orbit. This production is mainly done by mutual collisions between the orbital debris. The presented analysis on space debris cloud evolution and mutual collisions between the objects of the cloud have been based on the Gaussian distribution using position covariance ellipsoids and the available data. The collision probability was then compared with the breakup energy experimental results which can produce more and smaller objects. The probability density function (pdf), which describes the uncertainties of the two objects positions was used to determine the probability that they are within a specified volume. Then after the relative position of an object in space relative to another has been calculated their relative positions uncertainty pdf has been obtained. These procedures have lead to be able to integrate over volume part of the region where one object approaches another.

Key words: Space debris, collision probability, covariance ellipsoids, Gauss pdfs.

The idea behind this paper is in understanding of the consequences and aftermath of the collisions, explosions or breakups of artificial Earth satellites in space. In order to understand the behavior of the objects at the instant of the collision we must approach this problem gradually in stages.

This paper introduces the stage of the probability of collision between two objects orbiting in space. Generally this kind of collisions has three natures of outcome. First, the kinetic energy of particles (the debris of the satellite-satellite collision, satellite-meteorite collision, etc.) is still quite high, to transfer the energy within its reach region. To compute the probability of this event, it is necessary to formulate the problem within the framework of probability theory. The probability density function (pdf) describes the uncertainties of the positions of the two objects, this can give us the ability to determine the probability that they are within a specified region.

Suppose that the RV (random variables) associated with these pdf are independent (or uncorrelated), these pdf can be taken into product to obtain the joint pdf. We can then integrate over the product space of RVs that corresponds to the specified volume of interest. Even for simple pdfs, this approach is rather involved.

Another approach was to consider the relative position of one object with respect to the other and obtain the pdf describing the uncertainty of their relative positions. Then we integrate over the region of the space swept by the interested volume when an object moves towards another.

In this paper the presented analysis on space debris cloud mutual collisions probability are concerned with close encounters between two or more orbiting objects. They are based on Gaussian distribution because the primary object and secondary object can be tracked and their positions determined to within the errors associated with the corresponding position covariance ellipsoids. The collisions probability is then computed using this information.

1. Short-term encounters

The probability of collision for most short-term space objects encounters may be expressed $P = e^{-\frac{v}{2}} (1 - e^{-\frac{u}{2}})$. Where the dimensionless variables u and v defined in terms of the mean standard

deviation Ω , the companion standard deviation Ω^* , miss distance x_e and the radius r_a of collision cross-section integration by

$$u \equiv \left(\frac{r_a}{\sigma} \right)^2 > 0 \quad v \equiv \left(\frac{x_e}{\sigma^*} \right)^2 > 0,$$

$$\text{Where, } \sigma^2 \equiv \sigma_{x'} \sigma_{z'} \text{ and } \sigma^{*2} \equiv \sigma_{z'}^2 \left\{ 1 + \left[\left(\frac{\sigma_{z'}}{\sigma_{x'}} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{x_p'^2}{x_p'^2 + z_p'^2} \right) \right\}^{-1}.$$

$$\text{When non-essential singularity at } x_p' = 0 \text{ and } z_p' = 0 \text{ is } v = \frac{x_p'^2}{\sigma_{x'}^2} + \frac{z_p'^2}{\sigma_{z'}^2}.$$

2. Long-term encounters

Relative motion for in-plane motion and no drift $x_c = C + A \sin \tau$; $y_c = \frac{1}{2} A \cos \tau$ and $z_c = 0$,

where $\tau \equiv \omega t + \phi$. The secondary object moves in an ellipse relative to the primary in the orbital plane of the primary with semi-major axis A and semi-minor axis $A/2$. The volume of integration for determining the collision probability is approximated by a circular torus using the Method of Equivalent Areas. R is the radius of the center of the cross-section from the axis of symmetry of the torus and let r be the radius of the cross-section.

It is seen that when $\phi < 60^\circ$, the largest side of the triangle is L ; and when $\phi > 60^\circ$, the largest side of the triangle is S . When $\phi = 60^\circ$, all the three sides are equal. The extent M of the encounter region is defined to be the largest side accordingly.

For a LEO, when $\phi = 2^\circ$ and $S = 85$ km for 15 digit accuracy, we use equations (6), (12) and (10) to obtain $L = 2,435.2$ km and $D = 403.3$ km. Thus, the deflection angle $\alpha = 9.4^\circ$ and the time T to traverse L is 324.7 sec = 5.4 min = 5% of orbital period. This is an exceedingly large deflection angle and the transit time is too long. Consequently, the straight line approximation is invalid. Even if we relax the requirement to 2 digit accuracy by choosing the ingress separation $S = 30$ km, then $L = 859.5$ km, $D = 51.5$ km the deflection angle $\alpha = 3.4^\circ$ and $T = 114.6$ sec = 1.9 min = 2% of orbital period. This is probably on the verge for the straight line approximation to be valid.

For a GEO, when $\phi = 2^\circ$ and $S = 255$ km for 15 digit accuracy, we obtain $L = 7,305.6$ km and $D = 628.2$ km. Thus, the deflection angle $\alpha = 4.9^\circ$ and the time T to traverse L is $2,356.6$ sec = 39 min = 3% of orbital period. Again, these figures are a little too much for the straight line approximation to be valid. Even if we relax the requirement to 2 digit accuracy by choosing the ingress separation $S = 90$ km, then $L = 2,578.4$ km, $D = 78.8$ km the deflection angle $\alpha = 1.8^\circ$ and $T = 831.7$ sec $\cong 13.9$ min = 1% of orbital period. The straight line approximation is acceptable in this case.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_3(x, y, z) dy = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_z\sqrt{1-\rho_{xz}^2}} e^{-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\rho_{xz}xz}{\sigma_x\sigma_z} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)/2(1-\rho_{xz}^2)}$$

By integrating the general three-dimensional pdf with respect to the variable y from $-\infty$ to $+\infty$, we have obtained the general marginal two-dimensional pdf. This approach is along the lines of reasoning given by Papoulis [1] who considered the case of integrating a general two-dimensional bivariate Gaussian pdf over the same range to obtain a one-dimensional marginal pdf.

Table 1 - The calculation of preemptive maneuvers

INPUTS ARE IN BOLD NUMBERS	
Minimum Distance M between Primary and Secondary (km)	0.106066017
Distance H between Parallel Planes (km)	0.1
Distance L of Primary from Point Q when Secondary is at Q (km)	0.05
Semi-Major Axis Ap of Primary (km)	7070.068481
Primary Arrival Time Tp at Point Q (sec)	0.02
Secondary Arrival Time Ts at Point Q (sec)	0.013333333
Initial Time T0 (sec)	0
SigmaXPrime	5.099
SigmaZPrime	0.707
Angle Theta (deg)	70.52877937
Combined Radius Ra	0.01
Desired Probability of Collision PPrime	1.00E-06
Days before Maneuver (units of days)	1.00E+00
Gamma	1

OUTPUTS ARE IN REGULAR NUMBERS	
Delta Ap (m)	17.26519046
Delta Intrack Velocity (m/sec)	-0.027504014
Sigma (km)	1.898681911
SigmaStar (km)	0.748987321
New Minimum Distance M' between Primary and Secondary (km)	1.717679992
Hprime (km)	0.08273481
RhoPrime (dimensionless)	48.52693689
Mean Motion Np of Primary (Radians/sec)	0.001062022
Quantity T	0.007265434
Tau (km)	0.000363272
A (km ²)	-0.001250132
B (km ³)	-4.40893E-07
C (km ⁴)	3.87872E-07
DeltaAp1 (km)	-0.017970545
DeltaAp2 (km)	0.01726519

Here the results which compute the preemptive maneuvers under the assumption that DeltaAp is not necessarily negligible compared to distance H between the parallel planes.

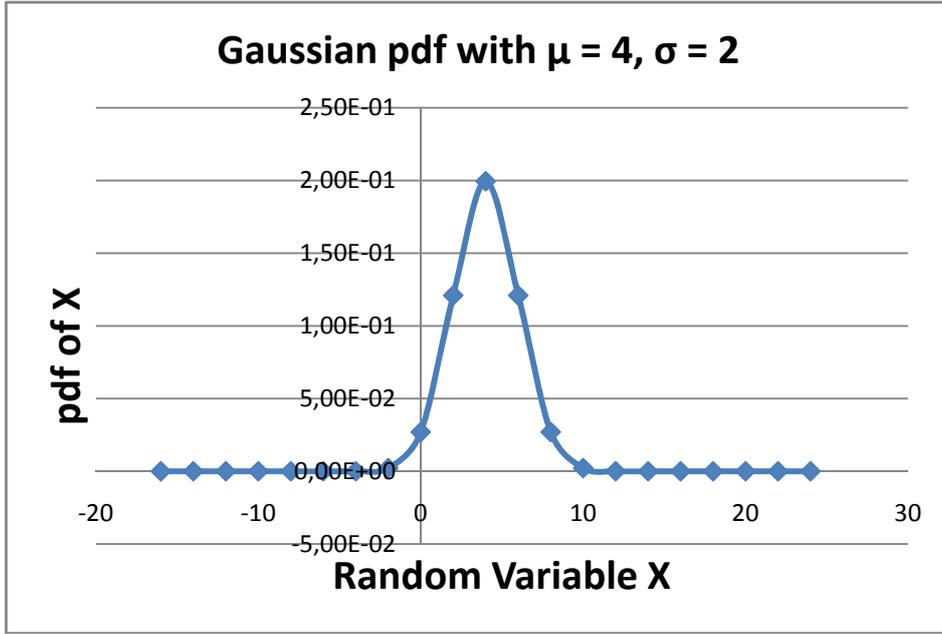
Gaussian Probability Density Function

The model computes the Gaussian probability density function.

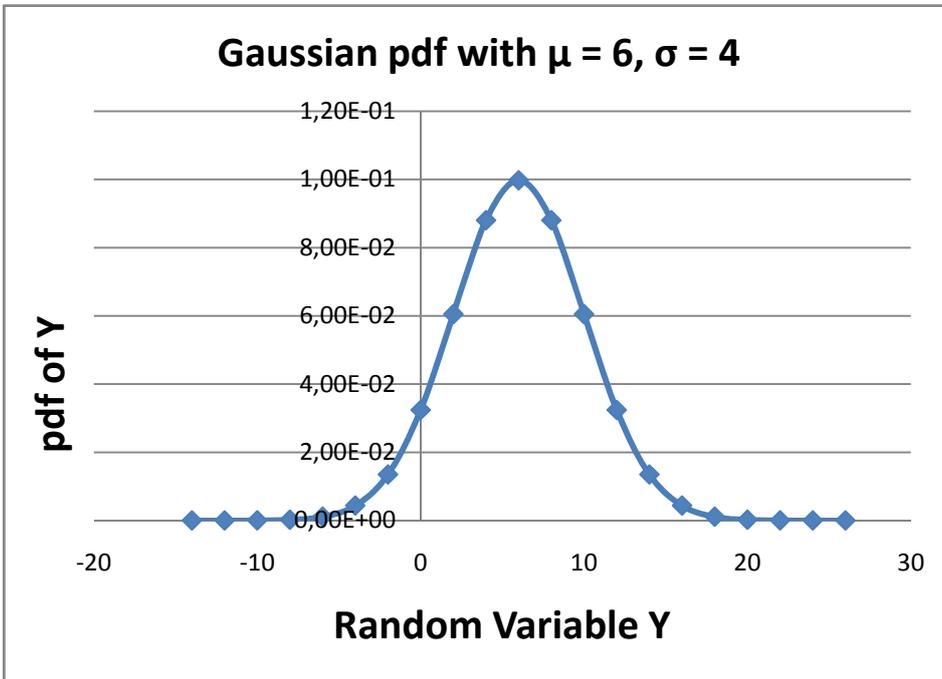
INPUTS	
X1	-20
X2	20
Sigma	4.47213 595

Table 2 – Output results

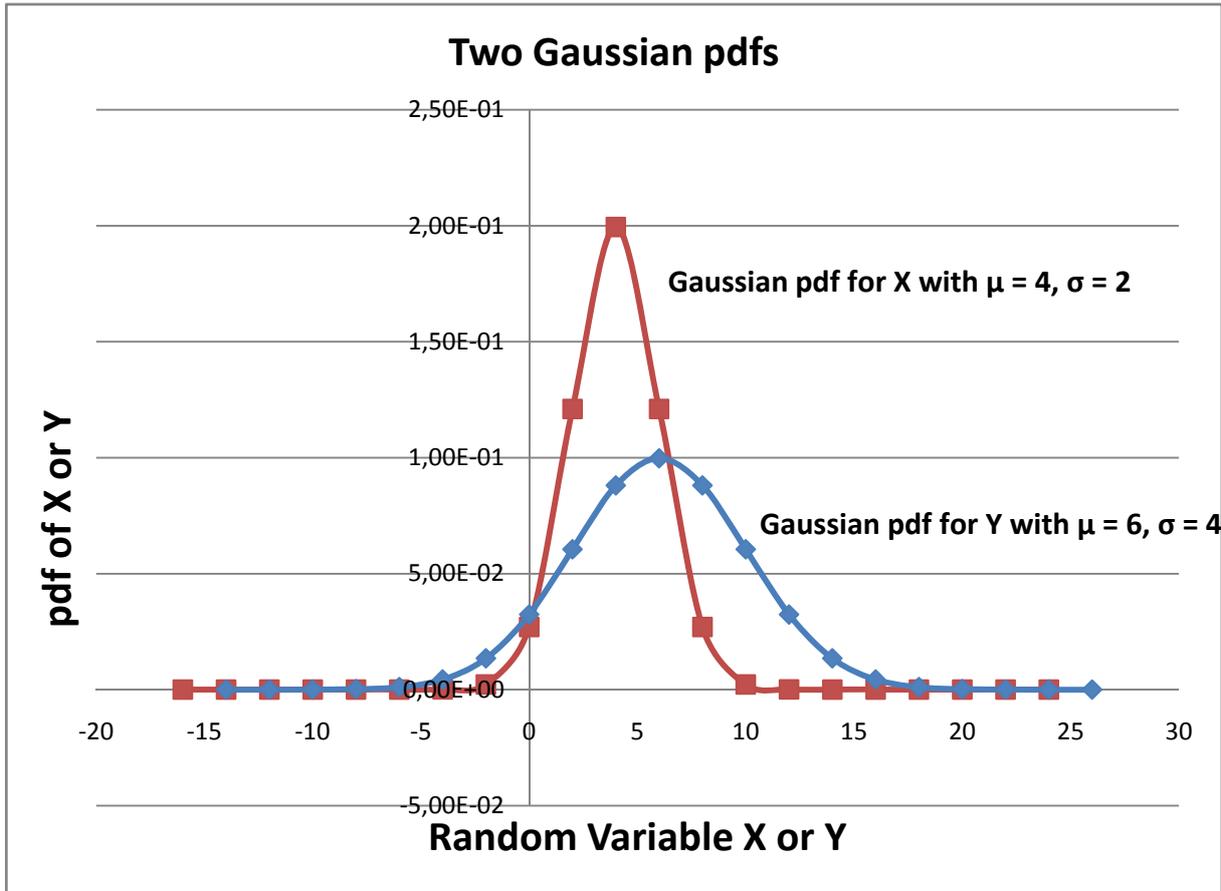
INPUTS (BOLD NUMBERS)												
Minimum Distance M between Primary and Secondary (km)	2.121320344	2.121320344	1.060660172	1.060660172	0.501248441	0.501248441	0.501248441	0.501248441	0.367423461	0.367423461	0.106066017	0.106066017
Distance H between Parallel Planes (km)	0	0	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1
Distance L of Primary from Point Q when Secondary is at Q (km)	3	3	0.5	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5	0.5	0.05	0.05
Semi-Major Axis Ap of Primary (km)	7070.070733	7070.070733	7070.068795	7070.068795	7070.068481	7070.068481	7070.068481	7070.068795	7070.068795	7070.068481	7070.068481	7070.068481
Primary Arrival Time Tp at Point Q (sec)	0.5333333333	0.5333333333	0.2	0.2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2	0.02	0.02
Secondary Arrival Time Ts at Point Q (sec)	0.1333333333	0.1333333333	0.1333333333	0.1333333333	0.0133333333	0.0133333333	0.0133333333	0.1333333333	0.1333333333	0.1333333333	0.0133333333	0.0133333333
Initial Time T0 (sec)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SigmaXPrime	10.198	5.099	10.198	10.198	5.099	5.099	10.198	5.099	10.198	5.099	10.198	5.099
SigmaZPrime	1.414	0.707	1.414	1.414	0.707	0.707	1.414	0.707	1.414	0.707	1.414	0.707
Angle Theta (deg)	0	0	70.52877937	70.52877937	85.95530876	85.95530876	70.52877937	85.95530876	15.79316905	15.79316905	70.52877937	70.52877937
Combined Radius Ra	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Desired Probability of Collision PPrime	1.00E-06											
Days before Maneuver (units of days)	1.00E+00											
Gamma	0.99999984	0.99999984	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978	0.99999978
OUTPUTS (REGULAR NUMBERS)												
Delta Ap (m)	143.4364451	98.35103706	18.44459554	10.79570873	22.07290597	15.57811666	71.95401623	51.32730297	23.89596725	17.26519046	23.89596725	17.26519046
Delta Intraac Velocity (m/sec)	-0.22849885	-0.156676351	-0.029382843	-0.017197917	-0.035162863	-0.024816451	-0.114625099	-0.081766071	-0.038067059	-0.027504014	-0.038067059	-0.027504014
Sigma (km)	3.797363822	1.898681911	3.797363822	1.898681911	3.797363822	1.898681911	3.797363822	1.898681911	3.797363822	1.898681911	3.797363822	1.898681911
SigmaStar (km)	10.198	5.099	1.497974643	0.748987321	1.417462467	0.708731233	4.66498762	2.33249381	1.497974643	0.748987321	1.497974643	0.748987321
New Minimum Distance M' between Primary and Secondary (km)	16.08187469	11.69372301	2.36225147	1.717679992	2.2352867	1.625359234	7.356515623	5.349193283	2.36225147	1.717679992	2.36225147	1.717679992
Hprime (km)	-0.143436422	-0.098351021	0.981555405	0.989204292	0.477927094	0.484421883	0.028045985	0.048672698	0.076104033	0.08273481	0.076104033	0.08273481
RhoPrime (dimensionless)	7.580766884	5.51227892	6.077355341	3.971800018	61.76142695	43.88282652	20.80721712	15.12917704	66.7798783	48.52693689	66.7798783	48.52693689
Mean Motion Np of Primary (Radians/sec)	0.001062021	0.001062021	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022	0.001062022
Quantity T	0.007265437	0.007265437	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434	0.007265434
Tau (km)	0.021796312	0.021796312	0.003632717	0.003632717	0.000363272	0.000363272	0.003632717	0.003632717	0.000363272	0.000363272	0.000363272	0.000363272
A (km^2)	-4.500475079	-4.500475079	-0.125013197	-0.125013197	-0.001250132	-0.001250132	-0.125013197	-0.125013197	-0.001250132	-0.001250132	-0.001250132	-0.001250132
B (km^3)	-0.098083402	-0.098083402	-0.000440893	-0.000440893	-3.88106E-07	-3.88106E-07	-0.000440893	-0.000440893	-0.000440893	-0.000440893	-0.000440893	-0.000440893
C (km^4)	0.120730305	0.062825973	5.87941E-05	2.40895E-05	6.26214E-07	3.15471E-07	0.000712398	0.000712398	0.000375825	7.34918E-07	0.000375825	7.34918E-07
DeltaAp1 (km)	-0.187024466	-0.141939058	-0.025498139	-0.017849252	-0.022693811	-0.016199021	-0.079197571	-0.058870858	-0.024601322	-0.017970545	-0.024601322	-0.017970545
DeltaAp2 (km)	0.143436445	0.098351037	0.018444596	0.010795709	0.022072906	0.015578117	0.071954016	0.051327303	0.023895967	0.01726519	0.023895967	0.01726519



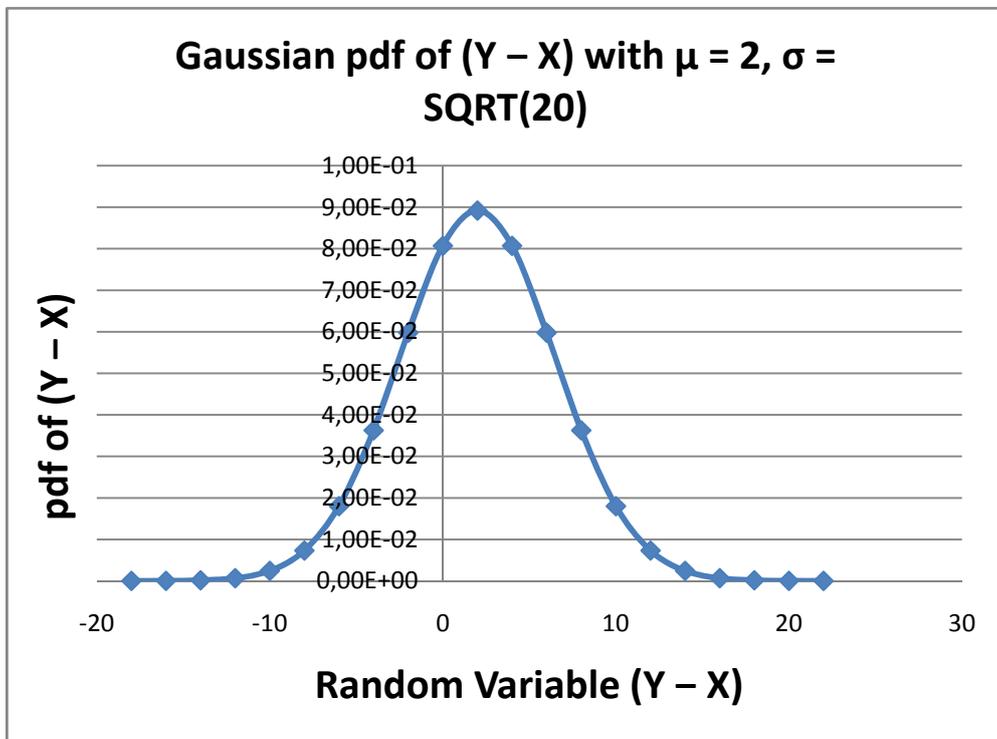
Picture 1 - The Gaussian Probability Density Function with $\mu = 4, \sigma = 2$



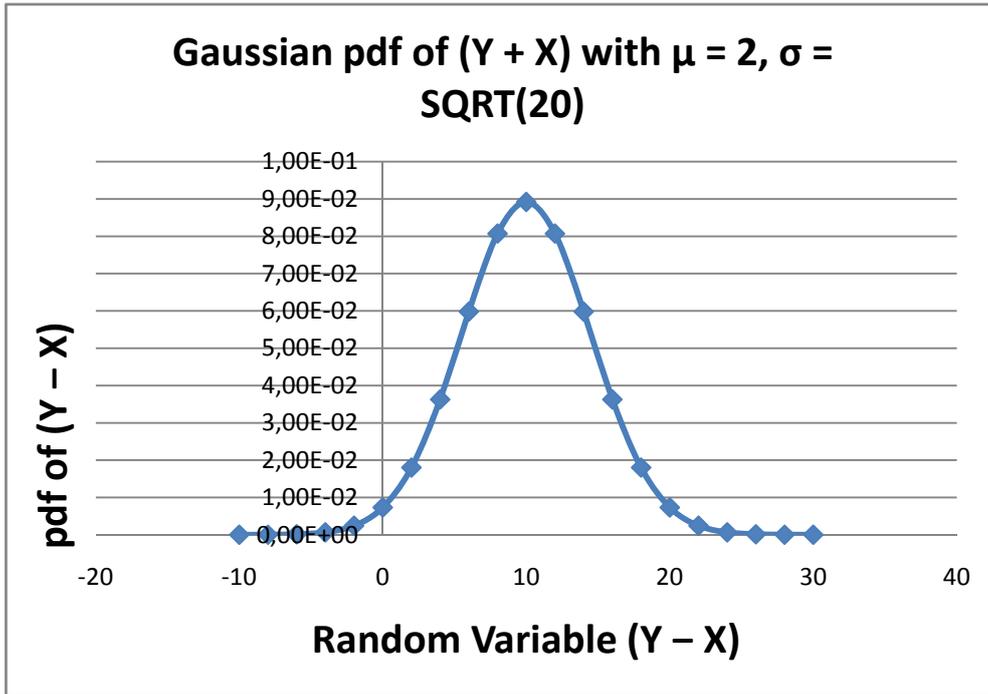
Picture 2 - The Gaussian Probability Density Function with $\mu = 6, \sigma = 4$



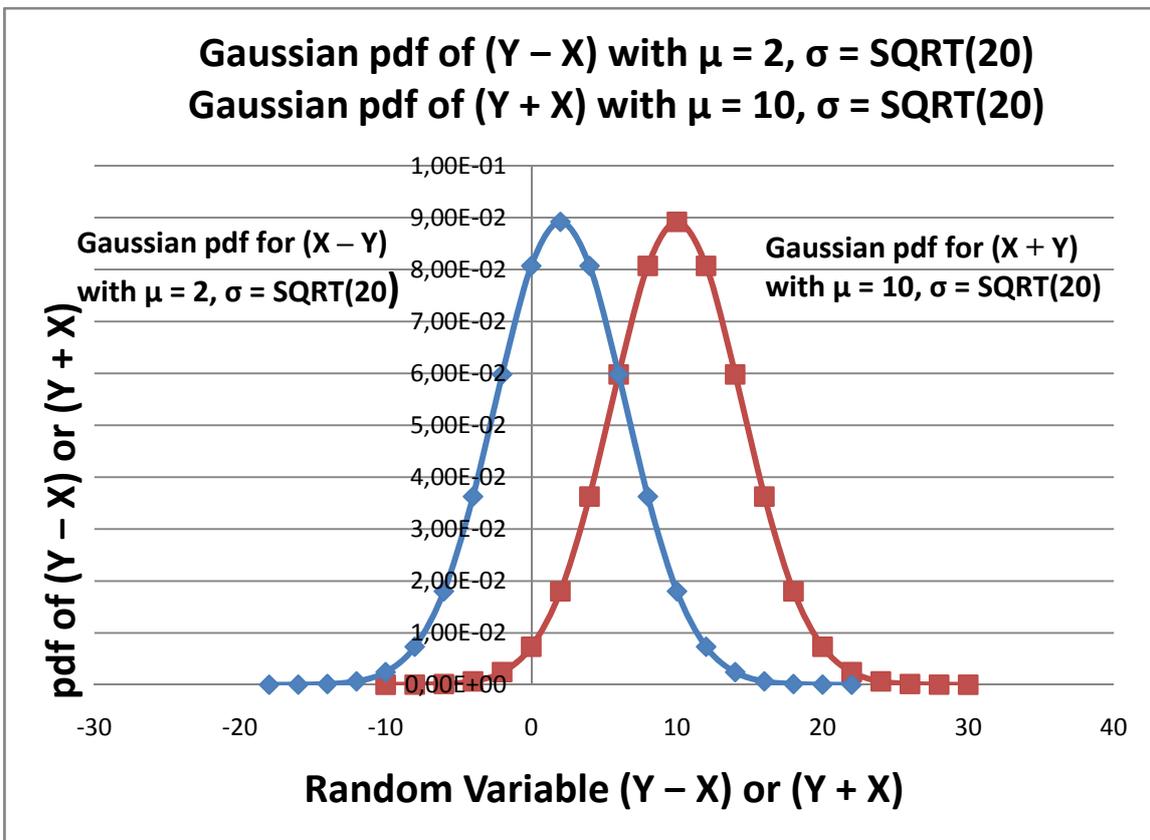
Picture 3 - The comparison of two outcomes



Picture 4 - Gaussian pdf of $(Y - X)$ with $\mu = 2, \sigma = \text{SQRT}(20)$



Picture 5 - The Gaussian pdf of (Y + X) with $\mu = 2$, $\sigma = \text{SQRT}(20)$



Picture 6 - Gaussian pdf of (Y - X) with $\mu = 2$, $\sigma = \text{SQRT}(20)$, Gaussian pdf of (Y + X) with $\mu = 10$, $\sigma = \text{SQRT}(20)$

Conclusion

The study has shown that when assuming the probability of the collision between the objects and their differences in results obtained between long-term encounter modeling and short-term encounter modeling. It can be seen that the maximum probability of collision is when the amplitude A is about 1.4 times of the combined standard deviation.

The condition at which for LEO is the straight path of the relative motion over a distance of 85 km (or 30 km) where the deflection angle is less than 0.18 degrees (or 0.06 deg.). To satisfy the condition for the short-term encounters the relative velocities are of the order of several kilometers per second, the time spent in the encounter region is only a fraction of a second or at most a few seconds. On contrarily, the time spent for long-term encounters can take more than one orbital period and can take days. The parameters must be taken into consideration to obtain a maximum collision probability.

The project has been done in accordance to № 0003-1/ПЦФ-15 The study of optical and dynamic characteristics of space debris fragments in the geostationary orbit.

REFERENCES

- [1] Popuolis A. Probability, Random Variables and Stochastic Processes, fourth edition. McGraw-Hill, U.S.A. ISBN: 978-0-070-48477-1
- [2] Nazarenko A.I., et.al. Collision Of Spacecraft Of Various Shape With Debris Particles Assessment, e-mail correspondence, P. 11
- [3] Назаренко А.И. Моделирование Космического Мусора. Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт Космических Исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН), МОСКВА, 2013
- [4] Kenneth Chan. Module 14: Miss Distance. Iridium33-Cosmos2251 Collision, Close Approach Statistics. e-mail correspondence.
- [5] Kenneth Chan F. (2008). Spacecraft Collision Probability, Aerospace Press, U.S.A. ISBN: 978-1-884-98918-6
- [6] Ken Chan, et.al. A Mathematical Formulation to Describe Density of Particles in an Inhomogeneous Distribution. Chan Aerospace Consultants. e-mail correspondence
- [7] Chan F. K. (1997), Collision Probability Analyses for Earth-Orbiting Satellites. Proceedings of the 7th International Space Conference of Pacific Basin Societies. Nagasaki, Japan.
- [8] Nazarenko A.I. (2007). Accuracy of Determination and Prediction Orbits in LEO. Estimation Errors Depending on Accuracy and Amount of Measurements. 7th US/ Russian Space Surveillance Workshop. Monterey, U.S.A.
- [9] Назаренко А. И., Маркова Л. Г. Методы определения и прогнозирования орбит ИСЗ при наличии погрешностей в математическом описании движения. Прикладные задачи космической баллистики. Наука, 1973. С. 36–67.

Ч.Б. Акниязов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ҒАРЫШТЫҚ ҚОҚЫС БҰЛТЫНДАҒЫ ОБЪЕКТТЕРДІҢ СОҚТЫҒЫСУ ЫҚТИМАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУДЫ БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ҚЫСҚА ЖӘНЕ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ ӘДІС

Аннотация. Негізгі зерттеу аясы – орбитадағы сынықтардың өздігінен пайда болуы. Бұл жағдай негізінен орбиталды сынықтардың өзара соқтығысуынан болады. Ғарыштық қоқыс бұлттарының эволюциясына және өзара соқтығысқан объекттер бұлттарына берілген талдау ұстанымды ковариациялық эллипсоидтарды және қолда бар мәліметтерді пайдалана отырып Гаусс таралуына негізделген. Сосын соқтығысу ықтималдылығын ұсақ объекттердің пайда болуына әкеліп соғатын энергияның ыдырауы бойынша эксперименталды нәтижелерімен салыстырылды. Екі объекттердің позициясының белгісіздігін сипаттайтын тығыздықтың ықтималдылық функциясы (pdf) олардың берілген көлемде екендігінің ықтималдылығын сипаттау үшін қолданылды. Кеңістіктегі объекттің салыстырмалық орны басқа объект орнымен салыстырмалы есептелген соң олардың салыстырмалық орын қателігі алынды. Бұл рәсімдер бір объекттің басқасына жақындау аймағының бір бөлігін көлем бойынша интегралдауға мүмкіндік берді.

Тірек сөздер: ғарыштық қоқыс, соқтығысу ықтималдылығы, ковариациялық эллипсоидтар, Гаусс таралулары.

Ч. Б. Акниязов

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

**КОРОТКО- ВРЕМЕННОЙ И ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПОДХОД ДЛЯ ПРОГНОЗА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЕРОЯТНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАКЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

Аннотация. Основная область исследования - самопроизводство обломков на орбите. Это производство, в основном, осуществляется путем взаимных столкновений между орбитальными обломками. Представленный анализ эволюции облаков космического мусора и взаимных столкновений между объектами облака был основан на распределении Гаусса с использованием позиционных ковариационных эллипсоидов и имеющихся данных. Затем вероятность столкновения сравнивали с экспериментальными результатами по энергии разрыва, которые могут приводить к появлению все более и более мелких объектов. Функция плотности вероятности (pdf), которая описывает неопределенности позиций двух объектов, использовалась для определения вероятности того, что они находятся в заданном объеме. Затем, после того как относительное положение объекта в пространстве относительно другого было рассчитано, была получена их относительная погрешность положений. Эти процедуры позволили интегрировать по объему часть региона, где один объект приближается к другому.

Ключевые слова: космический мусор, вероятность столкновения, ковариационные эллипсоиды, распределения Гаусса.

Сведение об авторе:

Акниязов Чингиз Бахатович - инженер сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова». Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 260 86 93, факс. 260 75 90, akniyazov@aphi.kz

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 66 – 73

**A. Serebryanskiy, M. Krugov, R. Valiullin,
A. Komarov, B. Demchenko, L. Usoltseva, Ch. Akniyazov**

Fesenkov Astrophysical Institute, Observatory 23, Almaty, Republic of Kazakhstan
E-mail: alex@aphi.kz, mkrugov@aphi.kz, valiullin@aphi.kz, komarov@aphi.kz, demchenko@aphi.kz,
usoltseva@aphi.kz, akniyazov@aphi.kz

THE NEW OPTICAL COMPLEX AT ASSY-TURGEN OBSERVATORY IN KAZAKHSTAN

Abstract. We provide description of an optical system using Ritchey-Chrétien “RC500” telescope installed on Assy-Turgen Observatory (Republic of Kazakhstan) which is designed for surveys campaigns, astrometric and photometric observations of low-luminous objects on geostationary orbits, monitoring of space debris, and as an instrument for campaigns to search objects potentially hazardous to Earth. We provide some details on system layout, software used to control telescope, data acquisition process and show preliminary results from trial observations using this instrument.

Key words: telescopes, CCD, astronomical observations, geostationary satellites.

УДК 523.62

**А. В. Серебрянский, М.А. Кругов, Р.Р. Валиуллин,
А.А. Комаров, Б.И. Демченко, Л.А. Усольцева, Ч. Акниязов**

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

НОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА ОБСЕРВАТОРИИ АССЫ-ТУРГЕНЬ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Дано описание оптического комплекса, установленного на обсерватории Ассы-Турген (Республика Казахстан). Комплекс предназначен для проведения астрометрических и фотометрических наблюдений активных и пассивных объектов, находящихся на геостационарных орбитах, в том числе малоразмерных фрагментов космического мусора. Данный комплекс может быть использован для поиска, обнаружения и сопровождения объектов (в том числе, астероидов и комет), потенциально опасных для Земли. Основные компоненты - телескоп RC500 системы Ричи-Кретьена, современная CCD-камера Andor iXon Ultra-888 и соответствующее программное обеспечение для контроля работы телескопа, сбора и обработки информации. В статье представлены результаты тестовых наблюдений, проведенных на данном комплексе.

Ключевые слова: телескопы, ПЗС, астрономические наблюдения, геостационарные спутники.

Введение

Технологическое развитие нашей цивилизации неразрывно связано с проблемой загрязнения окружающей среды, включая околоземное пространство. В частности, в настоящее время наиболее эксплуатируемыми и, следовательно, наиболее замусоренными оказались геостационарные орбиты, которые используются для военных и мирных целей (телекоммуникация, анализ метеоусловий, решение ряда научных задач и др.). Для мониторинга ситуации на этих орбитах, в частности для определения положения спутника, его состояния, а также для предотвращения потенциально опасных ситуаций необходимо постоянно проводить наземные фотометрические, астрометрические и радиолокационные наблюдения. Большое расстояние этих объектов от

поверхности Земли и их сравнительно небольшой размер накладывают соответствующие требования к методике наблюдений и используемому оборудованию.

Вторая проблема, для решения которой необходимо использовать современные методы наблюдения слабых объектов, связана с астероидной и кометной опасностью. До недавнего времени считалось, что реальную угрозу нашей цивилизации представляют только крупные астероиды и кометы, столкновение с которыми - явление довольно редкое (одно событие за сотни тысяч или даже миллионы лет). Однако события последних лет показали, что даже сравнительно небольшие «гости из космоса» могут представлять существенную угрозу для успешного развития нашей цивилизации, и при столкновении с Землей, способны причинить достаточно ощутимый материальный ущерб. Небольших астероидов много, и вероятность столкновения с ними достаточно высока. Поэтому все чаще ученые выступают за создание специальных систем для мониторинга околоземного пространства с целью обнаружения и сопровождения объектов естественного происхождения (астероидов, комет) небольшого размера. В настоящее время развернуто несколько таких проектов: ASPIN [1], PanSTARRS (<http://panstarrs.ifa.hawaii.edu/public/science-goals/science-goals.html>), LINEAR [2] (<http://www.ll.mit.edu/mission/space/linear/>), NEAT (<http://neat.jpl.nasa.gov/>), SPACEWATCH (<http://spacewatch.lpl.arizona.edu/>), LONEOS (<http://asteroid.lowell.edu/asteroid/loneos/loneos.html>), Catalina Sky Survey (<http://www.lpl.arizona.edu/css/>), JSGA (<http://www.spaceguard.or.jp/ja/index.html>), сеть ISON (<http://lfvn.astronomer.ru/main/english.html>). Развитие новых технологий и существенный прогресс в производстве высокочувствительных приемников излучения обеспечивают возможность проведения наблюдений слабых объектов с использованием телескопов сравнительно небольшой апертуры (до одного метра).

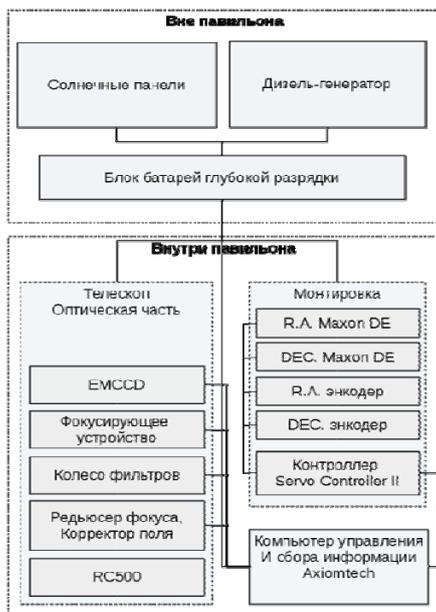


Рисунок 1 - Блок-схема оптического комплекса Ассы-Тургеньской обсерватории.

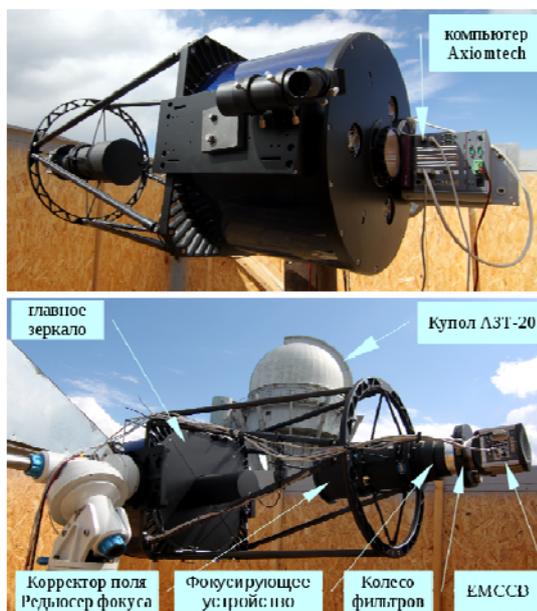


Рисунок 2 - Общий вид телескопа RC500 и навесного оборудования. На заднем плане виден купол телескопа АЗТ-20.

Ассы-Тургеньская обсерватория Астрофизического института обладает хорошим астроклиматом, ее географическое положение ($43^{\circ}.2257N$, $77^{\circ}.8717E$) позволяет контролировать практически все пассивные ГСС, находящиеся в зоне влияния точки либрации ($75^{\circ}E$). Новый оптический комплекс создан на базе телескопа RC500 и высокочувствительной инновационной ПЗС-камеры EMCCD iXon Ultra-888 компании Andor. Высокая чувствительность камеры (с функцией электронного умножителя, EM) позволяет фиксировать изображения слабых объектов за короткие экспозиции, что значительно упрощает процедуру анализа наблюдений и увеличивает точность получаемой астрометрической информации. Созданная система может быть

использована при решении многих задач наблюдательной астрономии, см., например, [3-8]. Некоторые детали техники наблюдений на EMCCD, необходимые алгоритмы для анализа данных и ссылки на соответствующие работы приведены в [9-16].

Описание комплекса

На рисунках 1 и 2 показаны блок-схема комплекса и общий вид телескопа RC500 с навесным оборудованием, установленные на Ассы-Тургеньской обсерватории. Основные его компоненты - система автономного электроснабжения, телескоп и соответствующее навесное оборудование, монтировка и компьютер для управления комплексом и сбора данных.

Автономное электроснабжение обеспечивается дизель-генератором и солнечными панелями. Основные параметры телескопа RC500 с оптической схемой Ричи-Кретьена: диаметр главного зеркала - 508 мм, светосила 1:4, $f_{\text{КВ}} = 4000$ мм, вынос фокальной плоскости $e = 355$ мм (http://www.astrosib.ru/rc_500_rus.html). Для того чтобы увеличить поле зрения установки (FOV), вторичное зеркало было демонтировано, наблюдения сейчас ведутся в главном фокусе.

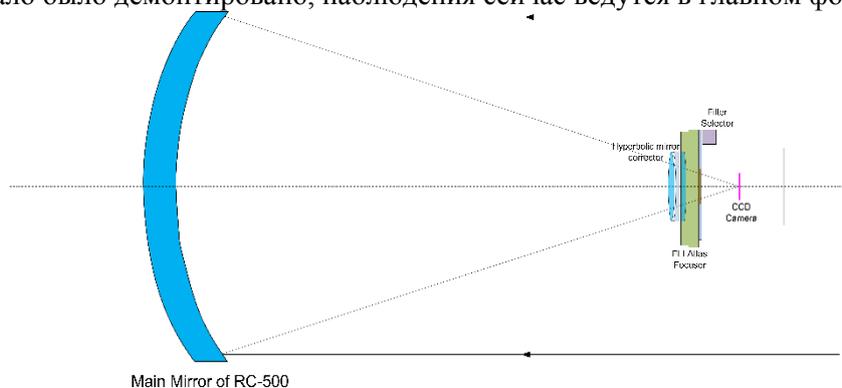


Рисунок 3 - Оптическая схема комплекса на базе RC500, установленного на обсерватории Ассы-Тургень в прямом фокусе

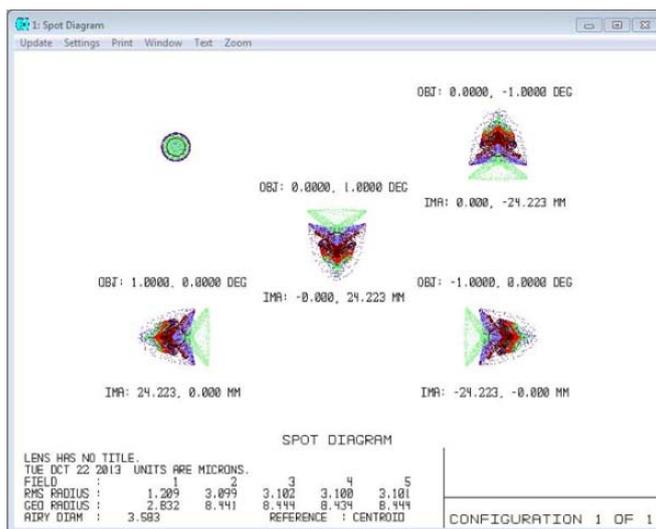


Рисунок 4 - Спот-диаграмма редьюсера фокуса и корректора поля, установленного в прямом фокусе главного зеркала телескопа RC500.

Для компенсации аберраций главного зеркала и коррекции поля был разработан и изготовлен соответствующий корректор фокуса. Оптическая схема комплекса приведена на рисунке 3.

Спот-диаграмма корректора показана на рисунке 4. Полученное эквивалентное фокусное расстояние $f_{\text{эв}}=1406$ мм, светосила 1:2.8, FOV=32'.5×32'.5 с EMCCD iXon Ultra-888 (для обычной ПЗС камеры FOV=2°×1°.5).

Следующим компонентом системы является прецизионное фокусирующее устройство (PDF). Конструкция PDF должна быть достаточно прочной, поскольку непосредственно к нему крепится другое навесное оборудование. Мы используем устройство компании FLI (<http://www.flicamera.com/focuser/index.html>) с шаговым двигателем на 7000 отсчетов фокуса и точностью шага 1.25 мкм. Диаметр диафрагмы - 89 мм. Контроль осуществляется через USB 2.0. К PDF крепится устройство выбора фильтров, в качестве которого используется как обычное колесо фильтров компании FLI с набором светофильтров системы UBVR, так и специально разработанное устройство быстрой смены фильтров от компании «Астротехприбор». Последнее работает в трех положениях (фильтры В и V и интегральный свет) со скоростью смены положения 6 мксек. Это позволило реализовать систему быстрого двухканального фотометра.

Последний компонент оптической части системы, который крепится к PDF - приемник излучения, в качестве которого используется EMCCD Andor iXon Ultra-888 (<http://andor.com/scientific-cameras/ixon-emccd-camera-series/ixon-ultra-888>). Полезная площадь камеры - 1024×1024 пикселей, физический размер пикселя - 13 мкм. В используемой оптической схеме с FOV=32'.5×32'.5 разрешение составляет 1.76"/пиксель. Скорость считывания изображения - 30 МГц, т.е. 26 полных кадров в секунду. При уменьшении размера кадра до 512×512 пикселей скорость считывания может быть доведена до 100 кадров в секунду. Типичный шум считывания при максимальной скорости считывания (30 МГц) и с выключенным режимом EM (Electron Multiply) составляет 130e-, но возможность усилить сигнал до 1000e- позволяет значительно понизить влияние шума считывания и достичь чувствительности, сравнимой с фотоэлектронным множителем. Система охлаждения ПЗС-камеры дает возможность понижать температуру до -95°C. При рабочей температуре -85°C уровень теплового шума составляет примерно 0.0005e-/пиксель/сек. При температуре -85°C и усилении 1000e- уровень случайного шума - порядка 0.005 событие/пиксель. При работе ПЗС-камеры в режиме включенного электронного множителя шум считывания составляет <1e- при скорости считывания изображений 30 МГц. Заявленная квантовая эффективность камеры - не ниже 90%.

Размер поля EMCCD, скорость считывания изображений и объем получаемой информации накладывают соответствующие требования к системе управления работой EMCCD, загрузки и хранения данных. Мы используем компьютер промышленного класса «Axiomtek» IPC914-213-FL (<http://www.axiomtek.com>), снабженный специальными картами ANDOR PCIe CCI-24 с интерфейсом CameraLink для передачи данных со скоростью до 800 МГц. Контроль за работой камеры, процесс получения изображений осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения компании «Andor» SOLIS X-8676, и в среде MaximDL6 Pro с интегрированным драйвером контроля камеры.

Тестирование комплекса

Для тестирования работы системы и оценки ее производительности в разных режимах работы EMCCD проведены наблюдения различных объектов, в том числе, и геостационарных спутников (ГСС).

В качестве примера на рисунке 5 показан снимок области рассеянного звездного скопления M11 ($RA_{2000}=18^h51^m05^s.0$, $DEC_{2000}=-06^{\circ}16'12''$) с экспозицией в 1 сек. при разных режимах электронного усиления ($gain = 0, 30, 300$). Предварительный анализ данных выполнялся в специализированном пакете IRAF (<http://iraf.noao.edu/>). На снимке с 300-кратным усилением сигнала видны звезды с $m \approx 15^m$.

В течение 2016 г. проведены наблюдения геостационарных объектов, в том числе казахстанских спутников связи «Казсат-2», «Казсат-3» и ряда пассивных ГСС, см. статью [17] в настоящем сборнике. В качестве примера на рисунке 6 слева показан комбинированный снимок, составленный по 38 отдельным кадрам с «Казсат-3» ($m_v=11^m.7$) в интервале 130 секунд,

экспозиция 0.5 сек., коэффициент усиления сигнала 17 раз. На рисунке 6 справа – комбинированный снимок из 46 отдельных кадров с не идентифицированным объектом ($m_v=9^m.1$) в интервале 128 сек., коэффициент усиления сигнала 17 раз.

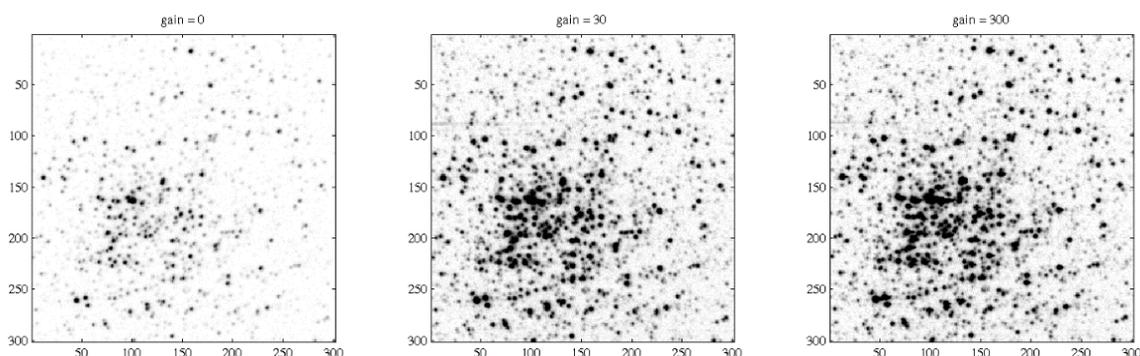


Рисунок 5 - Снимки области рассеянного звездного скопления M11, полученные на EMCCD Andor iXon Ultra-888 с экспозицией 1 сек. при разных режимах электронного усиления (0, 30 и 300).

Выводы

Результаты тестовых наблюдений рассеянных звездных скоплений и геостационарных спутников показали высокую эффективность нового оптического комплекса обсерватории Асы-Тургень при проведении наблюдений слабых и быстро меняющих свой блеск объектов. Если размеры изображений уменьшить до 128×128 пикселей, то скорость считывания может быть доведена до 700 кадров в секунду. В этом случае можно использовать технику спекл-фотометрии [18,19] для достижения максимальной разрешающей способности инструмента и фотометрии объектов с очень быстрыми изменениями яркости или быстропротекающих событий. Кроме того, при высокой скорости считывания сигнала влияние атмосферных эффектов в течение одной экспозиции будет существенно меньше. Комбинация таких кадров позволяет получать снимки с максимальным пространственным разрешением. Опция усиления сигнала в режиме EMCCD предоставляет также возможность получать изображения слабых объектов с достаточно короткими экспозициями и проводить обзорные наблюдения с целью обнаружения малоразмерных объектов на геостационарных орбитах [20].

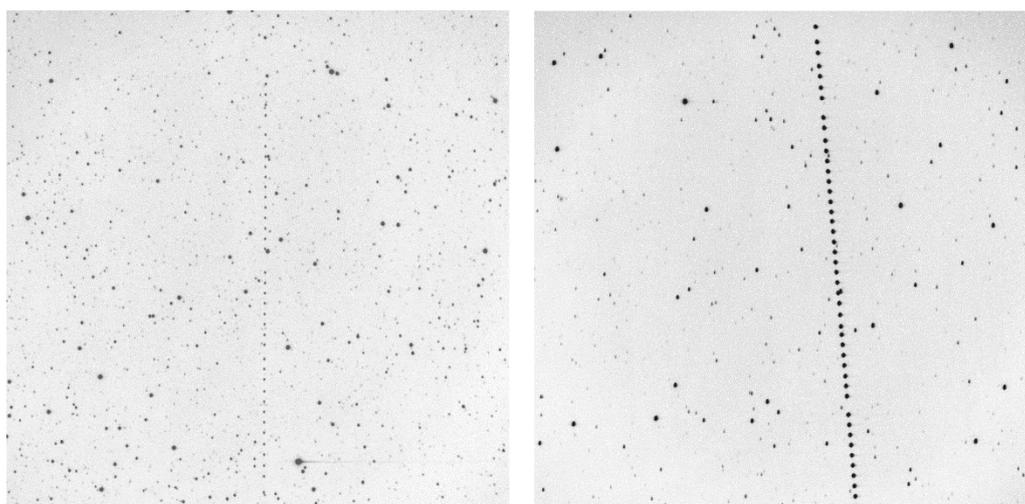


Рисунок 6 - Комбинированные снимки с «Казсат-3» (слева) и не идентифицированным объектом (справа), полученные на EMCCD Andor iXon Ultra-888. Каждый кадр получен с экспозицией 0.5 сек., коэффициент усиления сигнала - 17 раз.

В заключении нужно отметить, что разработка оптических систем того же типа, что установлена на обсерватории Ассы-Тургень, является одним из приоритетных направлений развития многих астрономических учреждений (см., например, [21]).

Работа выполнена в рамках проектов №0069/ГФ4 и №003-1/ПЦФ-15-АКМИР Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Molotov I. E., Agapov V. M., Krugly Y. N., Elenin L. V. ASPIN – Asteroid Research Project of the ISON Optical Network // in: Asteroids, Comets, Meteors 2012, Vol. 1667 of LPI Contributions, p. 6408.

[2] Stokes G. H., Evans J. B., Vighh H. E. M., Shelly F. C., Pearce E. C. Lincoln Near-Earth Asteroid Program (LINEAR) // ICARUS 2000, V.148 p. 21–28.

[3] Mackay C., Basden A., Bridgeland M. Astronomical imaging with L3CCDs: detector performance and high-speed controller design // in: J. D. Garnett, J. W. Beletic (Eds.), Optical and Infrared Detectors for Astronomy 2004, Vol. 5499 of Proceedings of the SPIE, pp. 203–209.

[4] Law N. M., Mackay C. D., Baldwin J. E. Lucky imaging: high angular resolution imaging in the visible from the ground // Astronomy and Astrophysics 2006, V.446, p.739–745.

[5] Grundahl F., Kjeldsen H., Frandsen S., Andersen M., Bedding T., Arentoft T., Christensen-Dalsgaard J. SONG: Stellar Oscillations Network Group. A global network of small telescopes for asteroseismology and planet searches // Memorie della Societa Astronomica Italiana 2006, V.77, p.458.

[6] Grundahl F., Christensen-Dalsgaard J., Kjeldsen H., Jørgensen U. G., Arentoft T., Frandsen S., Kjærgaard P. The Stellar Observations Network Group - the Prototype // in: M. Dikpati, T. Arentoft, I. Gonz'alez Hern'andez, C. Lindsey, F. Hill (Eds.), Solar-Stellar Dynamos as Revealed by Helio- and Asteroseismology: GONG 2008/SOHO 21, 2009, V. 416 of Astronomical Society of the Pacific Conference Series, p. 579.

[7] Grundahl F., Christensen-Dalsgaard J., Pall'e P. L., Andersen M. F., Frandsen S., Harpsøe K., Jørgensen U. G., Kjeldsen H., Rasmussen P. K., Skottfelt J., Sørensen A. N., Hage A. T. Stellar Observations Network Group: The prototype is nearly ready // in: J. A. Guzik, W. J. Chaplin, G. Handler, A. Pigulski (Eds.), Precision Asteroseismology, 2014, V. 301 of IAU Symposium, pp. 69–75.

[8] Dominik M., Jørgensen U. G., Rattenbury N. J., Mathiasen M., Hinse T. C., Calchi Novati S., Harpsøe K., Bozza V., Anguita T., Burgdorf M. J., Horne K., Hundertmark M., Kerins E., Kjærgaard P., Liebig C., Mancini L., Masi G., Rahvar S., Ricci D., Scarpetta G., Snodgrass C., Southworth J., Street R. A., Surdej J., Th'one C. C., Tsapras Y., Wambsganss J., Zub M., Realisation of a fully-deterministic microlensing observing strategy for inferring planet populations // Astronomische Nachrichten 2010, V.331, p.671.

[9] Mackay C. D., Tubbs R. N., Bell R., Burt D. J., Jerram P., Moody I. Subelectron read noise at MHz pixel rates // in: M. M. Blouke, J. Canosa, N. Sampat (Eds.), Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications II 2001, V. 4306 of Proceedings of the SPIE, pp. 289–298.

[10] Basden A. G., Haniff C. A. Low light level CCDs and visibility parameter estimation // MNRAS 2004, V.347, pp.1187–1197.

[11] Basden A., Tubbs B., Mackay C., L3CCD's: Low Readout Noise CCDs in Astronomy // in: P. Amico, J. W. Beletic, J. E. Beletic (Eds.), Scientific Detectors for Astronomy, The Beginning of a New Era 2004, V.300 of Astrophysics and Space Science Library, pp. 599–602.

[12] Basden A., Mackay C., Hani C. L3CCDs: Fast Photon Counting for Optical Interferometry // in: P. Amico, J. W. Beletic, J. E. Beletic (Eds.), Scientific Detectors for Astronomy, The Beginning of a New Era 2004, V. 300 of Astrophysics and Space Science Library, pp. 593–597.

[13] Harpsøe K. B. W., Andersen M. I., Kjærgaard P. Bayesian photon counting with electron-multiplying charge coupled devices (EMCCDs) // Astronomy and Astrophysics 2012, V.537, A50.

[14] Harpsøe K. B. W., Jørgensen U. G., Andersen M. I., Grundahl F. High frame rate imaging based photometry. Photometric reduction of data from electron-multiplying charge coupled devices (EMCCDs) // Astronomy and Astrophysics 2012, V.542, A23.

[15] Skottfelt J., Bramich D. M., Hundertmark M., Jørgensen U. G., Michaelsen N., Kjærgaard P., Southworth J., Sørensen A. N., Andersen M. F., Andersen M. I., Christensen-Dalsgaard J., Frandsen S., Grundahl F., Harpsøe K. B. W., Kjeldsen H., Pall'e P. L. The two-colour EMCCD instrument for the Danish 1.54 m telescope and SONG // Astronomy and Astrophysics 2015, V.574, A54.

[16] Skottfelt J., Bramich D. M., Figuera Jaimes R., Jørgensen U. G., Kains N., Arellano Ferro A., Alsubai K. A., Bozza V., Calchi Novati S., Ciceri S., D'Agò G., Dominik M., Galianni P., Gu S.-H., Harpsøe K. B. W., Haugbølle T., Hinse T. C., Hundertmark M., Juncher D., Korhonen H., Liebig C., Mancini L., Popovas A., Rabus M., Rahvar S., Scarpetta G., Schmidt R. W., Snodgrass C., Southworth J., Starkey D., Street R. A., Surdej J., Wang X.-B., Wertz O. (The Mindstep Consortium). Searching for variable stars in the cores of five metal-rich globular clusters using EMCCD observations // Astronomy and Astrophysics 2015, V.573, A103.

[17] Серебрянский А.В., Кругов М.А., Рева И.В., Демченко Б.И., Комаров А.А., Усольцева Л.А. Результаты наблюдений геостационарных спутников в Тянь-шанской и Ассы-Тургеньской обсерваториях в 2016 г., настоящий сборник.

[18] G. Csépany, P. Ábrahám, Zs. Regály, Gy. Mezö, W. Brander, F. Hornmuth, Examining young stellar systems in birth by high angular resolution observations // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso 2014, v.43, pp. 425-426.

- [19] R. Gili, J.-L. Prieur, J.-P. Rivet, F. Vakili, L. Koechlin, D. Bonneau, PISCO2: the new speckle camera for the Nice 76-cm refractor // *The Observatory* 2014, V.134, pp. 267-273
- [20] F. Bennet, I. Price, F. Rigaut, M. Copeland, Satellite imaging with adaptive optics on a 1 m telescope // *Proceedings of the AMO and SST Conference 2016*, id.62.
- [21] S.Cuevas, R. Langarica, A. M. Watson, J. Fuetes-Fernández et al., System design of COATLI: an all-sky robotic optical imager with 0.3 arcsec image quality // *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI 2016*, Vol. 9908, 99085Q, doi: 10.1117/12.2234200

REFERENCES

- [1] I. E. Molotov, V. M. Agapov, Y. N. Krugly, L. V. Elenin, ASPIN – Asteroid Research Project of the ISON Optical Network, in: *Asteroids, Comets, Meteors 2012*, Vol. 1667 of LPI Contributions, 2012, p. 6408.
- [2] G. H. Stokes, J. B. Evans, H. E. M. Vigg, F. C. Shelly, E. C. Pearce, Lincoln Near-Earth Asteroid Program (LINEAR), *ICARUS* 148 (2000) 21–28. doi:10.1006/icar.2000.6493.
- [3] C. Mackay, A. Basden, M. Bridgeland, Astronomical imaging with L3CCDs: detector performance and high-speed controller design, in: J. D. Garnett, J. W. Beletic (Eds.), *Optical and Infrared Detectors for Astronomy*, Vol. 5499 of *Proceedings of the SPIE*, 2004, pp. 203–209. doi:10.1117/12.550448.
- [4] N. M. Law, C. D. Mackay, J. E. Baldwin, Lucky imaging: high angular resolution imaging in the visible from the ground, *Astronomy and Astrophysics* 446 (2006) 739–745. arXiv:astro-ph/0507299, doi:10.1051/0004-6361:20053695.
- [5] F. Grundahl, H. Kjeldsen, S. Frandsen, M. Andersen, T. Bedding, T. Arentoft, J. Christensen-Dalsgaard, SONG: Stellar Oscillations Network Group. A global network of small telescopes for asteroseismology and planet searches., *Memorie della Societ`a Astronomica Italiana* 77 (2006), 458.
- [6] F. Grundahl, J. Christensen-Dalsgaard, H. Kjeldsen, U. G. Jørgensen, T. Arentoft, S. Frandsen, P. Kjærgaard, The Stellar Observations Network Group - the Prototype, in: M. Dikpati, T. Arentoft, I. González Hernández, C. Lindsey, F. Hill (Eds.), *Solar-Stellar Dynamos as Revealed by Helio- and Asteroseismology: GONG 2008/SOHO 21*, Vol. 416 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 2009, p. 579. arXiv:0908.0436.
- [7] F. Grundahl, J. Christensen-Dalsgaard, P. L. Pallé, M. F. Andersen, S. Frandsen, K. Harpsøe, U. G. Jørgensen, H. Kjeldsen, P. K. Rasmussen, J. Skottfelt, A. N. Sørensen, A. T. Hage, Stellar Observations Network Group: The prototype is nearly ready, in: J. A. Guzik, W. J. Chaplin, G. Handler, A. Pigulski (Eds.), *Precision Asteroseismology*, Vol. 301 of *IAU Symposium*, 2014, pp. 69–75. doi:10.1017/S1743921313014117.
- [8] M. Dominik, U. G. Jørgensen, N. J. Rattenbury, M. Mathiasen, T. C. Hinse, S. Calchi Novati, K. Harpsøe, V. Bozza, T. Anguita, M. J. Burgdorf, K. Horne, M. Hundertmark, E. Kerins, P. Kjærgaard, C. Liebig, L. Mancini, G. Masi, S. Rahvar, D. Ricci, G. Scarpetta, C. Snodgrass, J. Southworth, R. A. Street, J. Surdej, C. C. Thone, Y. Tsapras, J. Wambsganss, M. Zub, Realisation of a fully-deterministic microlensing observing strategy for inferring planet populations, *Astronomische Nachrichten* 331 (2010) 671, doi:10.1002/asna.201011400.
- [9] C. D. Mackay, R. N. Tubbs, R. Bell, D. J. Burt, P. Jerram, I. Moody, Subelectron read noise at MHz pixel rates, in: M. M. Blouke, J. Canosa, N. Sampat (Eds.), *Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications II*, Vol. 4306 of *Proceedings of the SPIE*, 2001, pp. 289–298. arXiv:astro-ph/0101409, doi:10.1117/12.426988.
- [10] A. G. Basden, C. A. Haniff, Low light level CCDs and visibility parameter estimation, *MNRAS* 347 (2004) 1187–1197. arXiv:astro-ph/0310407, doi:10.1111/j.1365-2966.2004.07283.x.
- [11] A. Basden, B. Tubbs, C. Mackay, L3CCD's: Low Readout Noise CCDs in Astronomy, in: P. Amico, J. W. Beletic, J. E. Beletic (Eds.), *Scientific Detectors for Astronomy, The Beginning of a New Era*, Vol. 300 of *Astrophysics and Space Science Library*, 2004, pp. 599–602. doi:10.1007/978-1-4020-2527-3_81.
- [12] A. Basden, C. Mackay, C. Haniff, L3CCDs: Fast Photon Counting for Optical Interferometry, in: P. Amico, J. W. Beletic, J. E. Beletic (Eds.), *Scientific Detectors for Astronomy, The Beginning of a New Era*, Vol. 300 of *Astrophysics and Space Science Library*, 2004, pp. 593–597. doi:10.1007/978-1-4020-2527-3_80.
- [13] K. B. W. Harpsøe, M. I. Andersen, P. Kjærgaard, Bayesian photon counting with electron-multiplying charge coupled devices (EMCCDs), *Astronomy and Astrophysics* 537 (2012) A50. arXiv:1111.2066, doi:10.1051/0004-6361/201117089.
- [14] K. B. W. Harpsøe, U. G. Jørgensen, M. I. Andersen, F. Grundahl, High frame rate imaging based photometry. Photometric reduction of data from electron-multiplying charge coupled devices (EMCCDs), *Astronomy and Astrophysics* 542 (2012) A23. arXiv:1202.3814, doi:10.1051/0004-6361/201219059.
- [15] J. Skottfelt, D. M. Bramich, M. Hundertmark, U. G. Jørgensen, N. Michaelsen, P. Kjærgaard, J. Southworth, A. N. Sørensen, M. F. Andersen, M. I. Andersen, J. Christensen-Dalsgaard, S. Frandsen, F. Grundahl, K. B. W. Harpsøe, H. Kjeldsen, P. L. Pallé, The two-colour EMCCD instrument for the Danish 1.54 m telescope and SONG, *Astronomy and Astrophysics* 574 (2015) A54. arXiv:1411.7401, doi:10.1051/0004-6361/201425260.
- [16] J. Skottfelt, D. M. Bramich, R. Figuera Jaimes, U. G. Jørgensen, N. Kains, A. Arellano Ferro, K. A. Alsubai, V. Bozza, S. Calchi Novati, S. Ciceri, G. D'Agó, M. Dominik, P. Galianni, S.-H. Gu, K. B. W. Harpsøe, T. Haugbølle, T. C. Hinse, M. Hundertmark, D. Juncher, H. Korhonen, C. Liebig, L. Mancini, A. Popovas, M. Rabus, S. Rahvar, G. Scarpetta, R. W. Schmidt, C. Snodgrass, J. Southworth, D. Starkey, R. A. Street, J. Surdej, X.-B. Wang, O. Wertz (The Mindstep Consortium), Searching for variable stars in the cores of five metal-rich globular clusters using EMCCD observations, *Astronomy and Astrophysics* 573 (2015) A103. arXiv:1410.8827, doi:10.1051/0004-6361/201424967.
- [17] A.V. Serebryansky, M.A. Krugov, I.V. Reva, B. I. Demchenko, A. A. Komarov, L. A. Usoltseva. The Results of Observations of Geostationary Satellites at Tien- Shan and Assy- Turgen Astronomical Observatory in 2016 Year. – present volume.

[18] G. Csépany, P. Ábrahám, Zs. Regály, Gy. Mezö, W. Brander, F. Hormuth, Examining young stellar systems in birth by high angular resolution observations // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso 2014, v.43, pp. 425-426

[19] R. Gili, J.-L. Prieur, J.-P. Rivet, F. Vakili, L. Koechlin, D. Bonneau, PISCO2: the new speckle camera for the Nice 76-cm refractor // The Observatory 2014, V.134, pp. 267-273

[20] F. Bennet, I. Price, F. Rigaut, M. Copeland, Satellite imaging with adaptive optics on a 1 m telescope // Proceedings of the AMO and SST Conference 2016, id.62

[21] S.Cuevas, R. Langarica, A. M. Watson, J. Fuetes-Fernández et al., System design of COATLI: an all-sky robotic optical imager with 0.3 arcsec image quality // Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI 2016, Vol. 9908, 99085Q, doi: 10.1117/12.2234200

ӘОЖ: 523.62

**А.В. Серебрянский, М.А. Кругов, Р.Р. Валиуллин,
А.А. Комаров, Б.И. Демченко, Л.А. Усольцева, Ч. Акниязов**

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы қ., Қазақстан

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АССЫ-ТҮРГЕН ОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ ЖАҢА ОПТИКАЛЫҚ КЕШЕНІ

Аннотация. Асси-Түрген (Қазақстан Республикасы) обсерваториясын орнатылған оптикалық кешенінің сипаттамасы. Бұл кешенде белсенді және пассивті нысандар астрометрикалық және фотометриялық бақылаулар шағын ғарыштық қоқыс, оның ішінде геотұрақты орбитада белсенді және пассивті объектілеріне арналған. Бұл кешен Жер үшін ықтимал қауіпті, (астероиды және комет қоса алғанда) объектілерді іздеу, анықтау және бақылау үшін пайдалануға болады. Негізгі құраушылары - RC500 телескоп Ritchey-Кретьен жүйесі, заманауи CCD-камера Andor iXon Ultra-888 және телескоп жұмысын бақылауға бағдарламалық қамтамасыз ету, ақпаратты жинау және өңдеу. Мақалада берілген кешенде жүргізілген сынақ бақылаулар нәтижелері ұсынылды.

Түйін сөздер: телескоптар, CCD, астрономиялық бақылаулар, геотұрақты серіктер.

Сведения об авторах:

Серебрянский Александр Владимирович, зав. сектором наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 383 49 52, alex@aphi.kz;

Кругов Максим Анатольевич, инженер сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, mkrugov@aphi.kz;

Валиуллин Рашид Равилевич, и.о. директора ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова». Адрес: 050020, г. Алматы, Медеуский район, Каменское плато, Обсерватория, 23. Тел. 260-86-39, факс. 260 75 90, valirash@gmail.com;

Комаров Андрей Анатольевич, СНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС, ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, факс. 260 75 90, komarov@aphi.kz;

Демченко Борис Иванович, СНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова». Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 260 86 93, факс. 260 75 90, demchenko@aphi.kz;

Усольцева Любовь Александровна, ВНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова». Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 260 87 95, факс. 260 75 90, usoltseva@aphi.kz;

Акниязов Чингиз Бахатович, инженер сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, факс. 260 75 90, akniyazov@aphi.kz

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 74 – 80

**B. I. Demchenko, A. A. Komarov, M.A. Krugov,
I.V. Reva, A.V. Serebryansky, L. A. Usoltseva**

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
E-mail: demchenko@aphi.kz, komarov@aphi.kz, mkrugov@aphi.kz,
reva@aphi.kz, alex@aphi.kz, usoltseva@aphi.kz

RESULTS OF OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES AT TIEN SHAN AND ASSY- TURGEN ASTRONOMICAL OBSERVATORY IN 2016

Abstract. A brief description of the equipment, methods of obtaining and processing of geostationary satellites observations used in two observatories of Fesenkov Astrophysical Institute is given. In 2016 we held the support of Kazakhstan communication satellites KazSat-2 and KazSat-3, as well as objects potentially dangerous for them and the GSS', information about which is outdated in our catalogue. The results of the work are provided.

Key words: Geostationary satellite, methods of observations, CCD camera.

УДК 520.88 +523.4 4 + 629.78

**Б.И. Демченко, А. А. Комаров, М. А. Кругов,
И. В. Рева, А. В. Серебрянский, Л. А. Усольцева**

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

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ В ТЯНЬ-ШАНСКОЙ И АССЫ-ТУРГЕНЬСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЯХ В 2016 г.

Аннотация. Дано краткое описание используемой аппаратуры и методик получения и обработки наблюдений геостационарных спутников на двух обсерваториях Астрофизического института. В 2016г. Проводилось сопровождение казахстанских спутников связи Казсат-2 и Казсат-3, объектов, потенциально опасных для них, и тех ГСС, информация о которых в нашем каталоге устарела. Приведены результаты работ.

Ключевые слова: геостационарный спутник, методика наблюдений, ПЗС-матрица.

Проведенные исследования являются продолжением наших работ, связанных с сопровождением активных и пассивных геостационарных спутников (ГСС), созданием программных комплексов для разной комплектации автоматизированных систем по приему и обработке координатной и фотометрической информации. В настоящее время оптические наблюдения ГСС проводятся в Тянь-Шаньской и Ассы-Тургенской обсерваториях Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова.

1. Результаты наблюдений ГСС в Тянь-Шаньской астрономической обсерватории (ТШАО)

С 2012 г. наблюдения ГСС проводятся на телескопе «Цейсс–1000» с ПЗС-камерой Arroye Alta U9000D9, [1]. Основные параметры системы: диаметр главного зеркала телескопа $D = 1000$ мм, относительное фокусное расстояние $F = 6580$ мм, поле зрения $19'.5 \times 19'.5$, масштаб $0''.38/\text{пиксель}$. Набор светофильтров реализует систему, близкую к стандартной фотометрической системе BVR, [2]. При проведении наблюдений ГСС используется режим с выключенным часовым механизмом

телескопа (определение координат и оценка звездных величин) и с включенным часовым ведением (оценка периодов изменения яркости).

Подробные сведения о пункте наблюдений (ПН) в ТШАО (геодезические и геоцентрические координаты, диаграмма закрытости горизонта, условия наблюдений геостационарных спутников и др.) приведены в нашей работе [3]. Там же показано, что в любой момент времени общее количество каталогизированных ГСС, попадающих в зону обзора ПН, превышает 600. Качественные наблюдения всех этих объектов с одного пункта нереальны, поэтому программа работ 2016 г. предусматривала сопровождение отечественных спутников KazSat-2, KazSat-3 и тех ГСС, которые с большой вероятностью способны приближаться к ним на опасное расстояние. В этот список из текущего каталога были включены 9 отождествленных неуправляемых либрационных спутников класса L1, и два объекта, которые в настоящее время неопознаны, но информация о них есть в нашем каталоге. Все эти ГСС представляют собой космический мусор, имеют малый дрейф по долготе, небольшие наклоны, эксцентриситеты и движутся практически по орбите корректируемых аппаратов, что повышает вероятность опасных сближений. При планировании наблюдений учитывались условия видимости и необходимость регулярного обновления текущего каталога ГСС.

Получаемая информация включает в себя экваториальные координаты, текущие параметры орбит, средние звездные величины и периоды изменения блеска сопровождаемых объектов.

Предварительная обработка CCD-изображений проводилась программами специализированного пакета для анализа астрономических данных IRAF (Image Reduction and Analysis Facility). Координатная информация получена с применением методики, разработанной в нашем институте [4], и специализированного пакета «Апекс-2» [5], (http://lfvn.astronomer.ru/instr/apex_2_2/). Для определения параметров связи между наблюдаемыми прямоугольными координатами в CCD-кадре (x, y) и угловыми экваториальными координатами на небе (α, δ) использовался устойчивый вариант 6-параметрического метода Тернера [6]. В качестве звездного каталога – созданный у нас компактный вариант каталога ГУСНО-2 объемом 25 мбайт. Средняя квадратическая ошибка определения экваториальных координат не превышает 2" по прямому восхождению и 1" - по склонению.

При вычислении параметров орбит применялся устойчивый алгоритм, ориентированный на наблюдения именно геостационарных спутников, его основы изложены в работе [7].

В течение 2016 г. проведены три цикла наблюдений, выполнена обработка и анализ полученных сведений. Параметры орбит сопровождаемых ГСС, их звездные величины и периоды изменения блеска приведены в Таблицах 1-3 для каждого из сеансов. Используемые обозначения: e, i – эксцентриситет и наклон плоскости орбиты к плоскости экватора; Корр. – корректируемый (управляемый) ГСС; Дрейф. – дрейфующий ГСС; $P_{\text{либр}}, A_{\text{либр}}$ – период и амплитуда либрации (только для либрационных ГСС); ДВУ – долгота восходящего узла; АРГП – аргумент перигея; m – звездная величина; P_m – основной период изменения блеска. Объекты с условными номерами NORAD более 60000 неотожествлены, но их орбитальная информация есть в нашем Каталоге.

Таблица 1 - Результаты анализа сеанса наблюдений в феврале 2016 г.

номер NORAD	Название	e	i	$P_{\text{либр}}$ (сутки)	$A_{\text{либр}}$ (град)	Полуось (км)	ДВУ (град.)	АРГП (град.)	m	P_m (сек)
20836	Blok DM	0,00200	10°00'	913,9	45,4	42155,97	312,88	165.0	13.7	17.0
8357	Kosmos-775	0,00101	10°55'	868,7	39,5	42171,59	316,06	0.9	12.8	1.5
11648	Gorizont	0,00128	13°36'	830,3	33,3	42146,26	330,02	139.7	13	12
37749	Kazsat-2	0,00013	0°08'	Корр.	---	42162,80	214,76	249,2	11.9	---
28139	Blok DM-2M	0,00175	9°59'	796,5	26,2	42147,96	42,57	198.3	13.0	11.0
12309	Comstar D-4	0,00040	14°31'	746,6	6,2	42166,51	346,50	274.1	11.1	23.9
9416	Raduga	0,00289	11°53'	752,7	10,9	42163,66	319,80	280.65	13.5	13.0
10365	Ekran	0,00375	12°30'	799,8	27,0	42178,11	322,64	266.8	12.2	31.0
39728	Kazsat-3	0,00004	0°02'	Корр.	---	42164,11	81,41	233,6	10.2	---
65245	Неизвестный	0,00039	4°54'	Дрейф.	---	42404,72	329,06	154,2	8,7	---

Цель февральского сеанса – обновление текущего каталога ГСС и определение основного периода изменения блеска некоторых спутников. При проведении наблюдений был обнаружен объект (условный номер 65245). Расчеты показали, что скорость его дрейфа – 3.1 °/сутки на запад (класс D1), положение плоскости орбиты нетипичное. Он имеет большую яркость $M=8^m.7$ (следовательно, большую энергетику). По совокупности характеристик, исходя из предшествующего опыта наблюдений, можно предположить, что это разведывательный спутник США, находящийся на переходной орбите и в ближайшее время должен быть остановлен на некоторой долготе.

В следующем, июньском, сеансе 65245 – корректируемый объект класса C1 с точкой стояния $\lambda = 75^\circ$. Расчеты показывают, что он был остановлен 26-27 февраля 2016г. Еще один сопровождаемый ГСС (условный номер 65210) имел постоянную яркость, $m \approx 12^m$. Но в самом конце наблюдений были зарегистрированы резкие вспышки с периодом более 40 сек. Скорее всего, это эффект зеркального отражения от панелей солнечных батарей при вращении спутника.

Таблица 2 - Результаты обработки наблюдений, проведенных в июне 2016 г.

номер NORAD	Название	<i>e</i>	<i>i</i>	$R_{\text{либр}}$	$A_{\text{либ}}$	Полуось	ДВУ	АРГП	<i>m</i>
37749	Kazsat-2	0,00006	0°02'	Корр.	---	42164,75	271,90	73,1	11,7
65210	Неизвестный	0,00025	3°18'	1234,1	68,5	42154,50	75,51	116,7	12,3
27554	Eutelsat-W5	0,00094	0°36'	1033,0	56,7	42145,45	88,30	230,7	12,8
28094	Yamal-201	0,00019	1°31'	767,7	17,8	42164,67	80,76	214,6	12,7
65245	Неизвестный	0,00544	4°47'	Корр.	---	42164,68	329,35	3,5	9,0
39728	Kazsat-3	0,00001	0°02'	Корр.	---	42165,37	36,25	285,1	11,7
26638	Astra-2D	0,00022	2°56'	768,0	17,9	42165,54	71,30	24,9	13,8
24957	NSS-5	0,00036	3°07'	790,2	24,6	42164,99	70,80	4,3	11,3
33463	Feng Yun 2E	0,00029	1°30'	757,6	13,6	42165,32	61,78	187,7	12,9

В конце июля 2016 г. проведены наблюдения 20 ГСС и получено более 300 ПЗС-изображений в режиме выключенного часового ведения телескопа. Цель наблюдений – обновление орбитальных параметров по некоторым приоритетным объектам, а также по тем ГСС, информация для которых в текущем каталоге устарела. Из 20-ти наблюдавшихся объектов 13.– космический мусор.

Таблица 3 - Результаты анализа сеанса наблюдений в июле 2016 г.

Номер NORAD	Название	<i>e</i>	<i>i</i>	$R_{\text{либр}}$	$A_{\text{либ}}$	Полуось	ДВУ	АРГП	<i>m</i>
24957	NSS 5	0.00038	3°13'	790.2	24.6	42163.36	71.00	58.1	11.3
25404	SINOSAT 1	0.00122	3°48'	Дрейф.	---	42474.78	67.71	135.3	12.4
25558	SATMEX 5	0.00034	2°32'	Дрейф.	---	42606.00	75.35	28.8	12.1
25922	GALAXY 27)	0.00054	2°33'	Дрейф.	---	42164.78	73.38	90.6	10.9
26369	EUTE 36A	0.00014	0°21'	Корр.	---	42115.81	78.42	82.8	11.3
26638	ASTRA 2D	0.00022	3°02'	768.0	17.9	42164.98	71.56	72.6	13.8
27554	EUTE 25C	0.00080	0°43'	1033.0	56.7	42165.57	89.17	217.9	12.7
27632	NIMIQ 2	0.00085	1°20'	Дрейф.	---	42382.80	83.61	321.6	10.3
28094	YAMAL 201	0.00024	1°38'	767.7	17.8	42168.07	81.25	157.5	12.7
30323	BEIDOU 1D	0.00602	1°41'	Дрейф.	---	42482.82	89.09	175.7	13.0
33463	FENGYUN 2E	0.00040	1°35'	757.6	13.6	42163.08	63.50	188.4	12.9
36032	NSS-12	0.00025	0°02'	Корр.	---	42165.88	351.48	121.8	11.2
37344	ELEKTRO-L 1	0.00349	1°48'	Дрейф.	---	42323.13	79.16	80.6	12.0
37749	Kazsat-2	0.00008	0°02'	Корр.	---	42164.89	214,76	249,2	11,7
37950	AMOS-5	0.00040	0°31'	Корр.	---	42135.65	90.44	12.8	12.7
39728	Kazsat-3	0.00007	0°02'	Корр.	---	42166.07	81,41	233,6	10,2
40896	BLOCK DM SL R/B	0.00998	0°41'	Дрейф.	---	42626.25	85.62	53.6	11.4
65245	Неизвестный	0.00527	4°43'	Корр.	---	42165.82	329.62	2.5	9.1
65241	Неизвестный	0.00154	0°06'	Корр.	---	42170.65	36.94	340.7	10.4
61025	Неизвестный	0.03967	0°59'	Дрейф.	---	41635.52	61.17	58.8	16.2

В этом сеансе 65245 по-прежнему ведет себя как корректируемый ГСС класса C1 на долготе 75° . Ниже на рисунке 1 показано положение плоскости орбиты этого объекта на фоне эволюционной диаграммы «наклон-узел». Короткая дуга, соединенная с плоскостью Лапласа прямой линией, показывает эволюцию плоскости орбиты для ГСС 65245 за небольшой промежуток времени наших наблюдений (около полугода, или менее 1% от полного оборота).

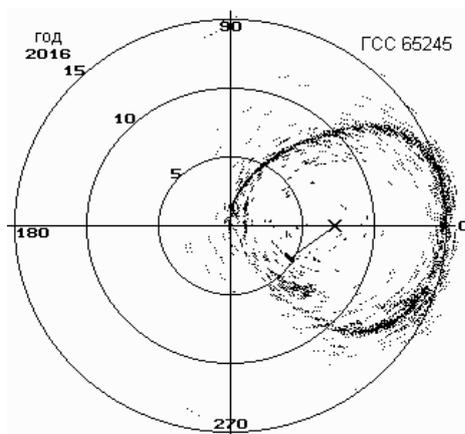


Рисунок 1 - Эволюционная диаграмма «наклон-узел» за 2016 г. положение на ее фоне плоскости орбиты для ГСС 65245

Из рисунка можно понять, что плоскость орбиты ГСС 65245 никогда не совпадет с плоскостью экватора. Наклон его орбиты к экватору будет меняться примерно от 4° до 11° , а долгота восходящего узла не выйдет за границы $\pm 45^\circ$. Второй характерный либрационный объект 65210 имеет амплитуду либрации более 60° (см. таблицу 2), и в июльском сеансе находился вне зоны видимости ПН.

Полученные данные внесены в Зональный каталог ГСС. На середину 2016 г. каталог содержал орбитальную и иную информацию для 1782 объектов. При дополнении и обновлении каталога ГСС использовались собственные наблюдения, а также данные из внешних источников: [<http://spacedata.vimpel.ru/ru/>]; [<http://www.planet4589.org/space/log/geo.log>]; [<http://celestrak.com/NORAD/elements/geo.txt>].

В таблице 4 показана статистика заполнения геостационарной зоны на основе указанных каталогов ГСС на разные даты в интервале 2011-2016гг.

Обозначения, используемые в Таблице 4: Date – средняя дата каталога (year = год, mm = месяц, dd = день); Nsum – общее количество геостационарных объектов в каталоге; Corr – кол-во корректируемых ГСС (C0 – коррекция в экваторе, C1 – коррекция в орбите); Libr – кол-во либрационных ГСС (L1 – в точке 75° , L2 – в точке 255°); Drift – кол-во дрейфующих ГСС (D1 – дрейф с востока на запад, D2 – дрейф с запада на восток).

Таблица 4- Некоторые статистические параметры каталогов ГСС на разные даты

Date year mm dd	Nsum	Corr		Libr		Drift	
		C0	C1	L1	L2	D1	D2
2011 01 24	1395	270	124	140	48	523	290
2012 03 11	1520	283	121	150	58	578	330
2013 01 29	1600	285	132	160	55	609	359
2014 01 20	1562	292	136	157	57	582	338
2015 02 25	1621	306	138	150	51	618	358
2016 01 24	1726	320	140	158	58	660	390
2016 05 03	1762	323	144	160	59	670	406
2016 07 21	1782	331	142	159	50	676	424

При интерпретации данных таблицы 4 надо иметь в виду, что орбита любого активного ГСС может быть скорректирована. Типичный пример – объект 65245, переведенный из дрейфующего

класса D1 в корректируемый C1. Кроме того, в каталоги ГСС иногда включаются объекты, которые не относятся к стационарам, но способны проходить вблизи геостационарной области. Из таблицы 4 видно, что суммарное количество объектов в Каталоге постоянно возрастает. Для сравнения, в конце 2000 г. наш Каталог содержал информацию о 831 объекте, за 16 лет их количество возросло более чем в 2 раза. В 2016 г. за первые полгода количество каталогизированных ГСС увеличилось на 56 объектов, из них 13 - новые корректируемые ГСС, 43 объекта - это космический мусор (новые либрационные и дрейфующие).

2. Результаты наблюдения ГСС в обсерватории Ассы-Тургень

Оптический комплекс для поиска и сопровождения ГСС в Ассы-Тургеньской обсерватории базируется на телескопе ASTROSIB RC500 с высокочувствительной инновационной ПЗС-камерой EMCCD iXon Ultra-888 компании Andor. Важные преимущества данной камеры перед Alta U9000D9 Тянь-Шаньской обсерватории – высокая чувствительность (до одного фотона), т.е. возможность обнаруживать слабые объекты; высокая скорость считывания изображений (26 изображений в секунду при размере кадра 1024×1024 пикселей); высокая квантовая эффективность в широком диапазоне длин волн; охлаждение до -95°C .

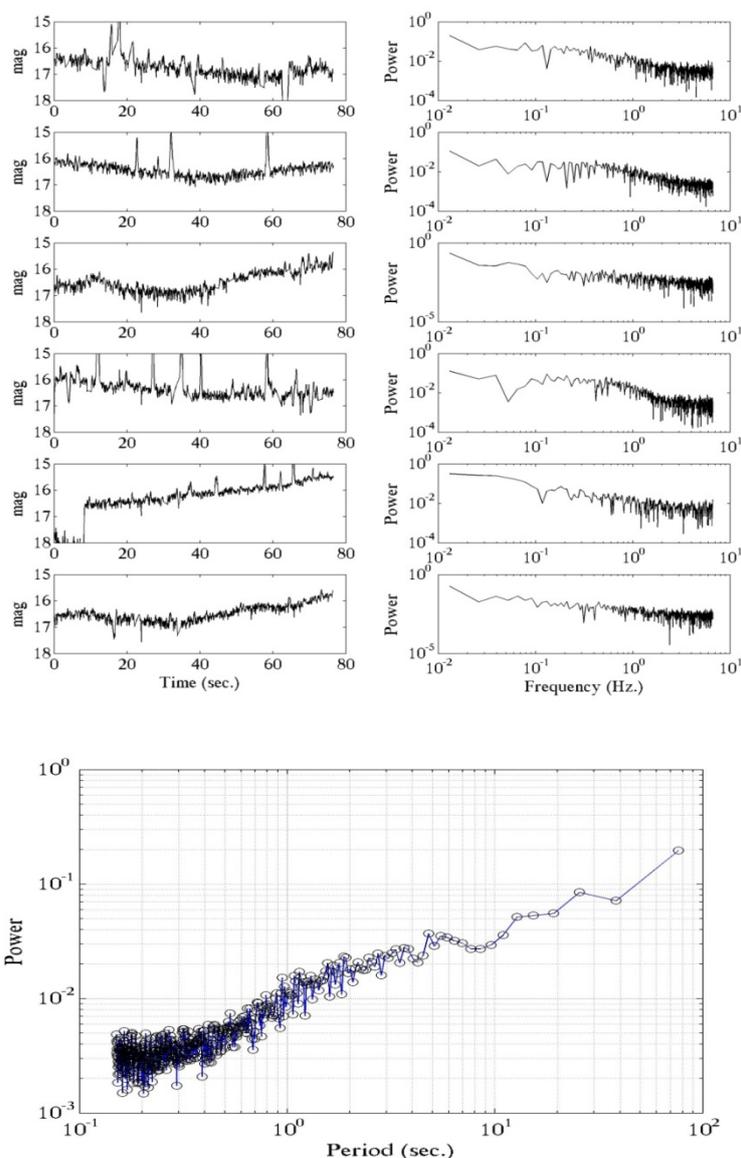


Рисунок 2 - Кривые блеска (вверху) и усредненный спектр мощности ГСС 10365

Подробное описание всей системы и ее отдельных блоков дано в статье [8] настоящего сборника. Для поиска и сопровождения объектов, как и в ТШАО, здесь используются две основные методики. Первая – с выключенным часовым ведением телескопа для накопления фотонов от слабых ГСС, при этом звезды растягиваются в треки. Вторая – с включенным часовым ведением, при этом изображение ГСС растягивается в трек по полю.

Предварительная обработка ПЗС-изображений может осуществляться в двух режимах: в среде IRAF и/или в пакете Апекс-2. Последующая фотометрическая и астрометрическая обработка осуществляется в среде IRAF с использованием разработанного у нас ПО, которое было адаптировано под операционные системы Windows-7 и Linux.

Тестовые наблюдения рассеянных звездных скоплений и нескольких ГСС, показали, что установленная система достаточно эффективна при получении информации для слабых и быстро меняющих свой блеск объектов, [8]. Скорость считывания может быть доведена до 700 кадров в секунду при размерах участка в ПЗС-кадре 128×128 пикселей. При высокой чувствительности системы и быстром считывании можно получать изображения ГСС с малыми экспозициями. Адаптированная методика проведения и анализа трековых наблюдений позволяет, в частности, оценить вариации блеска объекта, определить их период и амплитуду непосредственно из одиночных кадров, то есть получить динамические характеристики ГСС. Такой режим обработки значительно упрощает процедуру получения информации.

В 2016 г. на Ассы-Тургеньской обсерватории проводились наблюдения ГСС (номера по Norad): 10365, 11648, 12309, 28139, 37749, 39728, 8357, 9416. Для всех объектов получены кривые блеска, на их основе построены спектры мощности и проведена оценка периодов и амплитуды изменения блеска. В качестве примера на рисунке 2 показаны кривые блеска и усредненный спектр мощности для ГСС 10365.

Работа выполнена в рамках проектов №0069/ГФ4 и №003-1/ПЦФ-15-АКМИР Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Диденко А.В., Демченко Б.И., Комаров А.А., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А. Предварительные результаты наблюдений ГСС на 1-м телескопе с ПЗС-матрицей // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2013. – №5. – С.117-121. 2013. № 4. 7 стр.
- [2] Диденко А.В., Усольцева Л.А. Список фотометрических стандартов для наблюдений малоразмерных фрагментов космического мусора и фотометрическая система 1-м телескопа с ПЗС-матрицей // Известия НАН РК. – 2015. – № 5. – С.109-115.
- [3] Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М. А., Рева И. В., Серебрянский А. В., Усольцева Л.А. Условия наблюдений геостационарных спутников на пункте Тянь-Шаньская астрономическая обсерватория // Известия НАН РК. – 2016. №4. – С.64-75.
- [4] Диденко А.В., Демченко Б.И., Нифонтов С.Г., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А. Программный комплекс обработки и анализа координатной и фотометрической информации о ГСС, используемый в АФИФ РК // V Международная научная конференция «Наблюдения околоземных космических объектов», 10-12 ноября 2011. – Звенигород, РФ. – <http://astronomer.ru/data/0054/didenko.pdf>.
- [5] Vladimir Kouprianov Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects // Advances in Space Research. – 2008. – V.41. – P. 1029-1038.
- [6] Демченко Б.И., Комаров А.А., Усольцева Л.А. Сравнительный анализ различных методов астрометрической обработки наблюдений ГСС на CCD-матрице с малым полем зрения // Известия НАН РК. – 2016. – №4. – С.129-134.
- [7] Демченко Б.И., Комаров А.А., Усольцева Л.А. Устойчивый метод определения орбит ГСС при недостатке данных // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. – 2016. – №3(58). – С. 121-124.
- [8] Серебрянский А. В., Кругов М.А., Валиуллин Р.Р., Комаров А.А., Демченко Б.И., Усольцева Л.А., Акниязов Ч.Б. Новый оптический комплекс на обсерватории Ассы-Тургень в Казахстане, настоящий сборник.

REFERENCES

- [1] Didenko A. V., Demchenko B. I., et al. The preliminary results of GSS' observations with 1-telescope and CCD camera // Proceedings of Kazakhstan National Academy of Sciences, series of phys- math. **2013**. №5. P.117-121. (in Russ).
- [2] Didenko A. V., Usoltzeva L. A. List of photometric standards for observing of optically faint GEO debris and photometric system of 1-m telescope with the CCD // Proceedings of Kazakhstan National Academy of Sciences, series of phys- math. **2015**. № 5. P.109-115.
- [3] Demchenko B. I., Komarov A. A., et al. Condition of observations of geostationary satellites at Tien Shan astronomical observatory // Proceedings of Kazakhstan National Academy of Sciences, series of phys- math. **2016**. №4. P.64-75.

[4] Didenko A.V, Demchenko B.I., Nifontov S.G., Nifontova M.V., Usoltseva L.A. The program complex of processing and analyzing of GSS's coordinate and photometric information used in V.G. Fessenkov Astrophysical Institute, RK // V International Scientific Conference "Observations of Near-Earth Space Objects", November 10-12, 2011

[5] Vladimir Kouprianov Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects // Advances in Space Research. 2008. V.41. P. 1029-1038.

[6] Demchenko B. I., Komarov A. A., et.al. Comparative analysis of several methods of astrometric processing of the GSS's observations using CCD-cameras with narrow field of view

// Proceedings of Kazakhstan National Academy of Sciences, series of phys- math. 2016. №4. P.129-134.

[7] Demchenko B. I., Komarov A. A., Usoltseva L.A The robust method for determining of GSS' orbits with a lack of data // Vestnik of Al-Farabi KazNU. 2016. №3(58) . P. 121-124.

[8] Serebryanskiy A., Krugov M., Valiullin R., Komarov A., Demchenko B., Usoltseva L., Akniyazov Ch. The new optical complex at Assy-Turgen observatory in Kazakhstan, present volume.

ӘОЖ: 520.88 +523.4 4 + 629.78

Б.И. Демченко, А. А. Комаров, М.А. Кругов, И.В. Рева, А.В. Серебрянский, Л. А. Усольцева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

2016 ЖЫЛЫ ТЯНЬ-ШАНЬ ЖӘНЕ АССЫ-ТҮРГЕН ОБСЕРВАТОРИЯЛАРЫНДА ГЕОСТАЦИОНАР СЕРІКТЕРДІ БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аннотация. Астрофизика институтының екі обсерваторияларындағы пайдаланылған аппаратураның және геостационар серіктер бақылауларының алу әдістерінің және өңдеулерінің қысқаша сипаттамасы берілді. 2016 жылы Казсат-2 және Казсат-3 қазақстандық байланыс серіктерінің олар үшін қауіпті, ГТС біздің каталогымызда олар жөніндегі ақпараттар ескірген объектілердің сүйемелдеулері жүргізілді. Жұмыстардың нәтижелері келтірілген.

Түйін сөздер: геостационар серік, бақылау әдістері, ЗБА-матрица.

Сведения об авторах:

Демченко Борис Иванович - СНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова». Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 260 86 93, факс. 260 75 90, demchenko@aphi.kz;

Комаров Андрей Анатольевич - СНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС, ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, факс. 260 75 90, komarov@aphi.kz;

Кругов Максим Анатольевич - инженер сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, mkrugov@aphi.kz;

Рева Инна Владимировна - инженер сектора наблюдений ИСЗ и ИС, ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23, факс. 260 75 90, reva@aphi.kz;

Серебрянский Александр Владимирович - зав. сектором наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 383 49 52, alex@aphi.kz;

Усольцева Любовь Александровна - ВНС сектора наблюдений ИСЗ и ИС ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова». Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23., т. 260 87 95, факс. 260 75 90, usoltseva@aphi.kz

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 81 – 89

UDK 524.335

L. Kondratyeva, F. Rspaev, M. Krugov

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
lu_kondr@mail.ru

SPECTRAL STUDY OF THE PLANETARY NEBULAE PC 12 AND M1-46

Abstract. This paper presents the results of spectral observations of two planetary nebulae PC 12 and M1-46, carried out in 1981 – 2016.. The long-term researches of these objects allow to reveal essential changes of their spectra. Thus the weakening of the H β and [OIII] emission fluxes is observed in the planetary nebula PC 12, while the fluxes in the "red" wavelength range are almost the constant. Most likely, the strengthening of absorption on a line of sight is the reason of observed variations. An opposite effect is observed in planetary nebulae M1-46: emission fluxes of almost all lines and an ionization degree are increased. Observable changes are caused, most likely, by expansion of ionized zone and by reduction of absorption on a line of sight. In turn the extension of the ionized zone can be connected to structural reorganizations in an environment, namely displacement of dense globes from the centre of a nebula to its external borders.

Key words: planetary nebulae, individual objects – PC 12, M1-46

УДК 524.335

Л.Н. Кондратьева, Ф.К. Рспаев, М.А. Кругов

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

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ PC 12 И M1-46

Аннотация. В статье представлены результаты спектральных наблюдений планетарных туманностей PC 12 и M1-46, проводимых в 1981 – 2016гг. Многолетние исследования этих объектов позволили выявить существенные изменения их спектров. В планетарной туманности PC12 наблюдается ослабление потоков излучения в линиях H β и [OIII] при неизменных потоках в «красной» области длин волн. Причина, вероятнее всего, заключается в усилении поглощения на луче зрения. В планетарной туманности M1-46 напротив, отмечается усиление потоков излучения в эмиссионных линиях и повышение степени ионизации газа. Наблюдаемые изменения вызваны, скорее всего, расширением зоны ионизации и уменьшением поглощения на луче зрения. В свою очередь увеличение размера зоны ионизованного газа может быть связано со структурными перестройками в оболочке, а именно смещением плотных глобул, из центральной зоны туманности к ее внешним границам.

Ключевые слова: планетарные туманности; индивидуальные объекты – PC12, M1-46.

Введение

Планетарные туманности представляют собой промежуточную стадию эволюции звезд на пути превращения красных гигантов в белые карлики. Большинство проблем физики планетарных туманностей

так или иначе связано с происхождением и начальными этапами эволюции этих объектов. Изучение ранних стадий эволюции вызывает наибольший интерес, поскольку именно в этот период могут происходить активные процессы, которые сопровождаются образованием оболочек, джетов и других структурных деталей.

В последние годы появились данные, свидетельствующие о спектральной переменности некоторых планетарных туманностей [1 - 3]. Зарегистрированы изменения потоков излучения в эмиссионных линиях разной степени ионизации. Они происходят достаточно медленно, в течение 20 -40 лет. Причины наблюдаемой переменности пока непонятны. Отрезок времени в 40 и даже 100 лет слишком мал, для того, чтобы произошли существенные изменения характеристик ионизирующего источника - центральной звезды. Постепенное расширение оболочки, которое заведомо имеет место, также неспособно должным образом повлиять на плотность и степень ионизации газа в туманности. Иными словами, наблюдаемая спектральная переменность не может быть вызвана слишком медленными эволюционными изменениями звезды и туманности.

Возможно, спектральная переменность туманностей связана с перестройкой ее внутренней структуры. Одно время предполагалось, что полярные джеты, крупномасштабные глобулы и биполярные структуры формируются при взаимодействии остаточного звездного ветра красного гиганта и горячего ветра центральной звезды. В этом случае молодые и протопланетарные туманности, на которые не повлиял быстрый ветер центральной звезды, должны иметь первоначальную однородную структуру. Однако, как показало исследование большой группы молодых объектов, оболочки с динамическим возрастом <2000лет уже демонстрируют полный набор неоднородностей, обнаруживаемых в больших туманностях [4]. Таким образом, получается, что неоднородности формируются на еще более ранних стадиях эволюции планетарных туманностей. Последние годы поиск и анализ неоднородностей в структуре молодых планетарных туманностей стали излюбленной темой многих исследователей [5- 9]. Рассматривается связь между формированием джетов и первоначальной структурой оболочки на стадии красного гиганта [5]. Выдвинуто предположение о роли аккреционного диска, как источника биполярных выбросов [7, 9]. В принципе, наблюдаемые спектральные изменения можно ожидать в том случае, если центральный источник является двойной звездной системой. В целом данная проблема остается нерешенной.

Цель данной работы состоит в поиске переменности спектров планетарных туманностей на достаточно длинном временном интервале. В 1970 – 1975гг в АФИФ проводились спектральные наблюдения большой группы планетарных туманностей малых угловых размеров. Используя эту раннюю базу данных для сравнения с современными результатами, можно выявить изменения потоков излучения в эмиссионных линиях. В данной работе обсуждаются результаты исследования двух планетарных туманностей PC 12 и M1-46.

1. Наблюдения и обработка результатов.

Ранние наблюдения планетарных туманностей PC12 и M1-46 выполнялись в 1990 - 1993гг на телескопе АЗТ-8 с диаметром зеркала 70см [10]. Использовался дифракционный спектрограф оригинальной конструкции, оснащенный на выходе электронно-оптическим преобразователем (ЭОП УМ-92). Изображения регистрировались на астрономическую фотоэмульсию типа А-600. Подробное описание аппаратуры и методов обработки снимков, полученных с ЭОПом, можно найти в работе Денисюка [11]. Вторая серия наблюдений проводится в настоящее время, в основном, на телескопе АЗТ-8 с тем же спектрографом. В качестве приемника излучения используется CCD камера ST-8 (1530x1020, 9µm). Она имеет ряд преимуществ по сравнению с ЭОПом, однако существенно уступает в чувствительности. Именно поэтому на современных спектрограммах слабых объектов удается измерять только наиболее сильные эмиссионные линии. Несколько дополнительных спектров было получено на 1-метровом телескопе Тянь-Шанской Обсерватории АФИФ. Спектрограммы исследуемого объекта получаются с узкой (2" – 3") и с широкой (7" – 10") входной щелью. Наблюдения стандартной звезды с известным распределением энергии в спектре из каталога [12] выполняются с широкой входной щелью. Широкая входная щель гарантирует прохождение и регистрацию всего потока излучения объекта и стандартной звезды и дает возможность учесть спектральную чувствительность аппаратуры и представить спектр исследуемого объекта в абсолютных энергетических единицах. Спектрограммы, полученные с узкой щелью и с разрешением 0.5 - 0.7 Å, используются для исследования структуры эмиссионных линий. Процедура первичной обработки спектрограмм состоит из стандартных операций: вычитание темнового тока, учета влияния атмосферной экстинкции. Далее, сравнивая распределение энергии в наблюдаемом непрерывном спектре стандартной звезды с данными из Каталога [12], вычисляются коэффициенты зависимости спектральной чувствительности аппаратуры от длины волны. Аппроксимация полученных коэффициентов полиномом 6 – 9 порядков дает кривую спектральной чувствительности аппаратуры, которая используется для исправления спектров исследуемых объектов.

2. Результаты наблюдений планетарной туманности PC12

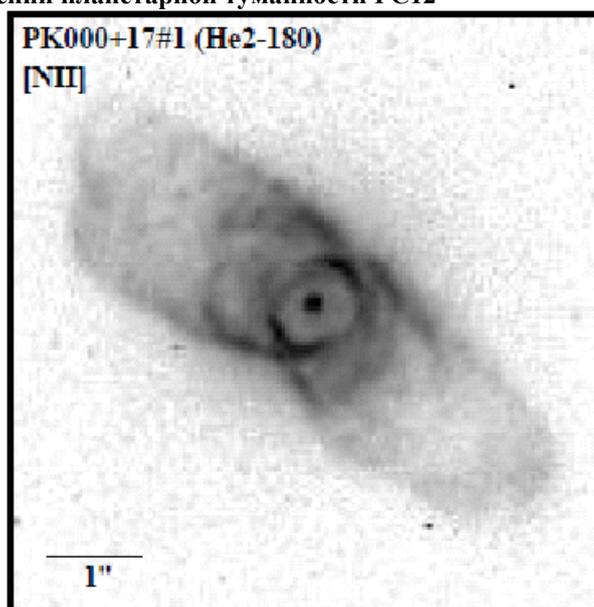


Рисунок 1 - Изображения туманности PC12 в фильтре [NII]. Наблюдения выполнены на космическом телескопе Хаббла [14].

Планетарная туманность PC 12 представляет собой компактный объект довольно низкой яркости ($V \sim 13^m$). Изображение туманности в фильтре [NII] приводится на рисунке 1. Ее центральная часть имеет угловые размеры $2''.2 \times 2''.3$ [13]. В структуре просматриваются плотные детали в форме дуг. Кроме того имеются протяженная внешняя зона эллиптической формы, с размером большой оси $\sim 8''$. В спектре туманности наблюдаются эмиссионные линии H α , [NII], [SII], [OIII], HeI, [OI] и [ArIII].

Таблица 1 – Абсолютные потоки излучения в «синей» области спектра планетарной туманности PC 12

Дата	1982-1983 [13]	1984-1985 [15]	1992-1993 [17]	17.06.2015 АФИФ	28.06.2016 АФИФ
H γ , 4340				0.64±0.14	0.81±0.16
H β , 4861	2.75±0.12	1.23±0.01	1.48±0.12	1.38±0.11	1.51±0.10
[OIII], 4959		1.39±0.10		1.48±0.11	1.31±0.09
[OIII], 5007		6.02±0.10		4.27±0.16	3.91±0.15

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 6 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10^{-12} эрг/см²сек

Таблица 2 – Абсолютные потоки излучения в «красной» области спектра планетарной туманности PC 12

Дата наблюдений	1984-1985 [15]	18.06.2015	31.05.2016	28.06.2016	29.06.2016
1		2	3	4	5
HeI, 5876					2.64±0.15
[OI], 6300					1.17±0.11
[NII], 6548		7.72±0.16	7.79±0.11	7.83±0.11	7.30±0.30
H α , 6562		68.7±2.2	65.4±2.1	66.7±2.1	64.4±2.1
[NII], 6583	20.05	25.1±1.5	23.3±1.1	24.5±1.0	22.5±2.0
HeI, 6678		0.84±0.09	0.72±0.09	0.84±0.05	0.86±0.05
[SII], 6717		0.78±0.09	0.92±0.09	0.91±0.09	1.41±0.08
[SII], 6731		1.7±0.1	1.99±0.16	1.48±0.11	1.66±0.09
HeI, 7065			1.27±0.12	1.01±0.16	
[ArIII], 7136			2.07±0.19	1.89±0.15	

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 5 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10^{-13} эрг/см²сек.

Анализ Таблиц 1 и 2 выявил ослабление примерно в 1.5 раза потоков излучения в линиях H β , и [OIII], при этом излучение в остальных эмиссионных линиях оставалось достаточно стабильным. В Таблице 3 приводятся относительные интенсивности эмиссионных линий, исправленные с учетом межзвездного поглощения. Точность значений составляет от 10 до 20% в зависимости от интенсивности линии. Имеет место разброс среди приведенных значений, вместе с тем отсутствуют какие-либо тенденции в изменениях интенсивностей. Коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) даны в предпоследней строке Таблицы 3. Они вычислялись путем сравнения наблюдаемого бальмеровского декремента с его теоретическими значениями, использовались интенсивности линий H γ , H β и H α . Электронная плотность рассчитывалась по отношениям интенсивностей линий [SII], 6717 и 6731A.

Наблюдаемые изменения коэффициента поглощения отражают реальные изменения количества пыли на луче зрения. Пылевая составляющая может пополняться в процессе истечения вещества из атмосферы центральной звезды, рассеивание в пространстве приводит к уменьшению ее плотности.

Начиная с 1981г, наблюдается уменьшение электронной плотности оболочки, это относится к зонам излучения линий [SII]. Достаточная стабильность абсолютных потоков излучения в линиях H β свидетельствует о том, что плотность основной оболочки если и меняется, то очень слабо.

Если принять во внимание, что эмиссионные потоки в линиях H α , HeI, 6678, [NII] и [ArIII] за рассматриваемый период времени практически не изменились, можно предположить, что наблюдаемое ослабление именно «синих» эмиссионных линий связано с усилением поглощения на луче зрения

Таблица 3 - Относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100 в спектре планетарной туманности PC 12

Дата наблюдений	30.06. 1981 [20]	1984 – 1985 [15]	1992 -1993 [17]	1991 – 1993 [10]	17.06. 2015 АФИФ	31.05. 2015 АФИФ	28.06. 2016 АФИФ	29.06. 2016 АФИФ
H δ , 4101	25.1		26.7					27.3
H γ , 4340	56.5		46.8	48.5	49.6		36.7	41.1
H β , 4861	100	100	100	100	100		100	100
[OIII], 4959	98.5	109	103	85.7	97.9		82.7	97.8
[OIII], 5007		463		274	293		263	310
HeI, 5876			15.8					13.2
[OI], 6300	2.6		2.9			4.3		4.9
[NII], 6548	37.6				35.9	34.9	37.2	33.1
H α , 6562	289			303	319	300	300	300
[NII],6583	90.5	96.4		95.7	116	105	105	105
HeI, 6678	2.5		4.4	8.3	3.9	3.9	4.1	3.4
[SII], 6717	2.1		4.3	5.0	4.2	4.4	4.8	5.4
[SII], 6731	4.1		7.7	9.6	8.0	8.3	6.3	7.4
HeI, 7065			7.3	7.1	5.2	6.6	5.6	
[ArIII],7136			9.1	12.0		10.1	9.2	
C(H β)	0.84	0.70	0.00	0.20	0.52	0.52	0.50	0.50
Ne(см ⁻³)	7400		4800	6500	6000	5000	3000	2800

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 8 относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100. В последних строках Таблицы даны коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) и электронная плотность газа Ne.

3. Результаты исследования планетарной туманности M1-46

Планетарная туманность M1-46 относится к объектам с мультиплетными оболочками. Угловой размер центральной (Main) зоны составляет ~ 5". Протяженное гало имеет диаметр ~ 15" . На изображении центральной области (рисунок 2) прослеживается неоднородная структура с уплотнениями, волокнами и дугами.

Исследования кинематической структуры оболочки было выполнено в 1993г. [19]. Спектрограммы M1-46, полученные с высоким разрешением использовались для исследования скоростей внутренних движений в оболочке. Карты, построенные для зон излучения линий H α и [NII], представлены на рисунке 3. Зоны повышенной плотности отчетливо видны на обоих графиках. В цитируемой статье доказано, что центральная туманность и гало сформировались одновременно, однако отдельные компоненты оболочки имеют разные скорости, что противоречит модели равномерного расширения оболочки после ее отделения.

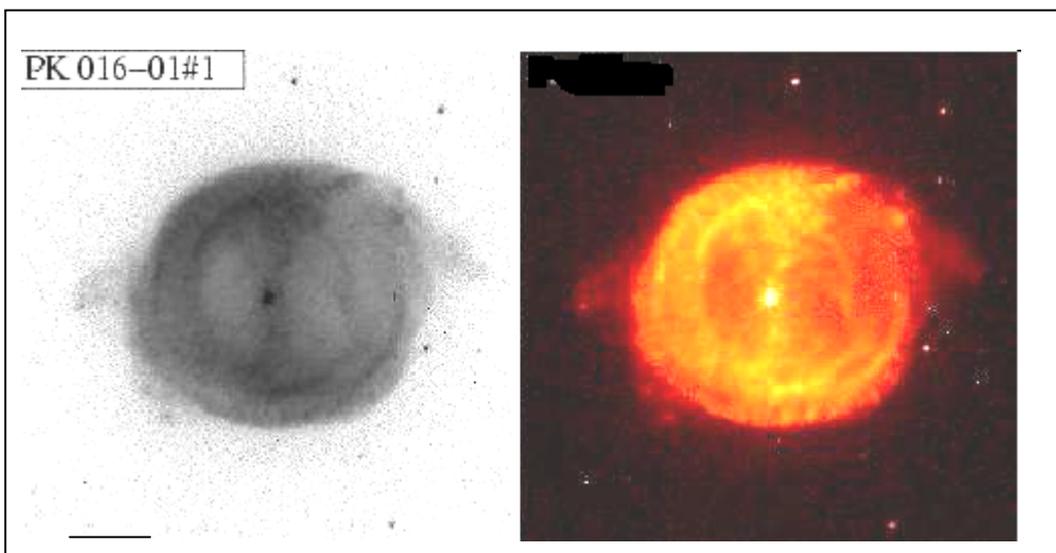


Рисунок 2 – Изображения туманности M1-46 в фильтре [NII]. Наблюдения выполнены на космическом телескопе Хаббла [21]

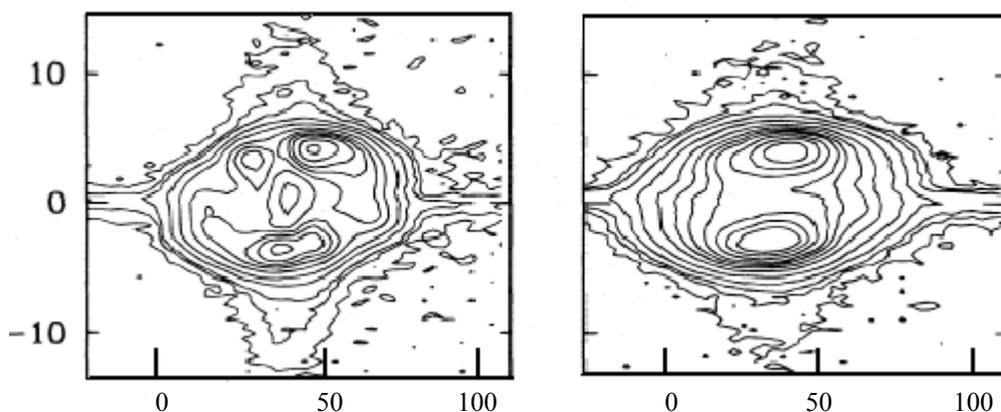


Рисунок 3 – Карты распределения интенсивности в фильтрах [NII] (слева) и H α (справа). Ось X – лучевые скорости в км/сек. Ось Y – расстояние в угловых секундах

Вероятнее всего, отдельные структурные элементы сформировались при неоднородном расширении ионизационного фронта в процессе взаимодействия между остаточным ветром красного гиганта и более быстрым ветром центральной звезды [19].

В АФИФ первые наблюдения M1-46 проводились в 1980 -1983, повторные – в 2015 -2016гг. Абсолютная калибровка ранних спектров не выполнялась, измерялись только относительные интенсивности эмиссионных линий. Для обработки результатов современных наблюдений M1-46 использовалась стандартная звезда HD 170296 с известным распределением энергии из Каталога [11].

Таблица 4 – Характеристики эмиссионных линий в «синей» области спектра планетарной туманности М1-46

Дата	1984 – 1990	07.08.1993	17.06.2015		29.06.2016	
	[19]	[18]	Fabs	EW (A)	Fabs	EW (A)
H γ , 4340		0.56±0.12	1.07±0.12	40.3	0.98±0.10	39.8
HeI, 4471		0.07±0.06	0.12±0.01	4.5		
H β , 4861	0.955±0.005	1.60±0.10	2.64±0.14	109	2.68±0.12	119
[OIII], 4959		0.20±0.03	0.44±0.04	20.5	0.59±0.04	26.8
[OIII], 5007		0.63±0.03	1.60±0.11	73.6	1.82±0.12	82.5

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны в ангстремах; 2, 3, 4,6 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10⁻¹² эрг/см²сек; 5,7 – эквивалентная ширина эмиссионных линий в ангстремах

Абсолютные потоки излучения для наиболее ярких эмиссионных линий и их эквивалентные ширины приведены в Таблицах 4 и 5. Точность определения эквивалентных ширин составляет 10 – 15%.

Таблица 5 - Характеристики эмиссионных линий в «красной» области спектра планетарной туманности М1-46

Дата наблюдений	07.08.1993	18.06.2015		31.05.2016		28.06.2016	
	[9]	Fabs	EW (A)	Fabs	EW (A)	Fabs	EW (A)
[NII], 6548	1.20±0.06	1.05±0.11	48.3	1.77±0.11		1.76±0.11	86.8
H α , 6562	7.44±0.23	7.29±0.30	334	11.16±0.31	557	11.65±0.32	575
[NII], 6583	4.18±0.11	3.41±0.31	156	5.38±0.21	269	5.98±0.22	295
HeI, 6678	0.10±0.01	0.10±0.01	4.9	0.15±0.02	9.8	0.12±0.02	10.3
[SII], 6717	0.18±0.03	0.14±0.02	6.6	0.61±0.02	32.1	0.22±0.02	11.4
[SII], 6731	0.30±0.02	0.22±0.02	10.4			0.34±0.02	18.3
HeI, 7065	0.15±0.03	0.08±0.02	4.0	0.18±0.02	10.7	0.19±0.02	9.8
[ArIII], 7136	0.68±0.27			0.79±0.03	44.5	0.72±0.02	45.3

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны; 2, 3,5,7 – потоки излучения в линиях в шкале 10⁻¹² эрг/см²сек; 4,6,8 – эквивалентная ширина эмиссионных линий в ангстремах

Таблица 6 - Относительные интенсивности линий в спектре М1-46 в шкале I(H β)=100

Дата наблюдений	1980 – 1983	07.08.1993	17.06.2015	31.05.2015	28.06.2016	29.06.2016
	[10]	[9]	АФИФ	АФИФ	АФИФ	АФИФ
H δ , 4101		23.2	19.4			
H γ , 4340	46.5	42.9	45.0			43.6
HeI, 4471		4.5	4.8			5.1
H β , 4861	100	100	100			100
[OIII], 4959	12.1	12.2	20.4			20.8
[OIII], 5007	36.0	37.7	60.2			61.1
[NII], 6548	46.1	48.0	43.3	45.2	41.1	
H α , 6562	295	277	300.0	300	300	
[NII], 6583	148	135	133	136	138	
HeI, 6678		3.7	4.8	5.5	5.6	
[SII], 6717	8	6.4	5.1	16.4	6.2	
[SII], 6731	13.5	10.9	8.0		9.1	
HeI, 7065	4.1	5.0	5.3	6.8	6.8	
[ArIII], 7136	15	22.8	24.2	24.6	24.7	
C(H β)	0.79±0.08	0.70±0.04	0.42±0.06	0.42±0.06	0.52±0.07	0.52±0.07
Ne (см ⁻³)	4500	4000	3200	3200	2600	2600

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 7- относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100. В последних строках Таблицы даны коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) и электронная плотность газа Ne.

Можно отметить, что за последние 35 лет в спектре туманности произошли серьезные изменения. Регистрируется увеличение потоков излучения в линиях H β и [OIII], 4959, 5007A в 2.5 – 3 раза. Эмиссионные линии H α , [NII], HeI и [ArIII] усилились примерно в 1.5 раза. При этом уменьшился коэффициент межзвездного поглощения, и почти в 2 раза уменьшилась электронная плотность газа. Фактически мы наблюдаем усиление всех эмиссионных линий в 1.5 раза, а дополнительное увеличение потоков излучения линий в «синей» области спектра (H β и [OIII]) вызвано, скорее всего, ослаблением поглощения на луче зрения. Значения относительных интенсивностей эмиссионных линий, полученные в разные годы, приведены в Таблице 6. В частности, наблюдается усиление, почти в два раза эмиссионных линий [OIII], 4959, 5007A, что свидетельствует о повышении степени ионизации газа. Причиной этого может служить увеличение размеров зоны O $^{++}$ и уменьшение плотности газа в этой зоне. Возможное изменение температуры центральной звезды, как причина наблюдаемых изменений, не рассматривается, так как временной отрезок в 35 лет явно недостаточен для существенного изменения этого параметра [22].

Заключение

Проведенные многолетние исследования планетарных туманностей PC12 и M1-46 показали, что их спектры претерпели существенные изменения за последние 30 – 35 лет. В планетарной туманности PC12 наблюдается ослабление потоков излучения в линиях H β и [OIII] при практически неизменных эмиссионных потоках в «красной» области длин волн. Причина, вероятнее всего, заключается в увеличении поглощения на луче зрения, его влияние усиливается с уменьшением длины волны. Таким образом, излучение в «синей» области длин волн ослабляется в большей степени по сравнению с длинноволновым диапазоном. Пылевая составляющая, ответственная за поглощение, может пополняться в процессе истечения вещества из атмосферы центральной звезды.

В планетарной туманности M1-46 отмечается обратный эффект - усиление потоков излучения в эмиссионных линиях и повышение степени ионизации газа. Наблюдаемые изменения вызваны, скорее всего, расширением зоны ионизации и уменьшением поглощения на луче зрения. В свою очередь увеличение размера зоны ионизованного газа может быть связано со структурными перестройками в оболочке, а именно смещением плотных глобул, из центральной зоны туманности к ее внешним границам.

Работа выполнена по проекту «проекту «Исследование физических процессов в газопылевых оболочках молодых звезд, протопланетарных туманностях и ядрах сейфертовских галактик»».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kondratyeva L.N. Spectral variability of planetary nebulae and related objects, *Astron. Astrophys. Transact.*, V. 4, 2005, P. 291-296.
- [2] Hajduk M., van Hoof P., Zijlstra A. Evolution of the central stars of young planetary nebulae, *A&A*, Vol. 573, 2015, P.65.
- [3] Кондратьева Л., Рспаев Ф., Аймуратов Е. Переменность планетарной туманности M1-65, *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия физико-математ.*, Т. 5, 2016, С. 22.
- [4] Kwok S. Morphological Structures of Planetary Nebulae, *PASA*, V. 27, P. 174.
- [5] Sahai R., Morris M., Contreras C., Claussen M. Understanding the immediate progenitors of planetary nebulae, *IAUS*, V. 283, 2012, P. 180.
- [6] Sahai R., Morris M., Villars G. Young planetary nebulae: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *AJ*, V.141, 2011, P.134.
- [7] Bright S., De Marco O., Chesneau O., et al. Observing Compact Disks Inside Pre-Planetary Nebulae with the Very Large Telescope Interferometer, *AAS*, 2012, 21924410.
- [8] Velázquez P., Raga A., Riera A., et al. Multipolar young planetary nebulae modelled as a precessing and orbiting jet with time-dependent ejection velocity, *MNRAS*, V. 419, 2012, P. 3529.
- [9] Miszalski B., Boffin H., Corradi R. Carbon dwarf wearing a Necklace: first proof of accretion in a post-common-envelope binary central star of a planetary nebula with jets, *MNRAS*, V. 428, 2013, L39.
- [10] Кондратьева Л. Планетарные туманности низкого возбуждения, *Астрофизика*, Т. 22, 1985, С. 153.
- [11] Denisyyuk E. Spectrograph for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, Vol. 22, 2003, P. 175.
- [12] Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата. 1988.
- [13] Tytenda R., Siódmiak N., Górny S., et al. Angular dimensions of planetary nebulae, *A&A*, V. 405, 2003, P. 627.
- [14] Sahai R. Bipolar and multipolar jets in protoplanetary and planetary nebulae, *Rev. Mex.Astron.Astrofiz Conf. Ser.*, V. 133, 2002, P. 138.

- [15] Shaw R., Kaler J. Apparent magnitudes of luminous planetary nebula nuclei. II. A survey of southern hemisphere planetary nebulae, *ApJS*, V. 69, 1989, P.495.
- [16] Carrasco L., Serrano A., Costero R. Photoelectric absolute H β fluxes for 55 planetary nebulae, *Rev. Mex. Astron. Astrofiz.*, V. 8, 1983, P. 187.
- [17] Cuisinier F., Acker A., Koppen J. Spectrophotometric observations of planetary nebulae high above the Galactic plane, *A&A*, V. 307, 1996, P. 215.
- [18] Acker A., Stenholm B., Tylenda R. The absolute H β fluxes for southern planetary nebulae, *A&AS*, V. 77, 1989, P. 487.
- [19] Guerrero M., Manchado A., Stanghellini L., et al. M1-46: A case study on multiple-shell planetary nebula formation, *ApJ*, V. 464, 1996, P.847.
- [20] Kaler J. Bell D., Hayes J., et al. Spectrophotometry of 15 planetary nebulae and a possible imbiotic star, *PASP*, V. 105, 1993, P. 599.
- [21] Sahai R., Morris M., Villar G Young planetary nebular: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *arXiv1101.2214 v1*, 2011.
- [22] Marigo P., Girard L., Groenewegen M. Evolution of planetary nebulae, *A&A*, V. 378, 2001, P. 958.

REFERENCES

- [1] Kondratyeva L.N. Spectral variability of planetary nebulae and related objects. *Astron. Astrophys. Transact.*, Vol. 4, 2005. P. 291-296.
- [2] Hajduk M., van Hoof P., Zilstra A. Evolution of the central stars of young planetary nebulae, *A&A*, Vol. 573, 2015. Page 65.
- [3] Kondratyeva L., Rspaev F., Aimuratov Ye. Переменность планетарной туманности M1-65, *Izvestiya of National Academy of Sciences of Republic Kazakhstan*, Vol. 5, 2016. Page 22 (in Russian)
- [4] Kwok S. Morphological Structures of Planetary Nebulae, *PASA*, Vol. 27, Page 174.
- [5] Sahai R., Morris M., Contreras C., Claussen M. Understanding the immediate progenitors of planetary nebulae, *IAUS*, Vol. 283, 2012. Page 180.
- [6] Sahai R., Morris M., Villars G. Young planetary nebulae: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *AJ*, Vol.141, 2011. Page134.
- [7] Bright S., De Marco O., Chesneau O., et al. Observing Compact Disks Inside Pre-Planetary Nebulae with the Very Large Telescope Interferometer, *AAS*, 2012. 21924410.
- [8] Velázquez P., Raga A., Riera A., et al. Multipolar young planetary nebulae modelled as a precessing and orbiting jet with time-dependent ejection velocity, *MNRAS*, Vol. 419, 2012. Page 3529.
- [9] Miszalski B., Boffin H., Corradi R. Carbon dwarf wearing a Necklace: first proof of accretion in a post-common-envelope binary central star of a planetary nebula with jets, *MNRAS*, Vol. 428, 2013. L39.
- [10] Denissyuk E. Spectrograph for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, Vol. 22, 2003. Page 175.
- [11] Kharitonov A.V., Tereshchenko V. M., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalog of stars Almaty. 1988 (in Russian)
- [12] Tylenda R., Siódmiak N., Górny S., et al. Angular dimensions of planetary nebulae. *A&A*, Vol. 405, 2003. Page 627.
- [13] Sahai R. Bipolar and multipolar jets in protoplanetary and planetary nebulae, *Rev. Mex.Astron.Astrofiz Conf. Ser.*, Vol. 133, 2002. Page138.
- [14] Shaw R., Kaler J. Apparent magnitudes of luminous planetary nebula nuclei. II. A survey of southern hemisphere planetary nebulae. *ApJS*, Vol. 69, 1989. Page 495.
- [15] Carrasco L., Serrano A., Costero R. Photoelectric absolute H β fluxes for 55 planetary nebulae. *Rev. Mex. Astron. Astrofiz.*, Vol. 8, 1983. Page 187-191.
- [16] Cuisinier F., Acker A., Koppen J. Spectrophotometric observations of planetary nebulae high above the Galactic plane. *A&A*, Vol. 307, 1996. Page 215-224.
- [17] Acker A., Stenholm B., Tylenda R. The absolute H β fluxes for southern planetary nebulae, *A&AS*, Vol. 77, 1989. Page 487.
- [18] Guerrero M., Manchado A., Stanghellini L., et al. M1-46: A case study on multiple-shell planetary nebula formation, *ApJ*, Vol. 464, 1996. Page 847.
- [19] Kaler J. Bell D., Hayes J., et al. Spectrophotometry of 15 planetary nebulae and a possible imbiotic star, *PASP*, Vol. 105, 1993. Page 599-577.
- [20] Sahai R., Morris M., Villar G Young planetary nebular: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *arXiv1101.2214 v1*, 2011.
- [21] Marigo P., Girard L., Groenewegen M. Evolution of planetary nebulae, *A&A*, Vol. 378, 2001. Page 958 -966.

Л.Н. Кондратьева, Ф.К. Рспаев, М.А. Кругов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

PC 12 ЖӘНЕ M1-46 ПЛАНЕТАЛЫҚ ТҰМАНДЫҚТАРДЫҢ СПЕКТРЛІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Аннотация. Мақалада 1981 – 2016 жылдары жүргізілген PC 12 және M1-46 планеталық тұмандықтардың спектрлік бақылауларының нәтижелері ұсынылды. Бұл объектілердің көп жылдың зерттеулері олардың спектрлерінің айтарлықтай өзгерістерін анықтауға мүмкіндік берді. Толқындар ұзақтығы «қызыл» аймағы өзгеріссіз ағымдары кезінде PC12B планеталық тұмандықта H β және [OIII] сызықтықтарында ағымдардың әлсіздігі бақыланады. Себебі көру сәулесінде жұтудың үдеуімен қорындындылануы мүмкін. M1-46 планеталық тұмандықта керісінше, эмиссиялық сызықтарда сәулелену ағымдары күшеюі және газдың иондалу дәрежесі артуы белгіленеді. Бақыланған өзгерістер иондалудың кеңейтілген аймағымен және көру сәулесінде жұтудың азаюымен байланысты. Иондалған газдың аймағының көлемі артуы өз кезегінде қабаттардағы құрылымдық қайта құрылулармен, оның сыртқы аймағына тұмандықтың орталық аймағынан тығыз глобулдың араласуымен байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: планеталық тұмандықтар; жеке объектілер – PC12, M1-46.

Сведения об авторах

Кондратьева Людмила Николаевна - канд. физ.-мат. наук, доцент, Дом. адрес: Алматы, Обсерватория, д. 20, кв.18, Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 260-74-99, e-mail: lu_kondr@mail.ru;

Рспаев Фарид Кудайбергенович - Дом. адрес: Алматы, 8-микрорайон, д.2, кв. 70, Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 249-06-53;

Кругов Максим Анатольевич - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 90 – 95

UDK.524.5

L.A. Pavlova , E.Ya. Vil’Koviskij

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

Lapavlova44@mail.ru

THE MAIN FORMATION MECHANISMS OF X-Ray EMISSION OF THE YOUNG STARS

Abstract. X-ray emission from stars much more massive than the Sun was discovered only 35 years ago. Such stars drive fast stellar winds where shocks can develop, and it is commonly assumed that the X-rays emerge from the shock-heated plasma. Many massive stars additionally pulsate. However, hitherto it was neither theoretically predicted nor observed that these pulsations would affect their X-ray emission. Observations with the *XMM-Newton* telescope reveal X-ray pulsations with the same period as the fundamental stellar pulsation. This discovery challenges our understanding of stellar winds from massive stars, their X-ray emission, and their magnetism. New features have been identified in pre-main sequence stars; some of these may be related to accretion shocks on the stellar surface, fluorescence on circumstellar disks due to X-ray irradiation, or shock heating in stellar outflows. The *XMM-Newton* observations were obtained for three stars ξ 1 CMa V2052 Oph, and zeta Cas. We report the first detection of X-ray emission from V2052 Oph and zeta Cas. The observations show that the X-ray spectra of our program stars are quite soft. We compile the complete sample of early B-type stars with detected magnetic fields to date and existing X-ray measurements, in order to study whether the X-ray emission can be used as a general proxy for stellar magnetism. We find that hard and strong X-ray emission does not necessarily correlate with the presence of a magnetic field. We analyze the UV spectra of five non-supergiant B stars with magnetic fields by means of non-LTE iron-blanketed model atmospheres. The latter are calculated with the PoWR code, which treats the photosphere as well as the wind, and also accounts for X-rays. Our models accurately fit the stellar photospheric spectra in the optical and the UV. The parameters of X-ray emission, temperature and flux are included in the model in accordance with observations.

Key words: young stars, X-rays, emission, mass-loss, accretion, pulsations

УДК. 524.5

Л.А. Павлова, Э.Я. Вильковиский

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

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ X-ray ЭМИССИИ В МОЛОДЫХ ЗВЕЗДАХ

Аннотация. За последние 35 лет рентгеновская (X-ray) эмиссия была обнаружена практически во всех типах звезд, пересекающих Главную Последовательность. В звездах более массивных, чем Солнце, наблюдается значительный звездный ветер, в течении которого при столкновениях разных потоков образуются ударные волны, образуя области плазмы с более высокой температурой. По наблюдениям с космических телескопов у многих массивных звезд обнаружены пульсации излучения, которые часто совпадают с периодами фундаментальных звездных пульсаций. В настоящее время для объяснения природы X-ray эмиссии в звездах разных масс рассматриваются некоторые процессы, присущие всем звездам до Главной Последовательности: аккреционные удары о звездную поверхность, флюоресценция на околозвездных дисках благодаря переизлучению X-ray эмиссии и/или ударный нагрев в звездных истечениях, и другие корональные и магнитосферные явления. В целом эти процессы связаны с магнитной активностью звезд и работают в разных средах и на различных шкалах энергий и температур. Для разных молодых объектов, X-ray пульсации совпадают с фазой оптических пульсаций, но с большей амплитудой. Анализ яркости в области X-ray показывает, что наибольшая яркость наблюдается в тот момент, когда звездный радиус

минимален. Новые наблюдения позволили определить протяженность корональных X-ray петель в жестко вращающихся дисках, которые согласуется с моделью магнитного взаимодействия звезда – диск, где внутренний диск ограничен магнитосферой молодых звезд.

Ключевые слова: молодые звезды, X-ray эмиссия, потеря массы, аккреция, пульсации.

Введение

Последнее десятилетие данные наблюдений звезд в рентгеновском диапазоне со спутников CHANDRA и XMM-NEWTON привели к значительному пониманию физических процессов в горячей плазме в молодых звездах и близкой к ним околозвездной среде. Исследование природы X-ray эмиссии в звездах с оболочками чрезвычайно важно для изучения физических процессов в горячей плазме, достигающей температуры в несколько миллионов градусов. На основе изучения внеатмосферных данных были предложены некоторые астрофизические механизмы генерации излучения.

В настоящее время для объяснения природы X-ray эмиссии в звездах разных масс рассматриваются некоторые процессы, присущие всем звездам до Главной Последовательности: аккреционные удары на звездную поверхность, флюоресценция на околозвездных дисках благодаря переизлучению X-ray эмиссии и/или ударный нагрев в звездных истечениях, корональные и магнитосферные явления. Если для холодных звезд малых масс наблюдаемая X-ray эмиссия может быть связана с магнитными ловушками горячего коронального газа (подобно явлениям в солнечной корональной плазме) или магнитосферными процессами. Для горячих звезд используют другие процессы: присутствие неразрешенных компаньонов, аккреционные удары на звездную поверхность, ударный нагрев в звездных истечениях. Все эти процессы связаны с магнитной активностью, и работают в разных средах и на различных шкалах энергий и температур.

Методы исследования

Результаты спектральных и фотометрических наблюдений для горячих звезд были получены в рентгеновском диапазоне со спутников CHANDRA и XMM-NEWTON. Источники X-ray эмиссии обнаруженные в массивных звездах типов O и Вольф – Райе связаны, скорее всего, с формированием ударных волн в нестабильном ветре, что позволяет производить области очень горячей плазмы, излучающей в рентгеновском диапазоне. Рентгеновские спектры с высоким разрешением различных объектов в области УФ от 0,1 до 100 Å расширили тематику исследований от процессов классической звездной активности, которая включает солнце-подобные явления -- вспышки, циклы активности, пространственные и тепловые структуры плазмы, излучающей X-ray, до процессов, генерирующих X-ray, такие как аккреция, джеты, замагниченный ветер [1].

Результаты исследования

Магнитная активность молодых звезд играет значительную роль в физических процессах, которые приводят к появлению X-ray эмиссии на определенных стадиях эволюции звезд. Первые появления звездной X-ray эмиссии начинаются на стадии протозвезд, когда звезды скрыты плотной средой молекулярных облаков. На этой стадии звезды вначале обладают магнитными полями облака, и магнитная активность сильно увеличивается при образовании околозвездных дисков, показывая редкие вспышки X-ray. В этих стадиях часть падающего газа может покинуть систему с большим количеством углового момента, который впоследствии виден как молекулярный или оптический джет. Потoki падающего вещества вдоль магнитных силовых линий на поверхность звезды могут нагреть газ до температур, необходимых для X-ray эмиссии. Связь между звездой и диском с такой активностью может длиться до 10^6 лет. Мало-массивные звезды могут сохранять вблизи поверхности звезды магнитную активность на более длительных временных интервалах [1].

Область излучения X-ray горячих звезд, скорее всего, расположена очень близко к ее поверхности и связана с разными потоками звездных ветров, которые формируются в экваториальной области, где течение ветра идет вдоль близких линий магнитного поля от разных частей звездной поверхности. Если удары локализируются на уровне нескольких радиусов звезды от фотосферы, то высокие отношения потоков легко могут объяснены. На обсерватории XMM-Newton были проведены всестороннее исследование X-ray эмиссии и свойств ветра в массивных магнитных ранних B-звездах: χ 1 CMa, V2052 Oph и Z Cas. При сравнении с данными ранних магнитных B – звезд с X-ray эмиссией рассматривалась возможность использования X-ray эмиссии в качестве основного признака звездного магнетизма, по аналогии со звездами типа Солнца. Оказалось, что наблюдаемая X-ray эмиссия не обязательно коррелирует с присутствием магнитных полей. Были проанализированы УФ - спектры 5 B звезд с неравновесной моделью атмосферы. Модели хорошо аппроксимируют звездный фотосферный спектр в УФ и оптике. Параметры X-ray – эмиссии

(температура и потоки), включенные в модель, согласуются с наблюдениями. Анализ показал, что магнитные В-звезды обладают слабым ветром. Скорости потери массы значительно ниже, предсказанных моделью, но X-гау эмиссия сильно зависит от ионизационной структуры ветра. Когда X-гау излучение соответствует наблюдаемой температуре и интенсивности, то можно предположить присутствие более значительного ускорения излучения для течения сильных масс, чем эмпирические оценки, полученные по спектральным линиям в ультрафиолете [2].

Известно, что в массивных звездах нет магнитосфер и конвективных зон, но их оптические и УФ спектры содержат эмиссионные линии с признаками истечения. Наблюдаемые спектры нескольких массивных звезд хорошо согласуются со стандартной моделью ударного ветра, где широкие эмиссионные линии с признаками истечения достигают значительных величин скоростей до 1000 км/с (ζ Pup, ζ Ori). Однако и в звездах с симметричными и несмещенными линиями может наблюдаться X-гау эмиссия (δ Ori, σ Ori). Так в звездах с узкими линиями, по сравнению с тем, что предсказывает ударная модель ветра, может наблюдаться сильная X-гау эмиссия (θ^1 Ori C и τ Sco). [3,4,5]

В рамках проекта Chandra Orion Ultradeep Project (COUP) были изучены детали 216 ярких X-гау вспышек от 161 звезд в стадии до Главной последовательности для изучения структуры излучающей короны и магнитосферы, влияния протопланетных дисков и эффектов звездного вращения. Исследовалась связь между свойствами вспышек, протопланетными дисками и аккрецией в рамках моделей взаимодействия звезда – диск на внутреннем крае аккреционного диска. Предварительные исследования не показали различий в свойствах вспышек между звездами не содержащими диск и аккрецирующими систем, кроме уменьшения X-гау эмиссии в аккрецирующих системах. Новые наблюдения показали, что протяженность корональных X-гау структур в жестко вращающихся дисках звезд может значительно превышать радиус Кеплеровской коротации, тогда как размеры X-гау петель в дисках и аккрецирующих системах не достигают радиуса коротации. Это согласуется с моделью магнитного взаимодействия звезда – диск, где внутренний диск ограничен магнитосферой молодых звезд, эволюционирующих к Главной Последовательности (ПП). Были найдены два различия между вспышками в аккрецирующих системах и ППП звездами без дисков. Первое – суб класс с супер горячими вспышками с пиком температуры плазмы выше 100 МК преимущественно присутствуют в аккрецирующих системах. Второе – было экспериментально найдено, что аккрецирующие звезды производят вспышки короткой длительности. Оба результата могут быть следствием десторсии и дестабилизации звездной магнитосферы от взаимодействия с диском. Не было обнаружено, что любые типы вспышек произведены в магнитных петлях звезда – диск [5].

Обсуждение результатов исследования

Массивные звезды обладают жесткими звездными ветрами, в которых могут развиваться удары, что могло бы привести к появлению энергичных потоков X-гау эмиссии от плазмы, нагретой этими ударами. Многие массивные звезды показывают пульсации, но нет теоретических предсказаний, что они связаны с X-гау эмиссией. Массивные звезды своим интенсивным излучением могут приводить в движение звездные ветра до сверх звуковых скоростей (около 1000 км/с). Нестабильность ветров может быть результатом столкновений ветров, при которых часть материала может нагреваться до температур излучения X-гау. Типичный X-гау спектр отдельной массивной звезды тепловой. В спектрах с высоким разрешением доминируют широкие эмиссионные линии с небольшим голубым смещением, что может быть объяснено быстрым расширением звездного ветра, совместимый с горячей X-гау излучающей материей, проникающей через холодный материал, который ослабляет X-гау. Кроме того, некоторая часть массивных В звезд обладает сильными на больших шкалах магнитными полями и связанных с механизмом динамо. Сильные магнитные поля могут значительно влиять на динамику звездных ветров. Если магнитное поле имеет дипольную конфигурацию, то может возникнуть эффект канализации ветра в направлении на магнитный экватор, где потоки ветра сталкиваются от оппозиционных точек, создавая высокие температуры. Вероятно, свойства X-гау будут различны для магнитных и не магнитных звезд, температуры X-гау излучения будут выше для первых. Флуктуации потока X-гау на шкале вращения были замечены ранее [6,7,8].

При наблюдениях массивной ранней В звезды ξ^1 СMa (переменная типа β Cep) с телескопа *XMM-Newton* были открыты X-гау пульсации с тем же периодом, что и период фундаментальных звездных пульсаций. Для звезды ξ^1 СMa была обнаружена периодическая модуляция широтного магнитного поля с периодом 2.2 дня, которая связана со звездным вращением. Данные спектрополяриметрии позволили определить наклон оси вращения и определить положение магнитного экватора, который отклонен от оси вращения на 79° . У звезды ξ^1 СMa измерено сильное магнитное поле (5кГ), но слабый ветер. Были обнаружены X-гау пульсации, совпадающие с фазой оптических пульсаций, но большей амплитуды. На рис.1. показана схематическая вращательная и магнитная геометрия звезды ξ^1 СMa [9].

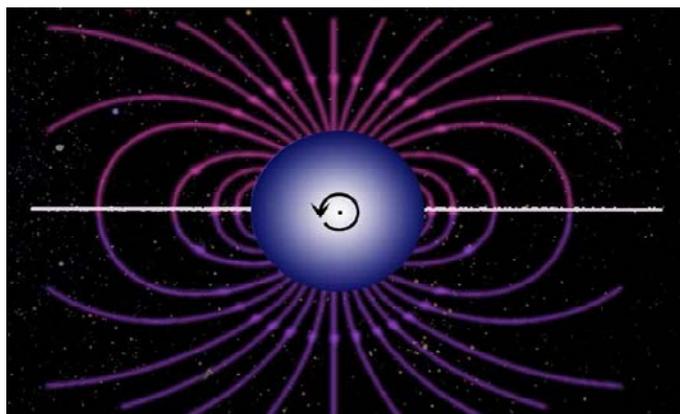


Рисунок 1 - Вращательная и магнитная геометрия звезды ξ^1 СМа. Оси вращения и магнитные наклонены друг к другу под углом 79° , белая линия – магнитный экватор, магнитные линии показывают дипольную геометрию

Обнаружены периодические изменения радиальной скорости с периодом $P=0.2096$ д., периодическая фотометрическая переменность с увеличением амплитуды в сторону коротких волн ($\Delta m_V=0.034$ зв.вел. $\Delta m_{UV}=0.161$ зв.вел.). Отмечены изменения фундаментальных параметров звезды в течении цикла пульсации таких, как температура звезды с разницей в цикле $\Delta T_{\text{эфф}}=1000$ К, $\log g$ меняется от 3.7 в максимуме и 3.8 в минимуме, широтное магнитное поле имеет период 2.2д., совпадающий с вращением звезды. Анализ яркости в области X-гау показывает, что наибольшая яркость наблюдается в тот момент, когда звездный радиус минимален (R^* меняется от 1 до 1.05). Данные свидетельствуют в пользу того, что область пульсации X-гау формируется вблизи звездной фотосферы [9].

Рентгеновские спектры звезд AeVe Хербига (AeVeX) показывают эмиссионные линии, частично сформированные при больших температурах. Температуры до 10 МК могут поддерживаться как наблюдаемыми вспышками, так и гипотезой компаньонов. С другой стороны, есть корреляция рентгеновской светимости со свойствами ветра, такими как скорость ветра или момент ветра, но не с параметрами вращения Хербиговских звезд. К настоящему времени список исследуемых AeVeX звезд в рентгеновском диапазоне постоянно расширяется. В таблице 1 приведены отдельные параметры молодых звезд, для которых получена X-гау эмиссия и измерены скорости ветра [10].

Таблица 1 - Основные параметры звезд с X-гау эмиссией и истечением

Name	Sp-type	Log Tef	Dpc	Log L_X (ergs s^{-1})	Log L_X/L_{bol}	Vrot Km/c	Vwind Km/c
MWC 297	B1/O9e S	4.52	250	29.53 ± 0.18	-8.54	380	350
V361 Ori	B4V	4.14	460	30.94 ± 0.17	-5.24	50	
Z CMa	B0IIIeP	3.80	1150	30.75 ± 0.17	-6.14	<130	500
Lk α 25	B7	4.05	800	<30.36	<-6.15		340
BD+30 549	B8Vpe	4.08	390	29.81 ± 0.16	-4.87		
R CrA	A0 D	4.06	130	28.98 ± 0.17	-6.69		150
V380 Ori	B8/A1e	3.97	460	30.88 ± 0.17	-4.60	200	260
HD 97300	B9V	4.03	188	29.66 ± 0.18	-5.4		
HD 100546	B9Vne	4.04	103	29.13 ± 0.18	-6.1	65	
HD 176386		4.03	130	<28.84	<-6.43		
HD 141569	A0Ve IIR	4.02	99	<28.59	<-6.33	258	
AB Aur	B9/A1 P	3.98	144	28.92 ± 0.17	-6.36	140	225
V372 Ori	A0	3.93	460	29.97 ± 0.17	-5.83	125	
HD 150193	A2IVe PIII/D	4	150	<29.00	<-6.00	100	130
HD 163296	A1Vep P/D	3.97	122	29.47 ± 0.19	-5.59	133	220
MR Ori	A2V	3.93	460	<29.88	<-5.59		
TY CrA	B9e	4.07	130	30.31 ± 0.18	-5.07	10	
Elias 3-1	A6e	3.91	160	30.36 ± 0.19	-3.10		250
HD 104237	A4IVe d	3.93	116	30.03 ± 0.18	-5.15	12	500
AK Sco	F5IVe	3.81	150	<28.95	<-5.50	18.5	

В Таблице 1- 1 столбец- имя объекта, 2- спектральный тип, 3- Эффективная температура звезды, 3- расстояние до объекта, 4- логарифм светимости L_X , 5- отношение рентгеновской и болометрической светимости, 6 –отношение светимости $\text{Log } L_X/L_{bol}$ 7- скорость вращения звезды $v \sin i$, 8- скорость ветра

Корреляция рентгеновской светимости со свойствами ветра - скорость ветра или момент ветра дают преимущество механизму истечения для интерпретации наблюдаемых свойств X-гау эмиссии. Увеличивается очевидность того, что специфический механизм X-гау эмиссии работает на ранних стадиях, когда молодые объекты еще продолжают аккрецировать от их околос звездных дисков. Эта очевидность приходит не только от существующих X-гау компонент, но и из УФ наблюдений с FUSE. Массивные звезды теряют большое количество массы путем их сильных звездных ветров при подходе к ГП. Однако свойства и распределение звездного ветра нарушены сильным (несколько kG) дипольными магнитными полями, которые находят в массивных звездах. Звездный ветер этих магнитных звезд течет вдоль петель магнитного поля в направлении к магнитному экватору. Потоки ветра от противоположных точек сферы сталкиваются и могут производить X-гау. Спектры с высоким разрешением AeBeX звезд показали значительные различия от спектров мало массивных звезд типа Т Тау по трем аспектам: электронные температуры находятся в области мягкого рентгена -2-7 МК; поток X-гау модулируется с временным периодом в оптике/УФ в линиях, образованных звездным ветром; триплет линии О VII необычайно силен по сравнению с потоком от Т Тау звезд. Так триплет О VII показывает ограничения в электронной плотности и электронной температуре довольно холодной плазмы со средней корональной температурой 5МК. Эта величина намного меньше, чем обычные температуры корон мало массивных звезд до Главной последовательности, достигающих 10МК. Оценка X-гау светимости в области 0.3–10 keV порядка 410^{29} erg/s, плотность $n_e \sim 10^{11}$ cm⁻³ скорее всего связана со звездной короной.

Наблюдения О звезд в NGC 1624-2 с большими магнитными полями (около 20 kG) в области X-гау были получены на обсерватории Chandra. Наблюдения были проведены в максимуме и минимуме цикла Na эмиссии, соответствующих вращательной фазе, где магнитное поле близко к экватору и полюсу соответственно. Были рассмотрены характеристики звездных магнитосфер как возможность производства X-гау эмиссии путем магнитных ударов ветра. Наблюдаемый спектр NGC 1624-2 похож на магнитную звезду θ 1 Ori C, поток X-гау на 30% ниже в фазе минимума эмиссии Na. Скорее всего NGC 1624-2 обладает внутренней светимостью в X-гау ($\log L_x \sim 33.4$). Светимость X-гау эмиссии варьируется со звездным вращением и согласуется с большой динамической магнитосферой и с магнитными ударами ветра [11].

Выводы

Корреляция рентгеновской светимости со свойствами ветра - скорость ветра или момент ветра дают преимущество механизму истечения для интерпретации наблюдаемых свойств X-гау эмиссии. Увеличивается очевидность того, что специфический механизм X-гау эмиссии работает на ранних стадиях, когда молодые объекты еще продолжают аккрецировать от их околос звездных дисков. Были найдены два различия между вспышками в аккрецирующих системах и ППП звезд без дисков. Первое – суб- класс с супергорячими вспышками с пиком температуры плазмы выше 100 МК преимущественно присутствуют в аккрецирующих системах. Второе – было экспериментально найдено, что аккрецирующие звезды производят вспышки короткой длительности. Оба результата могут быть следствием десторсии и дестабилизации звездной магнитосферы от взаимодействия с диском. Не было обнаружено очевидности, что любые типы вспышек произведены в магнитных петлях взаимодействия звезда – диск [12]. Многие из механизмов связаны с эволюцией объектов, которая обусловлена рассеянием оболочек и уменьшением активных явлений. Так темп аккреции уменьшается с возрастом, но он коррелирует с массой звезды. Однако массивные звезды с высоким темпом аккреции могут наблюдаться только на самой ранней стадии эволюции. Очевидно, что X-гау плазма горячее в AeBeX звездах, чем в В звездах Главной Последовательности. Эти различия могут быть сигналом затухания действия динамо в процессе эволюции. Для звезд поздних типов X-гау светимость и магнитная активность тоже уменьшается с возрастом [13].

Работа выполнена в рамках проекта 0.0674

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gudel M., Naze Y. X-Ray Spectroscopy of Stars. A&A. 2009.V.17.P.309.
- [2] Oskinova L.M., Todt H., Ignace R. et al. Early magnetic B-type stars: X-ray emission and wind properties//arXiv:1106.0508v1
- [3] Gagné M, et al. Chandra HETGS multiphase spectroscopy of the young
- [4] magnetic O star θ 1 Orionis C.// The Astrophysical Journal 2005.V.628.P.986
- [5] Cohen DH, et al. (2003) High-resolution Chandra spectroscopy of τ Scorpii: A narrowline X-ray spectrum from a hot star. The Astrophysical Journal 586:495–505.)
- [6] Skinner SL, et al. High-resolution Chandra X-ray imaging and spectroscopy of
- [7] the σ Orionis cluster. //The Astrophysical Journal . 2008.V.683.P.796.
- [8] Telleschi A., Manuel G`udel M., Briggs K.R., et al The first high-resolution X-ray spectrum of a Herbig Star: The case of AB Aurigae // A&A 2007.-V.468. - P.541
- [9] Oskinova L.M., Clarke D., Pollock A.M.T., A&A 378, L21 (2001).

- [10] Naz' e Y., et al., *A&A* 2010.V. 520, P.59.
 [11] Oskinova L.M., Naz' e Y., Todt H. et.al. A new type of X-ray pulsar// *NatCo* 2014 V.5 id. 4024
 [12] 10. Hamidouche M., Wang Shiya, Looney Leslie W. The X-RAY origin of Herbig AeBe
 [13] systems: new insights// *Astron.J.* 2008.V. 135. P.1474
 [14] 11. Petit V., Cohen D.H., Wade G.A. et.al. X-ray emission from the giant magnetosphere of
 [15] O-type star NGC 1624-2.// *MNRAS.* 2015. V.453.P.3288
 [16] 12. Getman K.V., Feigelson E.D., Micela G. et.al. X-Ray flares in Orion Young Stars. II.
 [17] Flares, Magnetospheres, and Protoplanetary Disks// *Ap.J.* 2008.V.688. P.437.
 [18] 13. Fairlamb R. D. Oudmaijer R.D., Mendigut'ia I. et.al. A spectroscopic survey of Herbig
 [19] Ae/Be stars with X-Shooter I: Stellar parameters and accretion rates. *MNRAS*-2015.-V453.P.976

REFERENCES

- [1] *Gudel M., Naze Y. X-Ray Spectroscopy of Stars. A&A.* 2009.V.17.P.309. (in Eng.)
 [2] Oskinova L.M., Todt H, .Ignace R. et.al. Early magnetic B-type stars: X-ray emission and wind properties. [arXiv:1106.0508v1](https://arxiv.org/abs/1106.0508v1) (in Eng.)
 [3] Gagné M, et al. Chandra HETGS multiphase spectroscopy of the young magnetic O star θ 1 Orionis C. *The Astrophysical Journal*. 2005.V.628.P.986(in Eng.)
 [4] Cohen DH, et al. (2003) High-resolution Chandra spectroscopy of τ Scorpii: A narrowline X-ray spectrum from a hot star. *The Astrophysical Journal* 586:495–505. (in Eng.)
 [5] Skinner SL, et al. High-resolution Chandra X-ray imaging and spectroscopy of
 [6] the σ Orionis cluster. *The Astrophysical Journal* . 2008. V.683.P.796. (in Eng.)
 [7] Telleschi A., Manuel G'udel M., Briggs K.R., et.al. The first high-resolution X-ray spectrum of a Herbig Star: The case of AB Aurigae. *A&A* 2007.V.468. P.541(in Eng.)
 [8] Oskinova L.M., Clarke D., Pollock A.M.T. *A&A* 378, L21 (2001). (in Eng.)
 [9] Naz' e Y., et al., *A&A* 2010.V. 520, P.59. (in Eng.)
 [10] Oskinova L.M., Naz' e Y., Todt H. et.al. A new type of X-ray pulsar. *NatCo* 2014 V.5 id. 4024(in Eng.)
 [11] 10. Hamidouche M., Wang Shiya, Looney Leslie W. The X-RAY origin of Herbig AeBe
 [12] systems: new insights. *Astron.J.* 2008.V. 135. P.1474 (in Eng.)
 [13] 11. Petit V., Cohen D.H., Wade G.A. et.al. X-ray emission from the giant magnetosphere of
 [14] O-type star NGC 1624-2. *MNRAS.* 2015. V.453.P.3288 (in Eng.)
 [15] 12. Getman K.V., Feigelson E.D., Micela G. et.al. X-Ray flares in Orion Young Stars. II.
 [16] Flares, Magnetospheres, and Protoplanetary Disks. *Ap.J.* 2008.V.688. P.437 (in Eng.)
 [17] 13. Fairlamb R. D. Oudmaijer R.D., Mendigut'ia I. et.al. A spectroscopic survey of Herbig
 [18] Ae/Be stars with X-Shooter I: Stellar parameters and accretion rates. *MNRAS*.2015.V.453.P.97. (in Eng.)

ӨОЖ: 524.5

Л.А. Павлова, Э.Я. Вильковинский

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ЖАС ЖҮЛДЫЗДАРДА X-ray ЭМИССИЯЛАР ҚҰРЫЛУЫНЫҢ НЕГІЗГІ МЕХАНИЗМДЕРІ

Аннотация. Соңғы 35 жылда рентгендік (X-ray) эмиссия Бас Жүйелілікте өтетін жұлдыздардың барлық түрлерінде табылды. Күнде карағанда ауқымды жұлдыздарда плазма аймағында жоғары температура құра отырып, әртүрлі ағымдар соқтығысуы кезінде соғылу толқындары құрылу кезі аралығында тамаша жұлдыз желі бақыланады. Ғарыштық телескоптар бақылаулары бойынша көптеген үлкен жұлдыздарда іргелі жұлдыздық пульсация кезеңімен жиі сәйкес келетін сәулелену пульсациясы табылды. Қазіргі таңда әртүрлі массадағы жұлдыздарда X-ray эмиссия табиғатын түсіндіру үшін Бас Жүйелілікке дейін барлық жұлдыздарға тән кейбір процестер қарастырылады: жұлдыз беткі қабаты жөнінде аккрециялық соққылар, жұлдыздық өтулерде X-ray эмиссии қайта сәулелену және/немесе соққы жылуы арқасында жұлдыз маңындағы дискілерде флюоресценциясы. Бұл процестер тұтасымен жұлдыздардың магниттік белсенділігімен байланысты және энергия және температураның әртүрлі ортасы және әртүрлі шкалаларында жұмыс істейді. Әртүрлі жас объектілер үшін, X-ray пульсация үлкен амплитудамен оптикалық пульсация фазасымен сәйкес келеді. X-ray аймағында жарық талдауы жұлдыз радиусы минималды кезде сол сәтте айтарлықтай жарық бақыланатынын көрсетті. Жаңа бақылаулар ішкі дискісі жас жұлдыздар магнитосферасымен шектелген жұлдыз-диск магниттік өзара әрекеттің үлгісімен келісетін қатты айналатын диск созылыққы короналды X-ray ілмекті анықтауға мүмкіндік берді.

Тірек сөздер: жас жұлдыздар, X-ray эмиссия, масса жоғалту, аккреция, пульсация.

Сведение о авторе:

Павлова Лариса Андреевна - канд. физ.-мат. наук, Дом. Адрес: Алматы, Обсерватория д.20 кв.5 д/т 2607468, Место работы- ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова»;

Вильковинский Э.Я. - доктор физ.-мат. Наук, профессор, Дом. Адрес: Алматы, Обсерватория д.20 кв.5 д/т 2607468, Место работы- ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова»

L.A. Pavlova , E.Ya. Vilkoviskij

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
Lapavlova44@mail.ru

OBSERVATIONS OF X-RAY EMISSION FROM BINARIES HERBIG AEBE STARS

Abstract. The interpretation of X-ray detections from Herbig Ae/Be stars is disputed as it is not clear whether these intermediate-mass pre-main sequence stars are able to drive a dynamo and magnetic activity, stellar winds, star-disk magnetospheres, or unresolved late-type star companions. In an XMM-Newton observation of star formation in the ρ Ophiuchi dark cloud detect smoothly variable X-ray emission from the B2IV+B2V system of ρ Ophiuchi. The smooth variability is explained with the emergence of an extended active region diameter in the range 0.5–0.6 R^* on the surface of the primary star due to its fast rotation ($v \sin i \sim 315$ km/s). Binaries with hot massive components are strong X-ray sources. Besides the intrinsic X-ray emission of individual binary members originating in their winds, X-ray emission stems from the accretion on the compact companion or from wind collision.

Chandra/ACIS imaging establishes that five components of HBC 515 are X-ray sources, with HBC 515A - a subarcsecond-separation binary that is partially resolved by Chandra - being the dominant X-ray source, the low-mass protostar HBC 515B, through Class II HBC 515D and transition disk objects HBC 515 C. The coexistence of two such disparate objects within a single, presumably coeval multiple YSO system highlights the influence of pre-MS star mass, binarity, and X-ray luminosity in regulating the lifetimes of circumstellar, planet-forming disks and the timescales of star-disk interactions.

Key words: Binaries, intermediate-mass, pre-main sequence stars, X-ray emission

Л.А. Павлова, Э.Я. Вильковиский

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

НАБЛЮДЕНИЯ X-RAY ЭМИССИИ ОТ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД AeBe ХЕБИГА

Аннотация. Наблюдения X-rays эмиссии Ae/Be звезд Хербига были проведены на обсерватории XMM-Newton и Чандра в рентгеновском диапазоне. Интерпретация X-ray эмиссии связана либо за счет динамо или других явлений магнитной активности или со звездными ветрами, звезда – диск магнитосферой, или неразрешенными компаньонами звезд поздних типов Т Тау, способных обеспечить наблюдаемое X-ray излучение. На обсерватории XMM-Newton были проведены наблюдения в области формирования звезд ρ Oph и получена плавная переменность X-rays эмиссии от системы B2IV+B2V ρ Oph. Плавная переменность может быть объяснена появлением протяженной активной области диаметром 0.5- 0.6 R^* на поверхности первой звезды благодаря жесткому вращению. Сильная X-ray эмиссия и ее переменность может иметь магнитную природу. Двойные системы с горячими массивными компонентами имеют сильные источники X-ray излучения. В этих системах доля материи главной звезды приходит или от ветра горячей звезды или от течения потока в области Роша, переносимый на компактный объект. Новые наблюдения X-ray получены с помощью спутника Чандра и субмм изображения системы HBC 515 окруженной несколькими юными звездными объектами. Пять членов этой системы представляют замечательное разнообразие ряда юных объектов, включающих от низко массивной протозвезды HBC 515B класса I/II, через класс II HBC 515D и переходный диск HBC 515C к без дисковой системы HBC 515A средней массы двойной до главной последовательности. Сосуществование двух таких разных объектов внутри одного места предполагает мультиплетную систему молодых объектов в стадии до ГП, среди которых высоко светящиеся

звезды до ГП, двойные и X-гау эмиссия регулируют время жизни околозвездной среды, процессы формирования планет и временные взаимодействия между звездой и диском.

Ключевые слова: двойные, средних масс, ППП звезды, X-гау эмиссия.

Введение

В последние годы обнаружена X-гау эмиссия при наблюдениях на космических телескопах Chandra и XMM Ньютон в направлении на AeBe звезды Хербига (AeBeX), но пока нет полной ясности в природе ее формирования. Если в мало массивных звездах поздних спектральных типов предположено, что сочетание конвекции и дифференциального вращения посредством динамо-эффекта приводит к усилению магнитной активности звезды, в результате которой появляются мощные хромосферы способные нагревать внешнюю атмосферу до 10МК, создавая X-гау излучение. В таких звездах магнитные короны скорее всего подобны солнечной короне и способны отвечать за наблюдаемый уровень рентгеновской эмиссии. Во время вспышек нестабильность магнитных полей может сильно возрастать и позволяет объяснить наблюдаемую переменность X-гау эмиссии на временной шкале минут - часов [1]. Для А и В звезд Главной Последовательности (ГП) имеется критическая зона между типами звезд B5 – A5, в которых нет ни сильных ветров, ни конвективных оболочек, потому и не ожидается X-гау излучение. Тем не менее. X-гау излучение наблюдается и у звезд этого типа. Было предположено, что таким звездам могут сопутствовать неразрешенные компаньоны поздних спектральных типов, способных обеспечить наблюдаемое X-гау излучение. Гипотеза компаньонов была подтверждена, когда у половины В- типов звезд ГП они были обнаружены. По сравнению с А и В звездами Главной Последовательности, AeBe звезды Хербига (AeBeX) относятся к молодым звездам, которые еще не достигли ГП, они окружены туманностями, оболочками, дисками – остатками от недавнего формирования звезд. Однако X-гау излучение связано с наличием магнитной активности, тогда как ИК излучение связано с околозвездной средой, организованной в виде диска. Один из механизмов рассматривает динамику потока плазмы от активного диска вдоль линий магнитного поля на поверхность юной звезды, который может производить аккреционный удар с умеренной температурой 3 – 5 МК. Плазма сжимается до плотностей $>10^{11} \text{ см}^{-3}$, так что линии высокой ионизации в УФ становятся чувствительной диагностикой плотности. Второй фундаментальный процесс – магнитное динамо, отвечающий за корональную активность. Предполагается, что магнетизм в системе звезда – диск может отвечать за вспышки и избытки мягкого X-гау излучения за счет аккреции и истечения. Эти механизмы играют значительную роль в формировании X-гау излучения в AeBeX звездах, когда они находятся еще в аккреционной фазе эволюции [2]. Скорее всего. магнетизм, аккреция, истечение и компаньоны часто сопутствуют друг другу.

Результаты исследования

Данные спектрометров Chandra и XMM Ньютон в области X-гау излучения позволяют детально исследовать физические процессы по спектрам молодых звезд. В последние годы разные методы наблюдений в широком диапазоне длин волн с высоким разрешением позволили обнаружить двойственность у многих объектов. Исследования с высоким разрешением изображения X-гау с Chandra AeBeX звезд и звезд В типов Главной Последовательности с известными тесными визуальными компаньонами позволили пространственно их разделить. Формирование околозвездных дисков в таких системах может проходить в плоскости орбиты двойной системы, что подтверждается и данными поляризации этого типа звезд, а компаньоны позднего спектрального класса типа Т Тау позволяют объяснить наблюдаемую X-гау эмиссию. Присутствие разрешенных компаньонов вблизи AeBe звезд Хербига было подтверждено наблюдениями в ИК и радиодиапазонах. С другой стороны, наблюдения X-гау эмиссии в направлении на этот класс объектов может быть связан с неразрешенными компаньонами, которые обладают свойствами мало массивных Т Тау звезд, для которых типична сильная X-гау эмиссия, связанная с магнитно – гидродинамическими, вспышечными и корональными явлениями (подобно Солнцу).

Список молодых звезд с компаньонами с наблюдаемой X-ray эмиссией. Изучение двойственности среди AeBe звезд Хербига в оптическом диапазоне показали, что порядка 85% объектов могут относиться к двойным системам, подобная статистика наблюдается и для ТТау звезд.

Исследования изображений с высоким разрешением близкого окружения 17 молодых AeBe звезд Хербига с признаками двойственности показало, что для всех их компаньонов была обнаружена X-гау эмиссия [3]. Этот результат подтвердил ранние предположения, что молодые звезды могут быть окружены скоплениями неразрешенных излучающих X-гау источников. Причем X-гау светимость этих компаньонов часто похожа на то, что наблюдается у мало массивных Т Тау звезд.

Таблица 1 - Параметры компаньонов AeBe звезд Хербига с наблюдаемой X-гау эмиссией

name	D pc	Sp	Sep''	PA°	logLx	lg Lx/L*
BD+30°549	390	B8 Vpe	–	–	29.31	-5.51
V892 Tau	162	A6 e	4.10	23.4	30.80	-2.65
			0.05	50	29.96	-3.11
V380Ori	460	B8/A1 e	0.15	204.2	30.96	-4.67
				SB		
HD147889	136	B2 V		SB	<28.55	<-8.36
V590Mon	800	B8 ep+sh	–	–	30.51	-4.10
ZCMa	1050	F6 III e	0.11	129	30.30	-8.43
HD97300	188	B9 V	–	–	29.80	-5.33
HD100546	103	B9 Vne	4.54	196.5	<27.81	
			5.22	155.1	<27.81	
			5.91	26.4	<27.81	
			5.55	322.6	<27.81	
HD104237	116	A0 Vpe	5.28	310.1	30.11	-4.90
			1.37	254.6	<28.39	
			10.72	117	<29.20	
			14.88	121	29.06	-3.26
				SB	29.62	-2.92
HD141569	99	B9.5 Ve	7.57	311.5	29.64	-3.33
			8.93		29.27	-3.37
HD150193	150	A1 Ve	1.10		30.22	
					29.32	-5.65
HD152404	145	F5V			20.09	-5.45
HD163296	122	A1 Ve	-		29.60	-5.37
MWC297	250	O9 e	3.39	313	29.28	-8.32
HD176386	136	B9 IV	4.1	138	<28.56	<-6.72
TYCrA	136	B9 e	0.29	188.5	30.63	-3.93
				SB		
RCrA	130	A1 -F7ev	-	-	28.81	-4.59

1 столбец - имя объекта, 2ст. - расстояние, 3-ст. - спектральный тип объекта, 4ст - угловое разделение, 5 - угол направления на компаньон, 6ст. - Тип X, 7- светимость компаньонов в эрг/с, 8ст.- светимость X-гау по отношению к звезде.

Дальнейшие исследования изображений с высоким разрешением близкого окружения 9 молодых AeBe звезд Хербига показало, что для всех их компаньонов была обнаружена X-гау эмиссия. Этот результат подтвердил ранние предположения, что молодые звезды могут быть окружены скоплениями неразрешенных излучающих X-гау источников. Причем светимость этих компаньонов часто похожа на то, что наблюдается у мало массивных T Tau звезд. В таблице 1.2.5 приведем параметры компаньонов, наблюдаемых у 9 AeBe звезд Хербига. [4].

Таблица 1.2.5 - Параметры компаньонов 9 AeBe звезд Хербига

Name	Sep	PA	comp	Log Lx
MWC147	3.11	344.4	B	30.6
Hen 3-1141	1.45	3.0	B	30.4
AS 310	1.31	78.3	B	30.5
	2.22	240.5	C	30.
	3.74	233.4	D	30.4
	4.34	122.0	E	30.1
	4.88	0.9	F	30.4
	5.00	6.1	G	<30.1
V373 Cep	1.87	96.6	B	30.1
BD+65 1637		–	–	30.7
BD+65 1638		–	–	30.8
AS 477	1.31	308.7	B	30.3
	4.67	40.0	C	30.7
	5.82	205.7	D	29.3
	6.01	199.9	E	29.1
HR5999	1.46	109.7	B	30.1
HR6000	–	–	–	29.7

Таблице 1ст - имя объекта, 2 - угловое разделение в секундах, 3 - позиционный угол компаньона 4 - идентификация компаньона. 5 - Светимость в X-гау в эрг/с,

Оптическая спектроскопия тесных компаньонов трех AeBe звезд Хербига с X-гау эмиссией: HD 144432, HD 150193, KK Oph позволила исследовать спектральные свойства компаньонов, которые свидетельствует о том, они являются мало массивными звездами аналогами T Tau звезд, для которых присутствие корональных и магнитосферных явления позволяет объяснить наблюдаемую рентгеновскую эмиссию [5]

Для выяснения природы X-гау эмиссии двойных массивных OB звезд на обсерватории XMM-Newton были проведены наблюдения в области формирования звезд ρ Oph и получена плавная переменность X-гау эмиссии от двойной системы B2IV+B2V ρ Oph. Кривая блеска показала первую фазу с устойчивой скоростью, затем появилась другая фаза в течении 10 ks, затем фаза с высокой скоростью. Переменность видна в полосе 1-0.8 keV, хотя небольшая переменность есть и ниже 1 keV. Спектральный анализ трех фаз показал присутствие горячего компонента на 3 keV и двух относительно холодных компонент на 0.9 keV и 2.2 keV. Плавная переменность может быть объяснена появлением протяженной активной области на поверхности первой звезды благодаря жесткому вращению ($v \sin i \sim 315$ km/s). Диаметр этой области был оценен около 0.5- 0.6 R_* . Сильная эмиссия и ее переменность может иметь магнитную природу, как предполагалось для некоторых OB звезд. Не исключается альтернативное объяснение, основанное на появлении затемнений юных низко массивных компаньонов в X-гау областях. [6]

Двойные системы с горячими массивными компонентами имеют сильные источники X-гау излучения. Высоко массивные X-гау двойные - это системы, состоящие из массивной горячей звезды с высокой светимостью и компактного объекта или нейтронной звезды, или черной дыры. В этих системах доля материи главной звезды приходит или от ветра горячей звезды или от течения потока в области Роша, переносимый на компактный объект. Эти объекты могут достигать высокой X-гау светимости – $10^{37} - 10^{38}$ эрг/с. Ве/ X-гау двойные тоже состоят из горячей звезды донора и компактного объекта, материя аккрецируется от околозвездного диска главной звезды Ве в этих объектах, достигая светимости 10^{37} эрг/с. Когда X-гау эмиссия организована в ветре, который сталкивается с не вырожденным горячим компонентом, то результат этого взаимодействия относительно слабый X-гау источник со светимостью $10^{32} - 10^{33}$ эрг/с. Внутренняя X-гау эмиссия каждого компаньона двойной системы связана с их ветрами, эмиссия X-гау может формироваться путем аккреции на компактный компаньон или от столкновения ветров. Так как ветер горячей звезды управляет абсорбцией света в линиях тяжелых элементов, ускорение ветра чувствительно к стадии ионизации. Сверхионизация индуцирует сильный внешний X-гау источник, который зависит от ветров индивидуальных компонент. [7]

Предварительные наблюдения X-гау эмиссии позволили выделить группу массивных двойных. Эта эмиссия связана с ударно нагретой плазмой в зоне взаимодействия ветров, локализованной между звездами. Когда две звезды связаны в двойной системе, их ветра могут взаимодействовать и часть кинетической энергии уходит на нагревание. Эти взаимодействия дают основу наблюдаемым сигналам в широкой области электромагнитного спектра от радио до γ -гау. При столкновении ветров возникает X-гау излучение нагретой плазмой в зоне взаимодействия ветров. В горячих массивных звездах спектральных типов OB обнаружены источники X-гау излучения, которые могут быть связаны с такими процессами, как удары в высоко скоростных течениях звездных ветров, столкновения ветров в двойных системах и замагниченные конфигурации ударов в ветрах. В не магнитных единичных O звездах внутренняя нестабильность в течении звездных ветров может создавать спектр X-гау мощностью около 0.5 Кэв со светимостью по отношению к болометрической порядка 10^{-7} . В массивных двойных системах столкновения двух типов ветров может значительно увеличить жесткость излучения в области X-гау до 10 Кэв. [8]

В магнитных звездах Ap/Vp средних масс природа наблюдаемой X-гау эмиссии пока не совсем ясна. Новые наблюдения этих звезд позволяют более точно приблизиться к пониманию их магнитной природы. Многие наблюдаемые особенности – кривые блеска, вспышки, распределение светимости и спектральные свойства часто подобны аналогичным параметрам низко массивных звезд. Пока не ясно как эти особенности могут воспроизводиться магнитосферой этих звезд. Чаще всего рассматривается роль ударного ветра и звездной магнитосферы, и возможной роли компаньонов. [9]

Новые наблюдения X-гау эмиссии получены с помощью спутника Чандра и субмм изображения системы HBC 515 окруженной несколькими юными звездными объектами. Пять членов этой системы представляют замечательное разнообразие ряда юных объектов, включающих от низко массивной протозвезды HBC 515B класса I/II, через класс II HBC 515D и переходный диск HBC 515C к без дисковой системы HBC 515A средней массы двойной до главной последовательности. Данные изображения Chandra/ACIS указывают на то, что все пять компонент имеют источники X-гау, но HBC 515A с суб сек разделением двойной (частично разрешенной Chandra) имеет доминантный источник X-гау. Обнаружены вспышки, связанные с HBC 515B. Изображения HBC 515B в субмм диапазоне показывают источник сильной непрерывной эмиссии, более слабый источник соседствует с положением переходного диска объекта HBC 515C. Этот результат поддерживает протозвездную природу HBC 515B. Тогда как HBC 515A является редким классом относительно массивной, со светимостью X-гау типа T Tau со слабыми линиями, это двойная

система с диском на очень ранней стадии эволюции до Главной Последовательности. Существование двух таких разных объектов внутри одного места предполагает мультипланетную систему молодых объектов в стадии до ГП, среди которых высокосветящиеся звезды до ГП, двойные и X-гау эмиссия регулируют время жизни околозвездной среды, процессы формирования планет и временные этапы взаимодействия между звездой и диском [10].

При анализе возможных механизмов для объяснения X-гау эмиссии одной из списка AeBeX AB Aur рассматривалась вероятность присутствия не разрешенного мало массивного компаньона для организации X-гау эмиссии. Оценка массы компаньона по данным Chandra могла бы составлять около 0.3 M_{\odot} , но такой компаньон не смог бы обеспечить наблюдаемую X-гау эмиссию. Кроме того, обнаружено совпадение периода в переменности X-гау эмиссии с периодом изменений в линиях, сформированных в ветре AB Aur, что делает гипотезу компаньона маловероятной. Формирование X-гау эмиссии при аккреции тоже широко обсуждается, но при наблюдаемой электронной плотности скорость аккреции оценивается порядка $M \approx 10^{10} M_{\odot}/\text{год}$, что на 2 порядка ниже необходимой величины [11].

Выводы

При интерпретации наблюдаемой X-гау эмиссии, обнаруженной в ряде AeBeX звезд, рассматривались разные механизмы: магнитная активность, столкновение звездных ветров, взаимодействие магнитосферы звезды и диска или от компаньонов поздних классов, которые могут объяснить наблюдаемую X-гау эмиссию. Мощность этих процессов связана с проявлениями звездной и околозвездной магнитной активности, которая меняется в процессе эволюции объектов. В двойной системе OB звезд внутренняя X-гау эмиссия каждого компаньона может быть связана с их ветрами и за счет аккреции на компактный компаньон. Двойные системы с горячими массивными компонентами имеют сильные источники X-гау излучения со светимостью около $10^{37} - 10^{38}$ эрг/с. Когда X-гау эмиссия организована в ветре, который сталкивается с не вырожденным горячим компонентом, то результат этого взаимодействия относительно слабый X-гау источник со светимостью $10^{32} - 10^{33}$ эрг/с. В массивных двойных системах столкновения двух типов ветров может значительно увеличить жесткость излучения в области X-гау до 10 Кэв. Гипотеза компаньонов может быть подтверждена более обоснованно наблюдениями с высоким разрешением AeBe звезд Хербига. Скорее всего, основные механизмы: магнетизм, аккреция, истечение и компаньоны могут сопутствовать друг другу и объяснять наблюдаемую X-гау эмиссию.

Работа выполнена в рамках проекта 0.0674

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gudel M., Naze Y. X-Ray Spectroscopy of Stars. A&A Rv 2009.V.17.P.309.
- [2] Montmerle T. What can X-rays tell us about accretion, mass loss and magnetic fields in young stars./ «Star-disk Interaction in Young Stars». Proceedings IAU Symposium 2007 № 243. Ed. J.
- [3] B. Stelzer, G. Micela, K. Hamaguchi, and J. H. M. M. Schmitt On the origin of the X-ray emission from Herbig Ae/Be stars. A&A 2006.V.457.P.223.
- [4] Stelzer B., Robrade J., Schmitt J. H. M. M., and Bouvier J New X-ray detections of Herbig stars. A&A 2009. V.493. P.1109.
- [5] Carmona A., Van den Ancker M.E., Henning Th. Optical spectroscopy of close companions to nearby Herbig Ae/Be and T Tauri stars. arXiv:0701208v1
- [6] Pillitteri I., Wolk S.J., Goodman A., Sciortino S. Smooth X-ray variability from ro Ophiuchi A+B. A strong magnetized primary B2 star. A&A 2014 V.576.P.4
- [7] Krticka J., Kubat J., Krtickova I. X-ray irradiation of the winds in binaries with massive components.A&A. 2015.V.579.P.111.
- [8] Gregor Rauw*, Ya'el Naze X-ray emission from interacting wind massive binaries: a review of 15 years of progress. Advances in Space Research 2016.V. 58.P. 761-781
- [9] Robrade J. X-ray from magnetic intermediate mass Ap/Bp stars. AdSpR 2016.V.58.P.727
- [10] Principe D.A., Sacco G.G., Kastner J.H., et.al. The Multiple Young Stellar objects of HBC 515:An X-ray and millimeter – wave imaging study in (PMS) diversity. arXiv:1610.03851v1
- [11] Telleschi A., Manuel G`udel M., Briggs K.R., et.al The first high-resolution X-ray spectrum of a Herbig Star: The case of AB Aurigae. A&A 2007.-V.468. - P.541

REFERENCES

- [1] Gudel M., Naze Y. X-Ray Spectroscopy of Stars. A&A Rv 2009.V.17.P.309. (in Eng.)
- [2] Montmerle T. What can X-rays tell us about accretion, mass loss and magnetic fields in young stars. «Star-disk Interaction in Young Stars». Proceedings IAU Symposium 2007 № 243. Ed. J. Bouvier& I. Appenzeller (in Eng.)
- [3] B. Stelzer, G. Micela, K. Hamaguchi, and J. H. M. M. Schmitt On the origin of the X-ray emission from Herbig Ae/Be stars. A&A 2006.V.457.P.223. (in Eng.)

- [4] Stelzer B., Robrade J., Schmitt J. H. M. M., and Bouvier J New X-ray detections of Herbig stars. A&A 2009. V.493. P.1109. (in Eng.)
- [5] Carmona A., Van den Ancker M.E., Henning Th. Optical spectroscopy of close companions to nearby Herbig Ae/Be and T Tauri stars. arXiv:0701208v1 (in Eng.)
- [6] Pillitteri I., Wolk S.J., Goodman A., Sciortino S. Smooth X-ray variability from the Ophiuchi A+B. A strong magnetized primary B2 star. A&A 2014 V.576.P.4 (in Eng.)
- [7] Krticka J., Kubat J., Krtickova I. X-ray irradiation of the winds in binaries with massive components//A&A. 2015.V.579.P.111. (in Eng.)
- [8] Gregor Rauw*, Ya'el Naze X-ray emission from interacting wind massive binaries: a review of 15 years of progress //Advances in Space Research 2016.V. 58.P. 761-781 (in Eng.)
- [9] Robrade J. X-ray from magnetic intermediate mass Ap/Bp stars // AdSpR 2016.V.58.P.727
- [10] Principe D.A., Sacco G.G., Kastner J.H., et.al. The Multiple Young Stellar objects of HBC 515:An X-ray and millimeter – wave imaging study in (PMS) diversity. arXiv:1610.03851v1 (in Eng.)
- [11] Telleschi A., Manuel G'udel M., Briggs K.R., et.al The first high-resolution X-ray spectrum of a Herbig Star: The case of AB Aurigae. A&A 2007.-V.468. - P.541(in Eng.)

ӘОЖ: 524.5

Л.А. Павлова, Э.Я. Вильковиский

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ХЕБИГТИҢ AeBe ҚОС ЖҰЛДЫЗДАРЫНАН X-RAY ЭМИССИЯЛАРДЫ БАҚЫЛАУ

Аннотация. Хербигтің Ae/Be жұлдыздары X-rays эмиссии бақылау рентгендік диапазонда ХММ-Newton және Чандр обсерваторияларында жүргізілді. X-ray эмиссияларды түсіндіру не динамо немесе магниттік белсенділігінің басқа көріністерімен немесе жұлдыз желдерімен, магнитосфераның жұлдыз–дискісімен немесе бақыланатын X-ray сәулеленуді қамтамасыз етуге қабілетті Т Тау жұлдыздардың кейінгі түрлерінің рұқсат етілмеген серіктестерімен байланысты. ХММ-Newton обсерваторияларында ρ Орф жұлдыздарының қалыптасу аймағында бақылаулар жүргізілді және B2IV+B2V ρ Орф жүйесінен X-rays эмиссияның бірқалыпты айнымалылығы алынды. Бірқалыпты айнымалылық қатты айналу себебінен алғашқы жұлдыздар жоғары қабатына 0.5- 0.6 R * диаметрімен созылықы белсенді аймағы пайда болуымен түсіндірілуі мүмкін. Күшті X-ray эмиссия және оның айнымалылығы магниттік қасиетке ие болуы мүмкін. Жалынды көлемді компоненттері бар қос жүйелерде X-ray сәулеленудің күшті көздері бар. Бұл жүйелерде негізгі жұлдыздың материя үлесі немесе жалынды жұлдыз желінен, немесе шағын объектіде тасмалданатын Роша аймағында ағымдар ағынынан өтеді. X-ray жаңа бақылаулары Чандра серігінің көмегімен алынды және субмм жүйелер көріністері HBC 515 бірнеше жас жұлдыздар объектілерімен қоршалған. Бұл жүйенің бес мүшесі I/II тобынан төмен ауқымдағы HBC 515B протожұлдыздардан II HBC 515D дискілі емес жүйе тобы арқылы және HBC 515C өтпелі дисктен HBC 515A бас жүйелілікке дейін қос орташа ауқымын құрайтын жас объектілердің тамаша әртүрдегі қатарын ұсынады. Бір орын ішінде осындай екі әртүрлі объектінің қатар өмір сүруі БЖ дейін жоғары жарқыраған жұлдыздар ортасында БЖ дейін кезеңде жас объектілердің мультиплеттік жүйесін жобалайды, қос және X-ray эмиссиялар жұлдыз маңындағы ортаның өмір уақытын, планеталардың қалыптасу процесстерін және жұлдыздар және дискі арасындағы уақытша өзара әрекетті реттейді.

Тірек сөздер: қос, орташа масса, ППП жұлдыздар, X-ray эмиссия.

Сведение о авторе:

Павлова Лариса Андреевна - канд. физ.-мат. Наук, Дом. Адрес: Алматы, Обсерватория д.20 кв.5 д/т 2607468, Место работы- ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова»

Вильковиский Э.Я. - доктор физ.-мат. наук, Дом. Адрес: Алматы, Обсерватория д.20 кв.5 д/т 2607468, Место работы- ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова»

L.A. Pavlova

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

Lapavlova44@mail.ru

INVESTIGATING OF THE STRUCTURE AND MECHANISMS VARIABILITY IN ENVELOPES OF YOUNG STARS

Abstract. The Herbig Ae/Be (HAeBe) stars are pre-main sequence stars surrounded by gas- and dust-rich circumstellar discs often show a near-infrared excess. From interferometric observations imaged discs with developing cavities or wide gaps and thermal deficits in the mid-IR have identified with typical of the Meeus group I HAe stars, as pretransitional disks. In some disks spiral arms have been found, and a few cases have demonstrated that these are also seen in dust and gas in the sub-millimeter, consistent with spiral density waves. Studying the circumstellar environment at small scales is possible through linear spectropolarimetry. The spectropolarimetric observations of 12 HAe/Be objects have the largest wavelength coverage, 4560Å- 9480Å. A change in linear polarisation across the H α line, is detected in all objects. Such a line effect reveals the fact that matter are not distributed in a spherically symmetric volume, suggesting the presence of small disks around these accreting objects. Different epochs of near-IR spectroscopy for a sample of 25 young stars, including T Tau, HAe/Be, and FU Ori objects is obtained K-band spectra of the BrGamma transition of hydrogen, with a resolution of ~ 3500 . Epochs were taken over a span of >1 year, sampling time-spacings of roughly one day, one month, and one year. The compare observed variability with expectations for rotationally-modulated accretion onto the central stars and time-variable continuum emission or extinction from matter in the inner disk. The characteristic timescale of this variability is often observed to be hours to days, similar to expectations for magnetically mediated accretion. In particular, optical spectroscopic variability on timescales comparable to stellar rotation periods has been interpreted as evidence for rotationally-modulated accretion along stellar magnetic field lines. Optical line profiles for many young stars appear to trace a combination of infalling and outflowing matter. It may be hard to distinguish whether observed variability is due to a variable accretion flow, a variable outflow, or a combination of both. The variability of the optical and near-IR lines are correlated, but suggest that the variability amplitude may be (marginally) smaller for Br emission than for H α emission. Z CMa indicate a complex environment in which each star has a circumstellar disk and drives a jet, and the whole system is embedded in a large dusty envelope. The C IV 1548,1550 λ line luminosities are compared to non - simultaneous accretion rate estimates for AeBeX showing C IV emission. The younger objects are indeed accreting at a faster rate, and that the accretion rate diminishes more quickly for older HAeBe stars, which could be a consequence of disc dissipation.

Key words: young stars, circumstellar structure, magnetospheric accretion, outflow.

Л.А. Павлова

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕННОСТИ В ОБОЛОЧКАХ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД

Аннотация. Звезды AeBe Хербига относятся к молодым объектам, эволюционирующим к Главной Последовательности, они окружены газово-пылевыми околозвездными дисками, которые создают избытки ближнего инфракрасного излучения. По интерферометрическим наблюдениям обнаружены диски с развитыми полостями или широкими разрывами и дефицитом тепла в средней ИК области, которые относятся к группам Ae звезд Хербига. Недавние наблюдения позволили предположить, что многие объекты гр.1 с

вспыхивающими дисками имеют разрыв, тогда как гр. 2 с вытянутыми дисками этих разрывов не имеют. В некоторых дисках находят спиральную структуру, аналогичную структуре в субмм диапазоне, согласующуюся со спиральными волнами плотности. Методом линейной спектрофотометрии исследовалась околозвездная среда 12 AeVe звезд Хербига в широком диапазоне длин волн 4560А-9480А, которые показали изменения линейной поляризации через линию H α во всех объектах. Это свидетельствует о несферической симметрии оболочки, предполагая присутствие малых дисков вокруг аккрецирующих объектов. На примере 25 молодых звезд, среди которых T Tau, XAe/Be, and FU Ori, получена спектроскопия в близкой ИК области в полосе К линии BrG с разрешением 3500. Эпоха наблюдений более 1года с интервалом один час, один день, один месяц, один год. Проведено сравнение наблюдаемой переменности с ожидаемым для вращательно модулированной аккреции на звезду и временная переменность непрерывной эмиссии или экстинкция от среды внутреннего диска. Характерное время переменности наблюдалось в пределах часа или дней указывает на магнитную аккрецию. Переменность в оптической спектроскопии на шкале, сравнимой с периодом звездного вращения, интерпретируется в рамках вращательно модулированной аккреции вдоль линий звездного магнитного поля. Оптические профили линий часто показывают комбинацию падающего и истекающего материала. Потому трудно разделить природу переменности благодаря аккреционным потокам, истечению, или их комбинации. Переменность в оптике и ИК коррелирует, но амплитуда переменности в оптике в линии H α выше, чем в линии Br-гамма. Комплексная структура вокруг двойной системы Z CMa показала диски и джеты около каждой из звезд, погруженных в общую большую пылевую оболочку. По линиям C IV 1548,1550 А было показано, что в юных объектах скорость аккреции выше и она уменьшается с возрастом по мере диссипации диска.

Ключевые слова: молодые звезды, околозвездная структура, магнитосферная аккреция, истечения.

Введение

Исследование природы сложных структур околозвездных оболочек молодых звезд с массами 2-15 M_{\odot} является одним из наиболее информативных и коротких этапов в формировании звезд, который позволяет понять ход эволюции и рождение планетных систем. Изучение физики и морфологии околозвездных структур ведется разными методами и в широком спектральном диапазоне. На основе разных методов наблюдений возможно выделение основных структур околозвездной оболочки и зон действия механизмов - звездного и дискового ветра, аккреции, истечения и падения вещества, областей испарения пыли, внутреннего газового диска и магнитосферы. Изучение околозвездной среды на малых шкалах возможен методом спектрополяриметрии, способным измерять рассеяние фотонов на свободных электронах в плотном ионизованном газе и магнитные поля по параметрам Стокса. Анализ переменности профилей эмиссионных линий в оптике и инфракрасном диапазоне позволяет анализировать физические и динамические процессы в околозвездных оболочках. ИК спектро-интерферометрия позволяет исследовать внутреннюю структуру дисков вокруг молодых звезд и выявлять мультиплетные эмиссионные компоненты. Данные поляризации дают информацию об асимметрии среды около звезд, эволюционирующих к Главной Последовательности, так как в плотных молекулярных облаках формирование звезд и их околозвездных структур происходит вдоль силовых линий магнитных полей. Именно поэтому можно ожидать связь между величиной и ориентацией собственной поляризации излучения молодых звезд с направлением магнитного поля и с вытянутостью околозвездных структур. Так наличие дисков может привести к значительной собственной поляризации, степень которой зависит от количества рассеивающей пыли, сплюснутости диска и его ориентации по отношению к наблюдателю. Необходимы длительные мониторинги большого числа AeVe звезд Хербига во всем спектральном диапазоне с высоким разрешением для более однозначного выбора механизмов переменности и определения изменений околозвездных структур в процессе эволюции. В данной работе рассматриваются современные наблюдения объектов, полученные на больших телескопах Европейских обсерваторий, для анализа механизмов и структур звезд с оболочками.

Методы исследования

Многочисленные поляризационные наблюдения молодых объектов за последние 30 лет показали выровненность между околозвездной поляризацией и межзвездными магнитными полями. Магнитные поля играют большую роль на больших масштабах в процессах коллапса гигантских молекулярных облаков и на малых шкалах при формировании протозвездных джетов и истечений и околозвездных дисков [1].

Современная ИК-интерферометрия позволяет довольно точно определить наклон диска. Углы истечений или джетов можно получать из карт протяженной оптической и радио эмиссии. На прямых снимках областей молодых звезд оптические джеты позволяют определить плоскости неразрешенных дисков, предполагая ортогональность этих структур. Данные таблицы 1 показывают ортогональность джетов и дисков и связь направлений данных структур с собственной поляризацией звезды. Данные ИК поляриметрии подтверждают зависимость ориентации поляризации от оптической толщи диска: оптически тонкий диск имеет

угол поляризации перпендикулярно плоскости диска, тогда как оптически толстый диск производит поляризацию параллельно диску [3,4].

Таблица 1 - Параметры собственной поляризации AeBe звезд Хербига и ориентация межзвездных и околозвездных структур [2,3]

Object	Alt. Name	Sp	θ_{out}	θ_{disk}	Pol. θ^*	θ_{gl}	θ_{cl}
V594 Cas	BD+61.154	B8	2	83	100	83	178
HD 200775	MWC 361	B2	70	7	96	40	170
LkHa 208		B7	4	90	17	150	0
MWC 137		B0	30	152	162	162	30
MWC 147	V700 Mon	B6		80	168	162	80
R Mon		B0/8	5	90	91	156	0
MWC 297		B0	164	95	112	40	40
BD+40 4124	V1685 Cyg	B3		110	14	40	170
MWC 1080	V628 Cas	B0	60	55	75	70	70
HD163296		A0	40	135	28	40	40
AB Aur	HD 31293	A0		79	160	170	176

В Таблице 1- 1и2 столбцы-имя звезды, 3-спектральный класс, 4-угол истечения,5-ориентация диска, 6-собственная поляризация звезды, 7- ориентация плоскости Галактики, 8-вытянутость облака.

За последние 10 лет на очень больших телескопах с интерферометрами получены наблюдения большого числа протопланетных дисков. Коронаграфические наблюдения в ИК области показали, что вблизи молодых звезд AeBe Хербига обнаружены диски с разрывами у звезд HD 142527, Oph IRS 48, SAO 206462, HD 169142, HD 100546, где разрыв в NIR чаще меньше, чем разрыв в субмм диапазоне. Для объектов гр.1 были найдены диски с развитыми полостями или широкими разрывами и дефицитом тепла среднем ИК. Эти разрывы могут быть связаны с формированием массивных тел (экзопланет).



Рисунок 1 - Схема структуры околозвездной оболочки с разрывами

Недавние наблюдения позволили предположить, что многие объекты гр.1 с вспышками дисками имеют разрыв, тогда как гр. 2 с вытянутыми дисками этих разрывов не имеют. Было обнаружено, что некоторые объекты гр.2 имеют размеры и цвета подобно источникам гр.1 переходных дисков. Это указывает на возможность подобия структур. Вероятно, есть популяция объектов гр.2 с разрывами и вытянутые диски с разрывами возможно происходят из вытянутых дисков без разрывов. Или разрывы в вытянутых дисках формируют отдельную популяцию, или некоторые из них могут принадлежать к вспышкам дискам с большими разрывами [5]. На рис.2 приведены примеры коронаграфических наблюдений в ИК области объектов гр.1 с ярко выраженной спиральной структурой.

Наиболее примечательной особенностью NIR изображений оказались спиральные рукава в 8 звездах Хербига и одной G-типа системы. Число рукавов варьируется от диска к диску от одного (HD 34282; V 1297 Ori; Oph IRS 48) до 5 и более (HD142527; AB Aur; HD 100546). Когда имеются CO наблюдения, то они тоже следуют этим структурам. Асимметричные спиральные рукава затемняют внешние диски у SAO 206462, MWC 758 и HD 142527. Затемнение большей доли внешнего диска предполагает, что спиральные рукава, видимые в NIR, имеются на высоких широтах по отношению к диску и они оптически толстые.

Спиральные структуры, обнаруженные в некоторых дисках, часто видны и в субмм диапазоне как спиральные волны плотности. Обнаружение таких волн зависит от положения объекта на луче зрения, т.е. наилучшая ситуация вид с полюса [5].

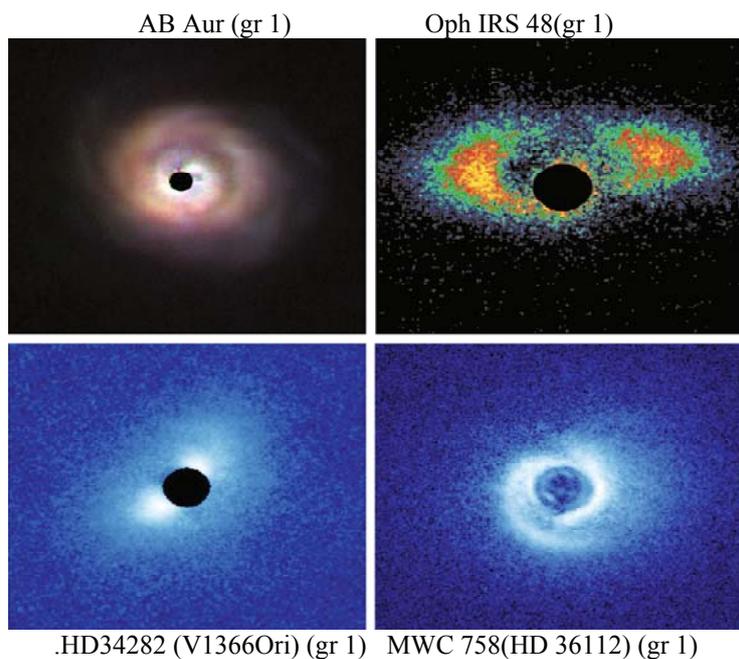


Рисунок 1 - Распределение околозвездной среды в ИК области для объектов гр.1.

Результаты исследования

Эволюционный статус AeBe звезд Хербига (AeBeX) предполагает присутствие нестационарных процессов как в самой звезде, так и в околозвездной оболочке, отвечающей за значительную переменность наблюдаемых эмиссионных линий в широком спектральном диапазоне. Такие проявления позволяют определять структуру оболочки и механизмы, ответственные за формирование переменности. Так в спектрах многих звезд наблюдаются линии высокой ионизации и эмиссия X-лучей. Отмечена вращательная модуляция резонансных линий, которая может быть объяснена модуляцией структуры ветра в магнитном поле. Но прямых признаков аккреции в спектрах AeBeX звезд пока недостаточно, но для объяснения больших инфракрасных избытков излучения она необходима. Однако возможность наблюдений аккреции вблизи горячих звезд на начальной стадии эволюции и роль магнитных полей в формировании аккреционных дисков остается открытой проблемой. Анализ наблюдаемых скоростей эмиссионных линий показывает, что области, где идут процессы истечения и аккреции, расположены на одних и тех же расстояниях вблизи звездной поверхности. Наблюдаемые смены этих механизмов для ряда объектов зависят от изменения оптической толщи, которая может меняться в зависимости от положения вращающейся неоднородной оболочки на луче зрения. Данные моделирования показали преимущество для модели падения/ истечения с присутствием газа на радиусе 0.01a.e. Была поддержана гипотеза о том, что эмиссия в основном идет по магнитосферному течению аккреции и/или истечения в юных системах с диском, создавая наблюдаемые активные явления. Процессы аккреции являются эволюционным индикатором формирования молодых звезд, но для звезд AeBe Хербига они плохо идентифицируются, хотя многие наблюдательные явления часто связывают с магнитной активностью. Временная характеристика переменности в пределах часа или дней, подобно ожидаемого от магнитной аккреции. Спектроскопическая переменность на шкале, сравнимой с периодом вращения интерпретируется как очевидность для вращательной модуляции аккреции вдоль линий магнитного поля звезды. Позднее были проведены подобные мониторинги и для более массивных аналогов звезд AeBe Хербига. Для некоторых звезд сила магнитных полей измерена в пределах нескольких сот гаусс, что говорит о слабой аккреции. Наблюдается ясная корреляция между периодом вращения звезды и силой магнитной активности у этих звезд, которые создают важные переменные физические эффекты в аккреционных течениях. Скорее всего, максимум переменности в скорости масс - аккреции достигается на временной шкале вращения, которая показывает, что вращательная модуляция является ключом для понимания аккреции.

Наблюдения показывают, что газ и пыль распределены неоднородно, область газовой эмиссии расположена близко к звезде и более компактна, чем пылевая. Так данные эмиссии в линии Вг-гамма в ИК области вокруг некоторых массивных звезд показывают, что газ более протяжен, чем пыль, предполагая образование этой эмиссии в следах истечения. Было предположено возникновение Вг - гамма эмиссии на расстояниях меньше 0.1 a.e. Наиболее реалистичная физическая модель запыленного околозвездного диска

предполагает, что эмиссия от горячей пыли доминирует вблизи радиуса сублимации пыли и включает газовую эмиссию до внутреннего края. Предполагается, что пылевая эмиссия возникает в круге с радиусом около 0.2 а.е. с достаточной температурой для сублимации пыли [6].

Переменность в скорости аккреции может привести к изменениям в структуре внутреннего диска, связанную с временной переменностью околозвездной экстинкции. Наблюдаемая переменность в оптических эмиссионных линиях часто интерпретируются в терме переменной аккреции, которая дает эмпирические корреляции светимости линий со скоростью аккреции. Для многих молодых звезд прослеживается комбинация падения и истечения вещества. И порой трудно разделить наблюдаемую переменность происходит она за счет падения или истечения, или их комбинации. Не все звезды с P Cyg эмиссионным профилем в оптике повторяются в ИК области в профиле линии Vg гамма, которая чаще показывает признаки аккреции по обратному P Cyg профилю. Многие исследования показывают корреляцию оптической и ИК переменности, но амплитуда переменности эмиссии в ИК меньше, чем в линии H α . Один из путей разрешить эту проблему - мониторинг Vg гамма эмиссии, которая тоже коррелирует со скоростью аккреции. С этой целью были проведены спектроскопические наблюдения 25 молодых звезд в области K полосы в линии водорода Vg гамма с разрешением 3500 для выявления особенностей переменности среди T Tau, 17 AeBeX и 3 объектов типа FU Ori. Спектроскопический мониторинг звезд в оптическом диапазоне привел к некоторому пониманию о кинематике газа и переменности вокруг молодых звезд. Среди AeX звезд эмиссия определена во всех объектах с амплитудой переменности похожей на T Tau. Но для звезд с двойным профилем HD 141569 и 51 Ori предполагается другая морфология эмиссии. Практически все BeX звезды показали сильную Vg гамма эмиссию и более переменную, кроме, LkHa 169 и V361 Ser. Наиболее массивный объект V645 Cyg показал признаки звездного ветра во всех эпохах. Однако MWC 297- еще один массивный объект не показал таких профилей в эмиссионных линиях. Не все звезды с P Cyg эмиссионным профилем в оптике повторяются в ИК области в профиле линии Vg гамма, которая более часто показывает признаки аккреции по обратному P Cyg профилю. Многие исследования показывают корреляцию оптической и ИК переменности, но амплитуда переменности эмиссии в ИК меньше, чем в линии H α . [7]

Обсуждение результатов исследования

Распространенная точка зрения о том, что AeBeX звезды окружены дисками, через которые материал непрерывно аккрецирует на звезду, но точного сценария еще нет. Требуется изучение структуры и механизмов в околозвездных оболочках, через которые вещество падает на звезду по аккреционным каналам. Необходимы методы, способные исследовать среду очень близкую к звезде, где возможно изучение влияния действия магнитосферной аккреции. Ключевая роль наблюдений состоит в определении структуры ионизованных областей – являются они сферически симметричными или нет. Если нет, то тогда вытянутые структуры возможно поддерживают наблюдения для сценария дисковой аккреции, отвечающей за формирование таких звезд. Изучение околозвездной среды на таких малых шкалах возможно методами спектрополяриметрии, способной измерять рассеяние фотонов на свободных электронах в плотном ионизованном газе. Получены данные спектрополяриметрических наблюдений 12 AeBeX звезд в более широкой оптической области от 4560Å до 9480Å, чем ранее. В спектре есть рекомбинированные линии водорода, Ca II, Fe II, OI and He I и несколько запрещенных линий [O I], [Fe II] и [S II]. Уровень непрерывной поляризации в объектах от 0.3% до 12% (HD 85567 и R Mon соответственно). Поляризация континуума в некоторых случаях не следует закону Серковского, но предполагает собственную поляризацию, переменность которой значительна по сравнению с межзвездной. Изменения в поляризации вдоль линии H α определены во всех объектах, что связано с уплощенной структурой оболочки. [8]

Звезды AeBe Xербига расположены между низко массивными и массивными звездами и могут помочь в объяснении формирования многих наблюдаемых механизмов. На примере 91 звезд AeBeX проведено большое однородное спектроскопическое исследование данных, для получения темпа аккреции. Измерения в УФ были промоделированы в контексте магнитосферной аккреции, для прямого определения скорости аккреции. Определены различные корреляции между аккрецией и свойствами звезд: юные и часто массивные звезды имеют сильную аккрецию и соотношение 1:1 между светимостью аккреции и звездной светимостью. Несмотря на общую тенденцию увеличения скорости аккреции в AeBeX по сравнению с классическими T Tau звездами, видны различия в корреляции между AeX и BeX звездами. Это приводит к трудностям в использовании модели магнитосферной аккреции для некоторых BeX звезд, что дает основание для предположения другой формы аккреции для звезд BeX. [9].

Для Be звезды Xербига MWC147 были проведены спектральные наблюдения в области H α в АФИФ на протяжении многих лет, которые позволяют понять некоторые особенности излучения такого типа объектов. Спектральные наблюдения и данные других авторов показали временные изменения эмиссионного профиля линии H α , которые свидетельствуют в пользу присутствия аккреции и истечения в разные моменты времени

[10,11]. Это проявлялось в переменности пиков V и R двойного профиля в соотношениях интенсивности $V > R$ (аккреция) или $V < R$ (истечение). Инфракрасные наблюдения этого объекта в близкой и средней области (в полосах NIR H и K, в полосах MIR 8мкм и 13 мкм) из данных VLTI/MIDI и AMBER позволили построить не только геометрию распределения яркости, но и радиальное распределение температуры в диске [12]. На основе этих наблюдений было проведено детальное моделирование интерферометрических данных спектрального распределения энергии моделями 2-Д переноса излучения. Модели Кеплеровского диска с эмиссией от оптически толстого внутреннего газового аккреционного диска (внутри зоны сублимации пыли) хорошо воспроизводят ИК наблюдения. Был сделан вывод, что непрерывная эмиссия в NIR от MWC147 доминирует за счет аккреционной светимости от оптически толстого внутреннего газового диска, а MIR эмиссия за счет вклада от внешнего пылевого диска. ИК спектро-интерферометрия позволяет исследовать внутреннюю структуру дисков вокруг молодых звезд и выявлять мультиплетные эмиссионные компоненты.

Исследование околосредной среды вблизи звезды Z СМа, состоящей из звезд ВеХ и FU Ori, разделенных на 100а.е., показали комплексное окружение у каждой звезды, у которых есть околосредный диск и джет, а вся система заключена в большую пылевую оболочку. Цель работы – проба среды в пределах 400а.е. около Z Сма с использованием высоко контрастных поляриметрических изображений в H и K полосах, которые показали сложную внутреннюю среду в деталях и хорошим контрастом. Центральная двойная показала три ярких и сложных структуры: общую пылевую оболочку, протяженную особенность в прямом свете и загадочное яркое пятно южнее двойной, но пространственно связанной с протяженной особенностью. [13]

Спектры с высоким разрешением в ультрафиолете небольшого числа звезд AeBeX были проанализированы для выяснения природы высоких температур газа (около 10^5 K) в этих звездах. Светимость линий C IV 1548,1550Å сравнивалась с оценками скорости аккреции, полученных для других объектов с этими эмиссионными линиями. Было показано, что нет очевидности для горячего оптически толстого ветра в приведенных примерах. Все объекты показали двойные профили эмиссии в C IV. Морфология и пики скоростей этих линий дает основание предполагать, что они сформированы в слабом, оптически тонком ветре, а не в аккреционных потоках, как в случае горячих линий в классических T Tau (CTTS) звездах. Отсутствие сильного сигнала истечения и отсутствие очевидности для формирования линий в аккреционных потоках вполне согласуются с выводами исследований в оптике линии He I 10830Å для AeBeX звезд, которые показали, что близкая околосредная среда звезд AeBeX, в целом, отличается от среды около CTTS. Сигнал истечения наблюдался в высоко температурных линиях C IV в некоторых AeBeX звездах. Для AV Aur, BD+46. 3471, HD 250550, и BD+61.154 первые модели формирования линии C IV в расширяющейся хромосфере показали, что температура в ветре 15000 – 20000K и потере массы $5 \cdot 10^{-8}$ Мо/год. Сигналы сильного звездного ветра при умеренной температуре около 20000K видны во многих AeBe звездах Хербига в линии He I 10830Å. [14,15]

Выводы

Современные методы наблюдений позволяют разрешать внутренние (0.1а.е) области между звездой диском. Это позволяет исследовать детально структуру и физику околосредной оболочки, которая включает пыль и излучающий газ, морфологию диска, роль магнитных полей в формировании механизмов падения или истечения газа. Данные показывают преимущество для модели падения/ истечения и согласуются с присутствием газа на радиусе 0.01а.е. Обнаружены спиральные рукава в околосредных структурах в ИК и субмм диапазонах, видимые как спиральные волны плотности. Анализ наблюдаемых скоростей эмиссионных линий показывает, что области, где идут процессы истечения и аккреции, расположены на одних и тех же расстояниях вблизи звездной поверхности. Характерное время переменности наблюдалось в пределах часа или дней указывает на магнитосферную аккрецию. Переменность в оптической спектроскопии на шкале, сравнимой с периодом звездного вращения и интерпретируется в рамках вращательно модулированной аккреции вдоль линий звездного магнитного поля. Оптические эмиссионные профили линий часто показывают комбинацию падающего и истекающего материала. Наблюдаемая эмиссия идет по магнитосферному течению аккреции и/или истечения в юных системах с диском, создавая наблюдаемые активные явления. По эмиссионным линиям в разных спектральных диапазонах было показано, что в юных объектах скорость аккреции выше, и она уменьшается с возрастом по мере диссипации диска.

Работа выполнена в рамках гранта №0075/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

[1] Targon C.G., Rodrigues C.V., Cerqueira A.H., Hicckel G.R. Correlating the interstellar magnetic field with protostellar jets and its sources. Ap.J.2011.V.743.P.54

- [2] Павлова Л.А. Влияние магнитных полей на формирование околозвездных структур. Известия МОН РК. НАН РК 2001. №4.с.56-60.
- [3] Павлова Л.А. Исследования поляризации и магнитных полей в Орионе. Известия МОН РК. НАН РК 2012 .№3 №4.с.56-60.
- [4] Pereyra A. et.al. Near Infrared polarimetry of a sample of YSOs? 2009. arXiv:0903.4212.
- [5] Grady C., Fukagawa M., Maruta Y., et.al. The outer disks of Herbig stars from the UV to NIR. *Astrophys Space Sci* (2015) 355:253–266
- [6] Mottram J.C. et.al On the difference between Herbig Ae and Be stars. *MNRAS* 2007, 377, 1363
- [7] Eisner J.A., Rieke G.H., Rieke M.J. et.al. Time-monitoring observation of Br γ emission from Young stars. *MNRAS* 2015.V.447.P.202
- [8] Ababakr M., Oudmaier R.D., Vink J.S. Linear spectropolarimetry across the optical spectrum of Herbig AeBe stars.// *MNRAS* 2016. V.461. P.3089
- [9] Fairlamb J.R., Oudmaier R.D., Mendigutia I., Ilee J., van den Ancker M.E. A spectroscopic survey of Herbig AeBe stars with X-shooter I: Stellar parameters and accretion rates // *MNRAS*-2015.-V453.P.976].
- [10] Курчаков А.В., Рспаев Ф.К. Спектральные и фотометрические наблюдения Be звезды MWC 147. Изв.НАН РК.- 2009.- N4.- С.46.
- [11] Pavlova L.A., Kondratyeva L.N., Valiullin R.R. Spectral variations of AeBe Herbig stars in the Mon R1 *Astron.and Astrophys. Transactions*- 2005.-V.24.P.-307.
- [12] Kraus S., Preibisch Th., and Ohnaka K. Resolving the inner active accretion disk around the Herbig Be star MWC147 with VLTI/MIDI+AMBER spectro-interferometry. arXiv:0801.4377v1
- [13] Canovas H., Perez S., Dougados C., et.al. *A&A* 2015V.578.P.1
- [14] Wilson Cauley P., Johns –Krull C.M. Diagnosing Mass Flows around Herbig AeBe stars
- [15] using HeI 10830 line. *Ap.J.*-2014.-V.-797.-P.112.
- [16] Wilson Cauley P., Johns –Krull C.M. INVESTIGATING THE ORIGIN OF HOT GAS
- [17] LINES IN HERBIG AE/BE STARS. arXiv:1605.04187v1

REFERENCES

- [1] Targon C.G., Rodrigues C.V., Cerqueira A.H., Hickel G.R. Correlating the interstellar magnetic field with protostellar jets and its sources. *Ap.J.*2011.V.743.P.54 (in Eng.)
- [2] Павлова Л.А. Vliaynie magnitnih polei na formirovanie okolozvezdnykh structur. **Izvestiya MON RK, NAN RK** ,2001. №4.с.56-60.(in Russ)
- [3] Павлова Л.А. Issledvaniya polarizatsii i magnitnih polei v Orione. **Izvestiya MON RK, NAN RK** . 2012 .№3 №4.с.56 60. (in Russ)
- [4] Pereyra A. et.al. Near Infrared polarimetry of a sample of YSOs? 2009. **arXiv:0903.4212**. (in Eng.)
- [5] Grady C., Fukagawa M., Maruta Y., et.al. The outer disks of Herbig stars from the UV to NIR. **Astrophys Space Sci** 2015.V 355.P.253–266 (in Eng.)
- [6] Mottram J.C. et.al. On the difference between Herbig Ae and Be stars. **MNRAS** 2007, V. 377.P.1363 (in Eng.)
- [7] Eisner J.A., Rieke G.H., Rieke M.J. et.al. Time-monitoring observation of Br γ emission from Young stars. **MNRAS** 2015.V.447.P.202 (in Eng.)
- [8] Ababakr M., Oudmaier R.D., Vink J.S. Linear spectropolarimetry across the optical spectrum of Herbig AeBe stars. **MNRAS** 2016. V.461. P.3089 (in Eng.)
- [9] Fairlamb J.R., Oudmaier R.D., Mendigutia I., Ilee J., van den Ancker M.E. A spectroscopic survey of Herbig AeBe stars with X-shooter I: Stellar parameters and accretion rates. **MNRAS**-2015.-V453.P.976 (in Eng.)
- [10] Kurchakov A.V., Rspaev F.K., Spectral and fotometric observation Be stars MWC 147. **Izvestiya MON RK, NAN RK** . 2009. N4. C.46.
- [11] Pavlova L.A., Kondratyeva L.N., Valiullin R.R. Spectral variations of AeBe Herbig stars in the Mon R1 **Astron.and Astrophys. Transactions**, 2005,V.24,P.307. (in Eng.)
- [12] Kraus S., Preibisch Th., and Ohnaka K. Resolving the inner active accretion disk around the Herbig Be star MWC147 with VLTI/MIDI+AMBER spectro-interferometry. **arXiv:0801.4377v1** (in Eng.)
- [13] Canovas H., Perez S., Dougados C., et.al. **A&A** 2015V.578.P.1 (in Eng.)
- [14] Wilson Cauley P., Johns –Krull C.M. Diagnosing Mass Flows around Herbig AeBe stars
- [15] using HeI 10830 line. **Ap.J.**2014.V.797.P.112. (in Eng.)
- [16] Wilson Cauley P., Johns –Krull C.M. INVESTIGATING THE ORIGIN OF HOT GAS
- [17] LINES IN HERBIG AE/BE STARS. **arXiv:1605.04187v1** (in Eng.)

Л.А. Павлова

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**ЖАС ЖҮЛДЫЗДАР ҚАБАТТАРЫНДАҒЫ АЙНЫМАЛЫЛЫҚТЫҢ
ҚҰРЫЛЫМДАРЫН ЖӘНЕ МЕХАНИЗМДЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Аннотация. Хербигтің AeBe жұлдыздары Бас Жүйелілікте эволюцияланушы жас жұлдыздарға жатады, олар жақын инфрақызыл сәулелену артылуын құрайтын газ-тозаңды жұлдыз маңындағы жұлдыздармен қоршалған. Интерферометриялық бақылаулар бойынша Хербигтің Ae жұлдыздар 1 тобына жататын дамыған жолақтармен және орташа ИҚ аймақтарда алшақ ажыраулармен және жылудың жетіспеушілігімен дискілер табылды. Жақындағы бақылаулар 2 топтағы созылған дискілерде ажыраулар жоқ кезде, 1 топтағы көптеген объектілер тұтанған дискілермен ажырауы бар екендігін болжауға мүмкіндік берді. Бірнеше дискілерде тығыздықтың шиыршық толқындарымен келісілген субмма диапазонда бірегей құрылымында шиыршық құрылым табады. Сызықтық спектрофотометрия әдісімен 4560A-9480A толқындар бойлығы кең диапазонда барлық объектілерде сызықтық поляризация H α сызығы арқылы өзгерістер көрсеткен Хербигтің AeBe жұлдыздардың жұлдыз маңындағы ортасы зерттелді. Бұл аккрецияланған объектілер айналасында кіші дисктердің болғанын жобалай отырып қабықтың сфералық емес симметриясы жөнінде растайды. Мысалы арасында T Tau, XAe/Be, and FU Ori бар 25 жас жұлдыздар 3500 келісіммен B γ G сызығында K жолағына жақын ИҚ аймағында спектроскопия алынды. 1 жылдан аса бақылау дәуірі бір сағат, бір күн, бір ай, бір жыл интервалымен. Жұлдыздарға айналмалы үлгілендірілген аккреция және үздіксіз эмиссия уақытша айнымалылығы немесе ішкі диск орнасынан екстинкция үшін күтілілген бақылған айнымалылықтың салыстырылуы жүргізілді. Айнымалылыққа тән магниттік аккреция көрсететін уақыт сағат немесе күндер шегінде бақыланды. Жұлдыздардың айналу кезеңімен салыстырылатын шкалада оптикалық спектроскопия айнымалылығы жұлдыздық магниттік өріс сызығы бойында айналмалы үлгілендірілген аккреция аясында түсіндіріледі. Сызықтардың оптикалық салалары құлаған немесе аққан материалдың комбинациясын көрсетеді. Сондықтан аккрециялық ағымдар, өтулер немесе олардың комбинациялары арқылы айнымалылықтың қасиетін бөлу қиын. Оптикада және ИҚ айнымалылық ара қатынас орнатады, бірақ айнымалылық амплитудасы оптикада H α сызығы B γ -гамма сызығына қарағанда биік. Z CMa қос жұлдыздар айналасында кешенді құрылым жалпы үлкен тозаң қабығымен толтырылған әрбір жұлдыздың маңында дискілерді және джеттерді көрсетті. C IV 1548,1550 A сызықтары бойынша жас объектілерде аккреция жылдамдығы жоғары және диск диссипация өлшемі бойынша ол азаятыныны көрсетілді.

Тірек сөздер: жас жұлдыздар, жұлдыз маңындағы құрылым, магнитосфералық аккреция, өту.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 110 – 116

UDC 523.03, 523.27

V. M. Tereschenko

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty
(volter2307@mail.ru)

THE COMPARISON OF THE OBSERVED AND CALCULATED MAGNITUDES AND COLOR-INDEXES FOR O-B-STARS OF “SPECTROPHOTOMETRICAL CATALOGUE OF STARS”

Abstract. By comparison of the observed magnitudes with calculated from spectral energy distribution the analysis of reliability of data for 116 O-B-stars of the “Spectrophotometric Catalogue of Stars” was carried out. The calculations made in UB_V-system. Constants in equations were obtained on Vega. The analysis shows that system errors in bands B and V are absent, but in band U system errors present. In UV-region spectrophotometric data are more “blue” than photometric data. Only stars with small differences are able to be used as spectrophotometric standards.

Key words: O-B-stars, absolute spectrophotometry, photometry, calculated color-indexes

УДК 523.03, 523.27

В. М. Терещенко

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова

СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ И ВЫЧИСЛЕННЫХ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА ДЛЯ О-В-ЗВЕЗД «СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КАТАЛОГА ЗВЕЗД»

Аннотация. Путем сравнения непосредственно наблюдаемых и вычисленных из распределения энергии звездных величин выполнен анализ достоверности данных для 116 О-В-звезд «Спектрофотометрического каталога звезд». Вычисления сделаны в системе UB_V. Входящие в уравнения константы определены по Веге. Сравнение подтверждает отсутствие систематических ошибок в полосах В и V и наличие их в полосе U. В ультрафиолетовой области спектрофотометрические данные более голубые, чем фотометрические. Только звезды с небольшими невязками могут использоваться в качестве спектрофотометрических стандартов.

Ключевые слова: О-В-звезды, абсолютная спектрофотометрия, фотометрия, вычисленные колор-индексы.

Алма-Атинский «Спектрофотометрический каталог звезд» [1] продолжает оставаться самым массовым в мире среди аналогичных каталогов. Третье издание каталога насчитывает 1273 звезды разных спектральных классов и классов светимости. В каталоге представлены в основном яркие звезды, до 6^m и несколько десятков звезд 7^m-8^m. Приводимые в каталоге данные о внеатмосферном распределении энергии в спектрах звезд используются, в частности, для стандартизации спектрофотометрических измерений и калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. По этой причине исследование точности и надежности данных каталога не только желательно, но и необходимо. Особенно такой анализ важен для выявления систематических и грубых ошибок распределения энергии в спектрах звезд. Обычно они выявляются путем сравнения с аналогичными данными других авторов. К сожалению, только для половины звезд такие данные имеются. В связи с отсутствием спектрофотометрических данных для анализа их точности и достоверности («правильности») часто используется косвенный метод. Между собой сравниваются непосредственно наблюдаемые звездные величины и вычисленные из спектрального распределения энергии. Разности между ними (невязки) характеризуют внешнюю сходимость данных каталога. Таким способом можно выявить, в

частности, систематические ошибки в зависимости от звездной величины и показателей цвета. Путем сравнения вычисленных и непосредственно наблюдаемых показателей цвета были проанализированы данные второго издания спектрофотометрического каталога [2,3].

В этой работе мы исследуем сходимость спектрофотометрических и фотометрических данных для 116 звезд ранних спектральных классов O7-B5, содержащихся в третьем и четвертом изданиях нашего каталога. Звезды ранних спектральных классов удобны для стандартизации и калибровок аппаратуры в видимой области спектра. В их спектрах имеются протяженные участки, свободные от спектральных линий. Однако, из-за переменности блеска большинство исследуемых здесь звезд не пригодно для таких целей. Многие из них - спектрально двойные, эмиссионные, переменные типа β Сер, пекулярные. Приводимые в литературе фотометрические данные для одной и той же звезды обычно различаются на несколько сотых, а иногда различия достигают 0.1^m . Вместе с тем, среди исследованных звезд имеется несколько десятков, которые вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемых к стандартам.

Сравнение выполнено в фотометрической системе UB_V. Данные о наблюдаемых звездных величинах (цветах) и показателях цвета взяты из базы астрономических данных SIMBAD [4].

Звездная величина в полосе V и показатели цвета U-B и B-V вычислены по формулам:

$$V = -2.5 \lg \sum E(\lambda) \times S_V(\lambda) \times \Delta\lambda + C_V; (1)$$

$$U-B = -2.5 \lg \left[\frac{\sum E(\lambda) \times S_U(\lambda) \times \Delta\lambda}{\sum E(\lambda) \times S_B(\lambda) \times \Delta\lambda} \right] + C_{U-B}; (2)$$

$$B-V = -2.5 \lg \left[\frac{\sum E(\lambda) \times S_B(\lambda) \times \Delta\lambda}{\sum E(\lambda) \times S_V(\lambda) \times \Delta\lambda} \right] + C_{B-V}; (3)$$

где $E(\lambda)$ - монохроматическая освещенность в длине волны λ ; S_U , S_B и S_V - кривые реакции фотометрических полос U, B и V; $\Delta\lambda$ - длина интервала усреднения кривых распределения энергии, шаг гистограммы.

Константы C зависят от нуля-пункта шкалы звездных величин и использованных физических единиц. Они одинаковы для всех звезд и определены по первичному спектрофотометрическому стандарту – Вега, для которой точно известны и распределение энергии и звездные величины.

Таблица 1 - Список звезд, их характеристики и невязки δV , $\delta(U-B)$ и $\delta(B-V)$

№	Название звезды	HD	V	B-V	Sp	δV	$\delta(U-B)$	$\delta(B-V)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	88 \square Peg	886	2.83 ^m	-0.19 ^m	B21V	-0.01 ^m	0.05	+0.02 ^m
2	-	1976	5.57	-0.11	B5 IV	0.09	0.00	-0.07
3	15 κ Cas	2905	4.16	0.14	B1 Ia	-0.04	0.01	0.04
4	29 ρ And	3369	4.36	-0.14	B5 V	0.04	0.06	-0.05
5	19 ξ Cas	3901	4.80	-0.11	B2 V	0.03	0.02	-0.01
6	22 \omicron Cas	4180	4.54	-0.07	B5 IIIe	-0.06	-0.01	-0.02
7	27 γ Cas	5394	2.47	-0.15	B0 I _{ve}	0.16	0.15	-0.07
8	γ Per	10516	4.07	-0.1	B2 V e p	0.07	0.08	-0.02
9	45 ϵ Cas	11415	3.38	-0.15	B3 III	-0.01	0.09	0.02
10	5 Per	13267	6.36	0.3	B5 Ia	0.04	0.04	-0.05
11	10 Per	14818	6.25	0.25	B2 Ia	0.06	0.11	-0.07
12	82 β Cet	16582	4.07	-0.21	B2 IV	0.05	0.06	0.00
13	53 Ari	19374	6.11	-0.12	B1.5 V	-0.04	0.10	0.04
14	-	20336	4.84	-0.11	B2.5 Ve	0.06	0.05	0.03
15	29 Per	20365	5.15	-0.07	B3 V	0.02	0.06	-0.03
16	31 Per	20418	5.03	-0.07	B5 V	0.05	0.10	-0.04
17	-	20809	5.29	-0.08	B5 V	0.12	0.06	0.00
18	-	21278	4.98	-0.09	B5 V	0.12	0.05	0.00
19	34 Per	21428	4.67	-0.10	B3 V	0.06	0.05	-0.04
20	39 β Per	22928	3.01	-0.13	B5 IIIe	0.03	0.06	-0.01

<i>Продолжение таблицы</i>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	40 Per	22951	4.97	-0.05	B0.5 V	-0.13	-0.02	0.01
22	44 ζ Per	24398	2.85	0.08	B1 Ib	0.05	0.06	-0.04
23	35 Eri	25340	5.28	-0.13	B5 V	0.02	0.04	0.03
24	48 Per	25940	4.04	-0.03	B3 Ve	0.02	0.06	0.00
25	-	26356	5.57	-0.11	B5 V	0.05	0.11	0.00
26	49μ Tau	26912	4.29	-0.05	B3 IV	-0.03	0.11	0.03
27	53 Per	27396	4.85	-0.02	B4 IV	0.03	0.13	0.02
28	62 Tau	27778	6.36	0.17	B3 V	0.08	0.13	-0.05
29	43 ν Eri	29248	3.93	-0.21	B2 III	0.01	0.02	0.01
30	94 τ Tau	29763	4.28	-0.11	B3 V	0.04	0.07	0.02
31	9□ Cam	30614	4.29	-0.01	O9.5 Ia	-0.03	0.10	-0.05
32	3□□ Ori	30836	3.69	-0.17	B2 III+B3IV	0.05	0.05	0.01
33	8 □□ Ori	31237	3.72	-0.18	B3 III+B0V	0.05	0.05	0.02
34	10ν Aur	32630	3.17	-0.18	B3 V	0.00	0.01	-0.01
35	103 Tau	32990	5.50	0.06	B2 V	-0.01	0.05	0.03
36	105 Tau	32991	2.79	0.13	B2 Ve	-0.08	0.08	0.05
37	AE Aur	34078	5.96	0.20	O9.5 V	0.10	0.07	-0.05
38	20 τ Ori	34503	3.60	-0.11	B5 III	0.05	0.05	-0.02
39	20 ρ Aur	34759	5.23	-0.13	B3 V	0.05	0.07	0.02
40	6 λ Lep	34816	4.29	-0.24	B0.5 IV	-0.03	0.04	0.06
41	22 Ori	35039	4.73	-0.17	B2 IV-V	-0.05	0.08	0.01
42	28 η Ori	35411	3.36	-0.24	B1V+B2e	-0.01	0.08	-0.05
43	25ψ ¹ Ori	35439	4.95	-0.20	B1 Vpe	-0.02	0.07	-0.02
44	24 φ Ori	35468	1.64	-0.22	B2 III	0.01	0.03	0.00
45	113 Tau	35532	6.25	-0.08	B2 V	0.03	0.09	-0.02
46	115 Tau	35671	5.42	-0.09	B5 V	0.02	0.08	0.01
47	114 Tau	35708	4.88	-0.14	B3 V	0.00	0.12	0.02
48	30φ ² Ori	35715	4.59	-0.20	B2 IV	0.08	0.03	0.03
49	32 Ori	36267	4.20	-0.14	B5 V	0.04	0.03	0.01
50	25 χ Aur	36371	4.76	0.28	B5 Iab	-0.03	0.06	-0.03
51	34 δ Ori	36486	2.23	-0.18	O9.5 II	0.01	0.08	0.05
52	36 ν Ori	36512	4.62	-0.26	B0 V	0.05	0.14	-0.04
53	120 Tau	36576	5.69	-0.02	B2 IV-Ve	0.18	0.10	-0.02
54	121 Tau	36819	5.38	-0.09	B2.5 IV	-0.03	0.07	0.03
55	37φ ¹ Ori	36822	4.41	-0.16	B0 III	0.10	0.04	0.00
56	39 λ Or i	36861/2	3.39	-0.19	O8III+B0.5V	0.01	-0.25	0.01
57	44 ι Ori	37043	2.77	-0.21	O9 III	-0.03	0.06	0.03
58	46 ε Ori	37128	1.70	-0.18	B0 Ia	0.06	0.05	-0.01
59	123 ζ Tau	37202	3.00	-0.15	B4 IIIpe	0.03	0.16	0.09
60	125 Tau	37438	5.18	-0.15	B3 IV	-0.03	0.06	0.03

<i>Продолжение таблицы</i>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
61	48 σ Ori	37468	3.81	-0.19	O9.5 V	0.05	0.07	0.06
62	47 ω Ori	37490	4.57	-0.10	B3 IIIe	0.12	0.11	0.00
63	126 Tau	37711	4.86	-0.13	B3 IV	0.00	0.07	0.01
64	50 ζ Ori	37742/3	1.77	-0.20	O9.7Ib+BOIII	0.06	-0.16	0.02
65	53 κ Ori	38771	2.06	-0.17	B0.5 Ia	-0.02	0.06	0.03
66	3 Mon	40967	4.95	-0.13	B3 III	-0.02	0.07	0.01
67	62 χ^2 Ori	41117	4.36	0.24	B2 Ia	-0.20	0.08	-0.01
68	67 ν Ori	41753	4.42	-0.16	B3 V	0.05	0.08	0.03
69	11 β Mon	45725/7	3.92	-0.10	B3Ve+B3+B3	0.09	0.02	0.11
70	-	45995	6.14	-0.12	B2 Vp	0.02	0.20	-0.06
71	20t CMa	51309	4.37	-0.06	B3 II	-0.11	0.12	0.03
72	19 Mon	52918	4.99	-0.20	B1 V	0.02	0.03	0.02
73	7 η Hya	74280	4.30	-0.19	B3 V	-0.02	0.07	0.01
74	38 κ Hya	83754	5.06	-0.15	B5 V	-0.09	0.09	0.00
75	47 ρ Leo	91316	3.85	-0.15	B1 Ib	-0.06	0.07	0.04
76	67 α Vir	116658	0.98	-0.23	B1 IV+B2V	-0.04	-0.04	-0.02
77	13 ζ Oph	149757	2.56	0.04	O9.5 V	-0.04	0.08	0.01
78	96 Her	164852	5.28	-0.10	B3 IV	0.07	0.08	-0.03
79	102 Her	166182	4.36	-0.16	B2 IV	0.02	0.08	-0.02
80	20 Aql	179406	5.34	0.09	B3 V	-0.02	0.05	-0.07
81	20 η Lyr	18163	4.39	-0.15	B2.5 IV	0.06	0.00	-0.04
82	1 Vul	180554	4.77	-0.06	B4 IV	0.02	0.03	-0.03
83	2 Cyg	182568	4.97	-0.12	B3 IV	-0.03	0.04	-0.01
84	8 Cyg	18471	4.74	-0.15	B3 IV	0.04	0.02	-0.03
85	9 Sge	188001	6.23	-0.03	O7.5 Iaf	-0.03	0.06	-0.07
86	-	188209	5.62	-0.08	O9.5 Ia	0.03	0.07	-0.01
87	23 Cyg	188665	5.14	-0.13	B5 V	-0.03	0.05	-0.01
88	-	190603	5.64	0.76	B1.5 Ia	0.09	0.13	0.21
89	17 Vul	190993	5.07	-0.16	B3 V	-0.05	0.07	0.01
90	28 Cyg	191610	4.93	-0.14	B3 V	-0.02	0.07	-0.01
91	34 P Cyg	139237	4.81	0.38	B2pe	0.10	0.08	-0.05
92	-	193322	5.84	0.07	O9 V	0.04	0.06	-0.04
93	45 ω^1 Cyg	195556	4.95	-0.09	B2.5 IV	0.01	0.05	-0.02
94	28 Vul	196740	5.04	-0.13	B5 IV	-0.02	0.02	0.00
95	54 λ Cyg	198183	4.53	-0.08	B5 Ve	0.06	0.02	0.01
96	55 Cyg	198478	4.84	0.57	B3 Ia	0.07	0.03	0.12
97	57 Cyg	199081	4.78	-0.13	B5 V	0.03	0.05	-0.03
98	-	199579	5.96	0.02	O6 V(f)	-0.03	0.05	-0.02
99	59 Cyg	200120	4.74	-0.08	B1e	0.19	0.12	-0.06
100	60 Cyg	200310	5.37	-0.21	B1 Ve	0.07	-0.31	-0.04
101	66 ν Cyg	202904	4.43	-0.10	B2 Ve	0.20	0.05	-0.05

Продолжение таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
102	68 Cyg	203064	5.00	-0,06	O7.5 III(n)f)	-0.05	0.07	-0.04
103	6 Cep	203467	5.18	-0.04	B3 V	-0.03	0.13	-0.02
104	70 Cyg	204403	5.31	-0.14	B3 V	0.02	0.05	0.00
105	8 β Cep	205021	3.23	-0.20	B1 IV	-0.01	0.08	0.04
106	9 Cep	206165	4.73	0.25	B2 Ib	-0.09	0.06	-0.06
107	80π ¹ Cyg	206672	4.67	-0.12	B3 IV	-0.02	0.02	-0.04
108	81π ² Cyg	207330	4.23	-0.12	B3 III	-0.06	0.07	-0.02
109	16 Peg	208057	5.08	-0.16	B3 Ve	0.05	0.04	-0.05
110	14 Cep	209481	5.56	0.02	O9 V	0.04	0.13	-0.05
111	19 Cep	209975	5.11	0.24	O9.5 Ib	0.03	0.09	0.15
112	22 λ Cep	210839	5.04	0.19	O6 I(n)fp	0.00	0.07	-0.05
113	31 Peg	212076	5.01	-0.13	B2 IV-Ve	0.14	0.12	-0.05
114	52 π Aqr	212571	4.66	-0.17	B1 Ve	0.05	0.11	-0.20
115	-	215191	6.43	-0.12	B1 V	0.06	0.15	0.00
116	93ψ ² Aqr	219688	4.39	-0.14	B5 V	-0.01	0.07	-0.01

Распределение энергии и значение показателей цвета для нее приведены в нашем каталоге [1]. Кривые реакции фотометрических полос взяты согласно Страйжису [5], шаг гистограмм равен 5 нм.

Результаты вычислений приведены в таблице 1 и на рисунках 1-3.

В таблице приведены номера звезд в порядке возрастания прямых восхождений, номера по каталогу HD, спектральный класс и наблюдаемые величины V, а также невязки для V и для показателей цвета U-B и B-V. В нашем случае невязки - это разности между наблюдаемыми и вычисленными значениями соответствующих величин. На рисунках по осям отложены наблюдаемые (по оси X) и вычисленные (по оси Y) звездные величины и показатели цвета.

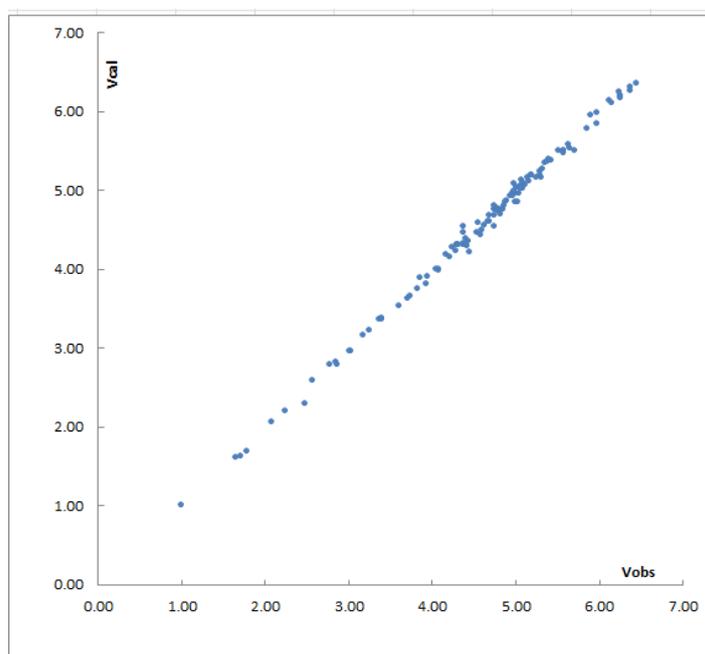


Рисунок 1 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных величин V

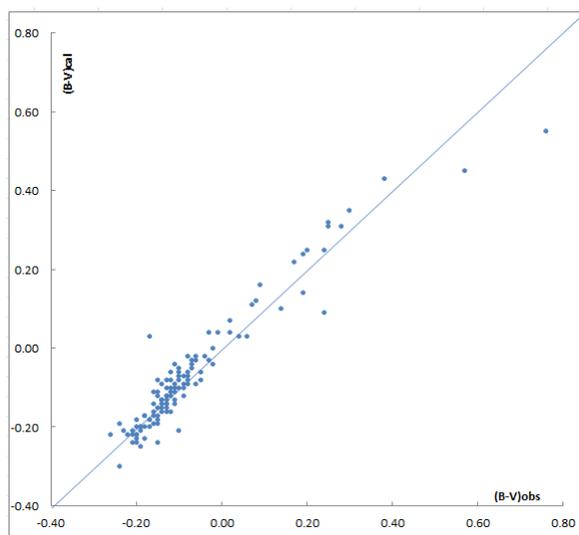


Рисунок 2 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных показателей цвета (B-V)

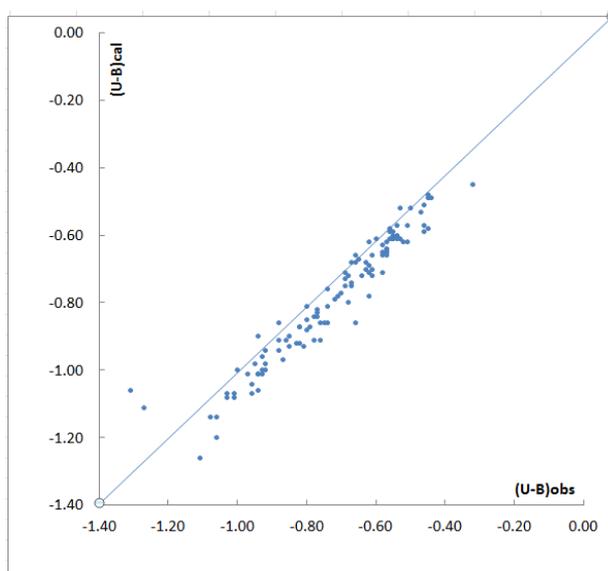


Рисунок 3 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных показателей цвета (U-B)

Из рисунков следует, что для звездных величин в полосе V и для показателей цвета B-V систематических различий между наблюдаемыми и вычисленными из распределения энергии данными, практически нет. Только для нескольких звезд (HD45725/7, HD 190603, HD198478, HD209975 и HD212571) имеются значительные невязки для показателей цвета B-V, превосходящие по величине внутреннюю точность, характеризуемой среднеквадратичной ошибкой. Все они являются либо сверхгигантами, либо кратными или эмиссионными. По всей видимости, невязки для указанных выше звезд вызваны их переменностью. Подтверждением этого является различие фотометрических данных, приводимых разными авторами, которое достигает 0.1^m . Таких звезд среди исследованных насчитывается около 10%. Интересно, что сходимость вычисленных и непосредственно наблюдаемых видимых звездных величин оказалась выше сходимостей для показателей цвета. По-видимому, это объясняется более сильными изменениями излучения данных звезд в ультрафиолетовой области спектра, что свойственно горячим звездам.

Также отметим, что для абсолютного большинства звезд невязки для показателя цвета U-B положительные, вычисленные значения в среднем расположены ниже наблюдаемых на 0.06^m - 0.07^m (на рисунке 3 наблюдается параллельный сдвиг). Таким образом, вычисленные показатели цвета «синее» наблюдаемых. Однозначно ответить на вопрос о природе систематических различий невозможно. Причинами их могут быть небольшая погрешность использованной кривой реакции в полосе U, ошибочное значение константы, систематическая ошибка в распределении энергии в спектрах ранних звезд и, в какой-то мере,

переменность звезд. Имеются случаи, когда невязки достигают 0.2^m (HD 36861/2, HD 37742/3, HD 37202 и HD 45995), но они носят случайный характер. Естественно, что звезды с большими невязками не следует использовать в качестве спектрофотометрических стандартов.

Работа выполнена по программе *О.0674:0003/ГОПЦФ-15 «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (проект «Создание информационной сети спектрофотометрических стандартов промежуточного блеска и исследование звезд, обладающих планетами»)*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars, Lambert Academic Publishing, 2015, 303p;
- [2] Терещенко В.М., Сравнение Алма-Атинского спектрофотометрического каталога с прецизионным фотометрическим каталогом WBVR-величин, Известия НАН РК, серия физ.-мат., 2003, № 4, с. 28-33;
- [3] Терещенко В.М., Результаты сравнения Алма-Атинского спектрофотометрического каталога с фотометрическим каталогом «ТИХО», Известия НАН РК, серия физ.-мат., 2004, № 4, с. 60-64;
- [4] <http://vizier.u-strasbg.fr/>
- [5] В. Страйжис, Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс, Мокслас, 1997, 312с.

REFERENCES

- [1]. Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars, Lambert Academic Publishing, 2015, - 303p. - (in Eng.)
- [2]. Tereschenko V.M. Sravnenie Alma-Atinskogo spektrofotometricheskogo kataloga s pretsizionnym fotometricheskim katalogom WBVR-velichin, Izvestiya NAN RK, seriya fiz.-mat. 2003, № 4, p. 28-33 (in Russ.)
- [3]. Tereschenko V.M. Rezultaty sravneniya Alma-Atinskogo spektrofotometricheskogo kataloga s fotometricheskim katalogom «TIKHO», Izvestiya NAN RK, seriya fiz.-mat. 2004, № 4, p. 60-64 (in Russ.)
- [4]. <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [5]. Straizys V. Mnogotsvetnaya fotometriya zvezd. Vilnius, Mokslas, 1997, 312p.- (in Russ.)

ӘОЖ: 523.03, 523.27

В.М. Терещенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

«ЖҮЛДЫЗДАРДЫҢ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯЛЫҚ КАТАЛОГЫ» О-В-ЖҮЛДЫЗДАР ҮШІН БАҚЫЛАНАТЫН ЖӘНЕ ЕСЕПТЕЛГЕН ЖҮЛДЫЗДАР ШАМАСЫН ЖӘНЕ ТҮСТЕРІНІҢ КӨРСЕТКІШТЕРІН САЛЫСТЫРУ

Аннотация. Тікелей бақыланатын және есептелген Жұлдыздар шамасы энергиясының таралуынан салыстыру арқылы «Жұлдыздардың спектрофотометриялық каталогы» 1160-В-жұлдыздар үшін мәліметтердің нақтылығының талдауы орындалды. UVV жүйесінде орындалғандар есептелді. Констант теңдеулеріне кіретіндер Веге бойынша анықталды. Салыстырулар В және V жолақтарында және жүйелік кателіктердің жоқ екендігін және U жолағында олардың барын дәлелдейді. Ультракүлгін аймақта фотометриялыққа қарағанда спектрофотометриялық мәліметтер айтарлықтай көгілдір. Аз ғана үйлеспеушіліпен жұлдыздар ғана спектрофотометриялық стандарттар ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: О-В-жұлдыздар, абсолютті спектрофотометрия, фотометрия, есептелген колор-индекстер.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 117 – 122

UDC 524.38

L.I. Shestakova, И.В.Рева, А.В.Кусакин

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
shest1952@mail.ru, alfekka@list.ru, un7gbd@gmail.com

TRANSIT PASSAGES OF PLANETOIDS NEAR WHITE DWARF WD1145 + 017 AND THEIR THERMAL EVOLUTION

Abstract. The results of the analysis of the evaporation of planetoids, their fragments and dust particles, found in close orbits near the white dwarf WD1145 + 017, are presented. The data of observations made in 2016, performed on the program WET (World Earth Telescope) at the Tien-Shan Astronomical Observatory (TShAO, Almaty, Kazakhstan) were used. As a result of calculations it was found out that particles whose radii are less than 1 μm evaporate within 30 years.

The emerging separation of a group of fragments in 2016, in 2017 became clear. The group of planetoids had divided, the distance between groups on the assumption of a circular orbit was about 1.1 million km. The main period of 4.5 hours preserved. The dynamic activity of the white dwarf WD1145 + 017 system will require special analysis.

Key words: white dwarf, debris disk, dust particles, planetoids, sublimation

УДК 524.38

Л.И. Шестакова, И.В. Рева, А.В. Кусакин

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

ТРАНЗИТНЫЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ПЛАНЕТОИДОВ ОКОЛО БЕЛОГО КАРЛИКА WD1145+017 И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Аннотация. Представлены результаты анализа процесса испарения планетоидов, их фрагментов и пылевых частиц, обнаруженных на близких орбитах около белого карлика WD1145+017. Используются данные наблюдений 2016 года, выполненные по программе WET (Всемирный Наземный телескоп) на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории (ТШАО, Алматы, Казахстан). В результате расчетов выяснено, что частицы, радиусы которых меньше 1 μm , испаряются в пределах 30 лет.

Наметившееся разделение группы фрагментов в 2016 году в 2017 году стало отчетливым. Группа планетоидов разделилась, расстояние между группами в предположении круговой орбиты стало около 1.1 млн км. При этом основной период 4.5 часа сохранился. Динамическая активность системы белого карлика WD1145+017 потребует специального анализа.

Ключевые слова: белый карлик, осколочный диск, пылевые частицы, планетоиды, сублимация.

Введение. В течение последних лет на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории (ТШАО) ведется регулярный поиск и исследование новых переменных звезд на телескопе Zeiss-1000 [1]. В 2016 году на ТШАО по программе WET (Всемирный Наземный телескоп) наблюдался белый карлик WD1145+017 ($\alpha = 11^{\text{h}} 48^{\text{m}} 34^{\text{s}}$, $\delta = +01^{\circ} 28' 59''$, $V = 17.24^{\text{m}}$), расположенный на расстоянии 174 парсек от Солнца. Наблюдения проводились с телескопом Zeiss-1000 (Восточный), диаметр зеркала 1000 мм, фокусное расстояние системы 6650 мм. Использовалась CCD камера Arogee U9000 D9 с колесом фильтров, которые образуют фотометрическую систему близкую к стандартной системе Джонсона BVR. Обработка полученных изображений и фотометрия объектов проводились с использованием программы MaxIm DL5.

Известно, что около этой звезды вращается планета с периодом 0.19 земных дней (± 0.04), которая была открыта транзитным методом в 2015 году [2]. Белые карлики являются конечным состоянием большинства звезд, в том числе Солнца, после того, как они исчерпали свое ядерное топливо. Примерно 24% - 50% белых карликов имеют элементы тяжелее гелия в их атмосферах, даже если эти элементы быстро оседают в недрах

звезд или иногда пополняются извне. Соотношение обилия тяжелых элементов в атмосферах белых карликов подобны скалистым телам в Солнечной системе. Это обстоятельство, а также существование теплого осколочного диска вокруг около 4% белых карликов позволяют предположить, что скалистые обломки планетных систем иногда загрязняют атмосферы белых карликов. Общая масса аккреции может быть сравнима с массой крупных астероидов в Солнечной системе. Тем не менее, процесс срыва планетарного материала еще не наблюдался.

WD 1145 + 017 (также обозначается EPIC 201563164) является белым карликом с гелиевой оболочкой, согласно наблюдениям космического телескопа Кеплер во время миссии НАСА, которую называют K2. После обработки данных K2 для WD 1145 + 017 получен транзитный сигнал с периодом 4,5 часа. С помощью анализа Фурье данных K2, в работе [2] определили пять более слабых дополнительных периодов, но статистически значимых, все с периоды от 4,5 до 5 часов. Обнаружено, что глубина и форма транзитов значительно различались в течение 80 дней наблюдений.

Сильные транзитные прохождения, которые происходят каждые 4,5 часа, демонстрируют различную глубину до 40% и асимметричные профили, что свидетельствует о небольшом объекте с кометным хвостом из пыльного материала. При этом спектр звезды показывает заметные линии от тяжелых элементов, таких как магний, алюминий, кремний, кальций, железо и никель. Данные этой системы подтверждает предположение о том, что тяжелые элементы, загрязняющие поверхность белых карликов, могут происходить из разрушенных скальных тел, таких как астероиды и малые планеты.

В работе [3] получены обширные фотометрические наблюдения белого карлика WD 1145 + 017, который обладает одним и, возможно, несколькими крупными астероидами с выбросами пыли. По данным [3] наблюдения в течение 37 ночей, с ноября 2015 по январь 2016 г. с небольшими телескопами обнаружили 237 значительных провалов в кривой блеска. Периодограммы выявили значительную периодичность 4.5004 часов. В течение часа на кривой блеска наблюдается депрессия в потоке со средней глубиной почти 10 процентов. Эта депрессия, в свою очередь, состоит из ряда более коротких, а иногда и более глубоких провалов. Найдены также многочисленные провалы на других орбитальных фазах, дрейфующие относительно основного периода. Их наличие объясняется присутствием фрагментов астероидов, движущихся по меньшим орбитам. Определена масса основного астероида $\approx 10^{23}$ г, или около 1/10 масса Цереры. В работе [3] даны дополнительные параметры звезды: $M_{wd} = 0.6 \pm 0.05 M_{\odot}$, $R_{wd} = 1.34 \pm 0.14 R_{Earth}$, $T_{eff} = 15900 \pm 500$ K, $L_{bol} = 0.0088 \pm 0.0021$. Кроме того, дан основной период астероида: $P_A^b = 4.4989 \pm 0.0001$ часов и большая полуось орбиты: $a_A^c = 0.0054$ AU = $94 R_{wd} = 1.16 R_{\odot}$. Радиус астероида примерно равен 200 km или 12% радиуса Луны.

Наблюдения 2016-2017гг. Проведение фотометрических наблюдений избранных пульсирующих белых карликов по согласованной международной программе WET (Всемирный наземный телескоп) проводилось на ряде обсерваторий, включая ТШАО. Координационный центр (DARC) данной программы находится в университете штата Делавер (США), координатор - доктор Джудит Провенкаль. Выбор объектов, сроки, а также методику наблюдений и их обработки утверждает научный совет WET. В программу WET входит более 30 обсерваторий, расположенных по всему миру. Из обсерваторий бывшего СССР в ней участвуют Молетай (Литва, телескоп диаметром 1.65 м), Терскол (Россия, 2м), Майданак (Узбекистан, 1.5м) и ТШАО (телескоп 1.0м, Казахстан).

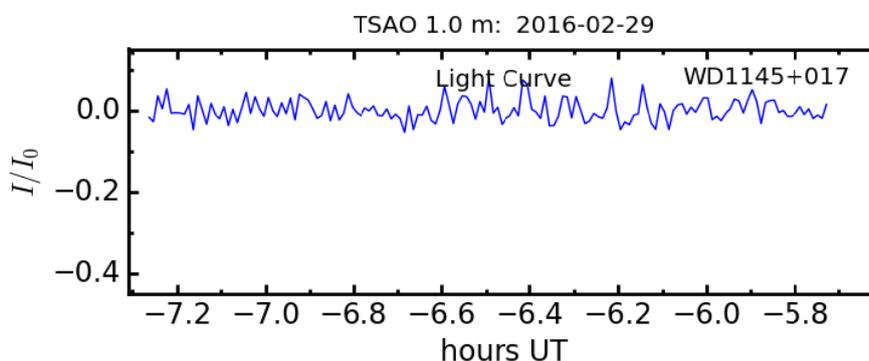


Рисунок 1 - Кривая блеска белого карлика WD1145+017, получена 29.02. 2016

Наши наблюдения белого карлика WD1145+017 выполнены на ТШАО в период с 29 февраля по 14 апреля. Всего по программе WET получен 31 сеанс наблюдений и данные для 8227 точек (моментов времени). Наши наблюдения охватывают более 40% сеансов наблюдений (13 из 31), что объясняется аномально большим количеством ясных ночей на Тянь-Шане в марте 2016 года.

Кривая блеска, полученная 29 февраля, охватывающая интервал времени 1.8 часа (рисунок 1), не показала никаких признаков транзитных прохождений.

После нескольких ночей наблюдений на кривых блеска, охватывающих временной период около 5 часов, появился отчетливый минимум, который повторился по наблюдениям нескольких ночей. И только после ночей наблюдений, охватывающих период 6-7 часов, уверенно зарегистрированы два повторившихся минимума (рисунки 2 и 3), которые показали транзитные прохождения группы планетоидов по диску звезды с периодом около 4.5 часа.

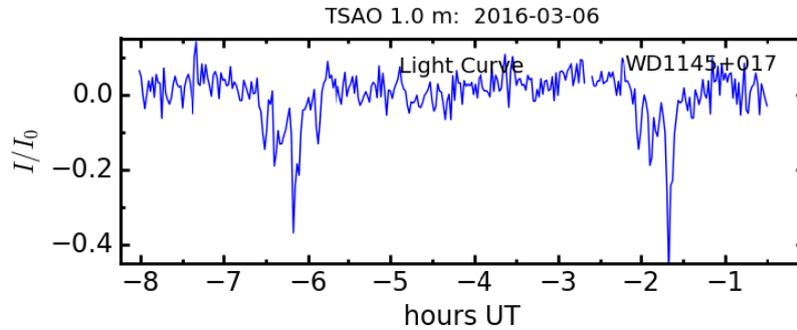


Рисунок 2 - Кривая блеска белого карлика, полученная 6 марта 2016 (ТШАО)

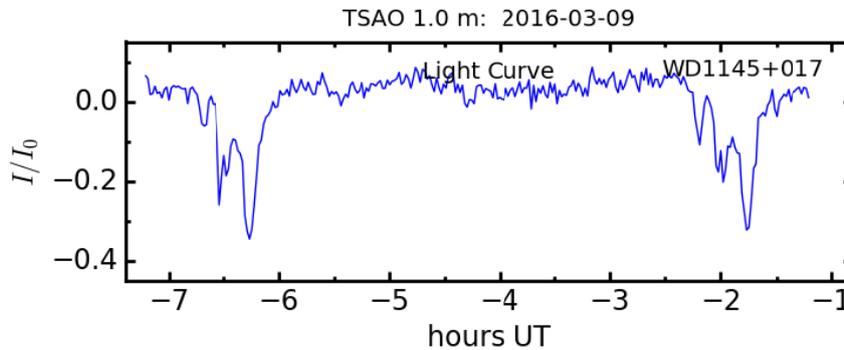


Рисунок 3 - Кривая блеска белого карлика WD1145+017, получена 9.03. 2016

Кривые блеска, полученные в разные даты, имеют небольшие отличия, обусловленные шумовой компонентой и пульсациями самой звезды, но период для основного минимума блеска сохраняется неизменным.

Новая серия наблюдений белого карлика WD1145+017, полученная в 2017 году также подтвердила существование орбитальных транзитных прохождений группы планетоидов и их фрагментов по диску звезды (рисунок 4).

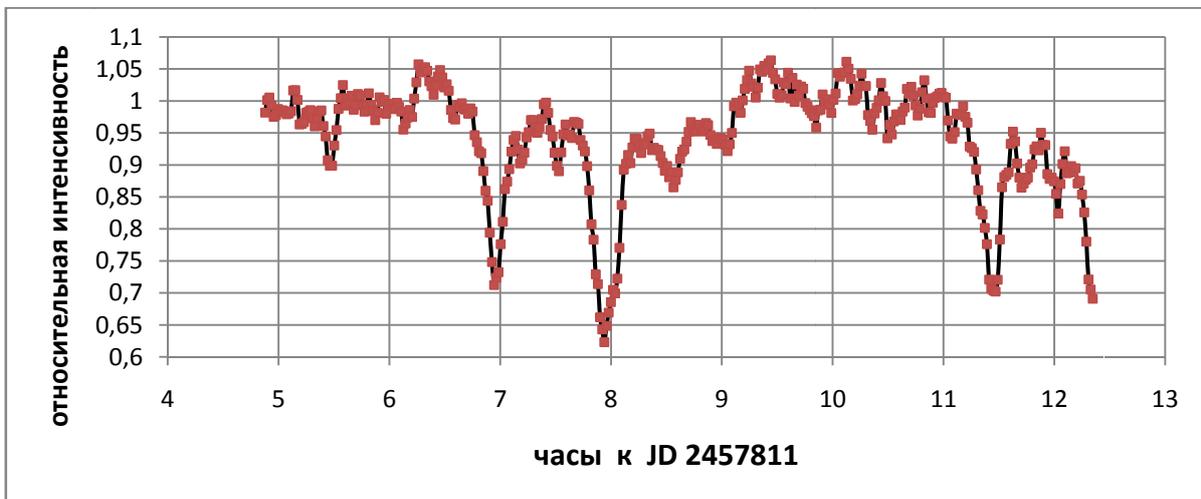


Рисунок 4 - Кривая блеска белого карлика WD1145+017, получена 26.03. 2017

Наметившееся разделение группы фрагментов в 2016 году, как видно из рисунков 2 и 3, в 2017 году стало отчетливым. Группа планетоидов разделилась, расстояние между группами в предположении круговой орбиты стало около 1.1 млн км. При этом основной период 4.5 часа сохранился.

Термическая эволюция и оценка времени жизни фрагментов планетоидов. На основании данных работы [3], где получены основные параметры белого карлика WD1145+017, можно вычислить температуру предполагаемого астероида или его фрагментов, а также скорость испарения и время жизни фрагментов разного размера. Используем следующие данные из [3]: $a = 0.0054AU = 94 R_{wd} = 1.16 R_{\odot}$ - большая полуось орбиты и $T_{eff} = 15900 \pm 500$ К – эффективная температура звезды.

По результатам наблюдений поведения пыли в Солнечной системе [4] получено, что материалом, наиболее удовлетворяющим наблюдениям, является базальт. Частицы базальта образуют границу зоны испарения на расстоянии около 7 солнечных радиусов, что удовлетворяет наблюдениям [4]. Исходя из этих наблюдательных данных, выберем для оценок времени жизни планетоидов около белого карлика свойства испарения базальтового материала.

Частицы базальта [5], начиная с радиусов пылинок $r \geq 10$ мкм, имеют температуру близкую к температуре черного тела, поэтому расчеты будем проводить в чернотельном приближении. При равномерном прогреве частиц пыли, камней и фрагментов астероидов на расстоянии $R = 94 R_{wd}$ от звезды получим температуру частиц:

$$T = T_{eff}(R_{wd}/2R)^{1/2} = 15900/(2 \cdot 94)^{1/2} = 1160K,$$

где $R = a$ – расстояние от звезды.

При медленном вращении, когда крупные фрагменты не успевают полностью прогреваться, температура подсолнечной точки будет в $(2)^{1/2}$ раза больше:

$$T = T_{eff}(R_{wd}/R)^{1/2} = 15900/(94)^{1/2} = 1640K.$$

Скорость уменьшения радиуса частицы согласно [6] в см/сек:

$$\dot{r} = \frac{0.0408}{\delta} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{M_g}{T}} \quad (1)$$

Для вычисления давления насыщенных паров P служит формула [6]: $\lg(P) = 10.915 - 24928.3/T$, где P выражено в торах ($1 \text{ тор} = 1 \text{ мм.рт.ст.}$). Плотность вещества $\delta = 2.5 \text{ г/см}^3$, $M_g = 67$ - молекулярный вес материала базальта и T – температура частицы.

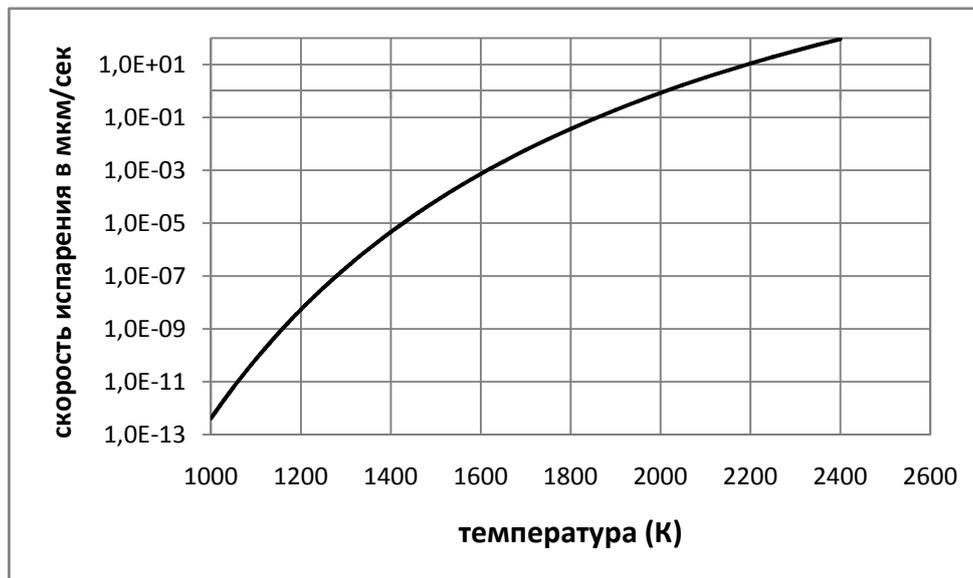


Рисунок 5 - Скорость уменьшения радиуса базальтовых частиц в процессе испарения в зависимости от температуры

Согласно данным [3], радиус планетоида, вращающегося около белого карлика WD1145+017, оценивается величиной 200 км. Поскольку по наблюдениям видно, что кривой блеска меняется при каждом новом прохождении не только из-за шумовой составляющей, а еще из-за фрагментации группы планетоидов, будем

считать эту величину максимальной оценкой для размеров планетоидов. Естественно, что около карлика вращается группа фрагментов всевозможных радиусов, меньших 200 км, а также частицы пыли.

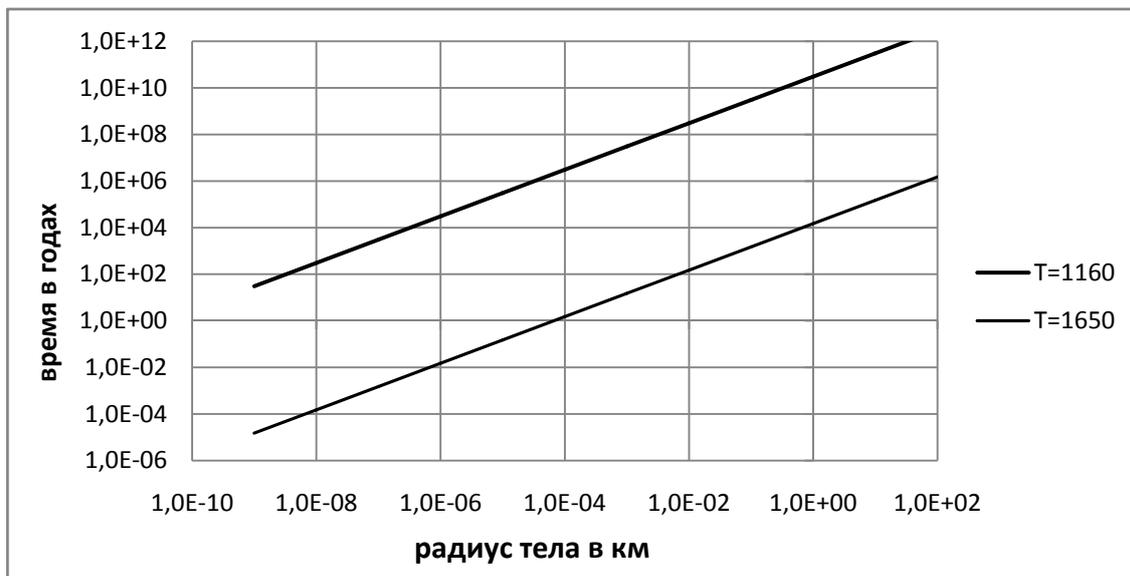


Рисунок 6 - Время жизни базальтовых фрагментов при равновесной температуре (T=1160K) и при максимально возможной температуре (T=1650K)

На рисунке 5 представлены расчеты скорости испарения, то есть уменьшения радиусов частиц при равномерном прогреве в условиях термодинамического равновесия согласно [6]. На рисунке 6 промежутки между линиями ограничивают реальное время испарения фрагментов планетоидов. При сильном нагреве части поверхности в подсолнечной точке и при отсутствии полного прогрева тела, что реализуется для тел километровых размеров, скорость испарения будет ближе к рассчитанной для T=1650K, но примерно в 4 раза меньше, поскольку прогревается только диск площадью πr^2 вместо полной поверхности тела, равной $4\pi r^2$. С учетом этой поправки время жизни тела радиусом около 200 км будет близок к 10^7 лет.

Таблица иллюстрирует время жизни мелких фрагментов, более реальные величины соответствуют двум последним столбцам, где T=1160K, поскольку мелкие фрагменты прогреваются однородно и их температуры соответствуют чернотельным.

Таблица - Времена жизни малых частиц и пыли

радиус в км	радиус	время жизни в годах (T=1650K)	время жизни в сутках (T=1650K)	время жизни в годах (T=1160K)	время жизни в сутках (T=1160K)
1,0E-04	10 см	1,502	548,6055	3,05E+06	1,11E+09
1,0E-05	1см	0,1502	54,86055	3,05E+05	1,11E+08
1,0E-06	1мм	0,01502	5,486055	3,05E+04	1,11E+07
1,0E-07	100мкм	0,001502	0,548606	3,05E+03	1,11E+06
1,0E-08	10мкм	0,00015	0,054861	3,05E+02	1,11E+05
1,0E-09	1мкм	1,5E-05	0,005486	30,47	1,11E+04

Из рисунка 6 и таблицы видно, что процессы испарения для изотермических условий при T = 1160K незначительны. Процесс испарения более активно происходит в «подсолнечной» точке при T = 1650K. Различия в скорости испарения достигает 9 порядков, поэтому процесс неравновесен и отличается нестабильностью и наличием тепловых напряжений.

Термическая эволюция планетоидов не ограничивается только испарением. Фрагменты могут дробиться за счет термических напряжений. Этот фактор становится особенно значительным при температурах, превышающих 1000K. При таких температурах пределы прочности материалов уменьшаются в 10 – 100 раз. Дальнейшие расчеты времени жизни планетоидов должны учитывать эти факторы. Дробление материала с

дневной стороны планетоидов может привести к значительному сокращению времени жизни крупных фрагментов метрового и километрового размеров.

РАБОТА ВЫПОЛНЕНА ПО ПРОЕКТУ 0073-3/ПЦФ-15 КОМИТЕТА НАУКИ МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кусакин А. В., Хруслов А. В., Кокумбаева Р. И. Поиск и исследование новых переменных на телескопе ZEISS-1000 Тянь-Шаньской астрономической обсерватории, Известия НАН РК, серия физико-математическая, № 4, 2014, С. 51-59.
- [2] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S, Bieryla A., Irwin J., et al. A Disintegrating Minor Planet Transiting a White Dwarf, *Nature*, V. 52, 2015, P.546–549.
- [3] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A.; Croll B., Benni P., Foote J. Drifting asteroid fragments around WD 1145+017, *MNRAS*, V.458, N.4, 2016, P.3904 – 3917.
- [4] Shestakova L.I. and Demchenko B.I. Results of Observations of the dust distribution in the F-corona of the Sun, *Solar System Research*, V.50, №2, 2016, P.143 – 160.
- [5] Шестакова Л.И., Демченко Б.И. Орбитальная эволюция пылевых частиц в области сублимации около звезды солнечного типа, Известия НАН РК. Серия физико-математическая, № 5, 2013, С.77-87.
- [6] Lamy P.L. Interaction of interplanetary dust grains with the solar radiation field, *Astron. Astrophys.*, V.35, 1974b, P.197-207.

REFERENCES

- [1] Кусакин А. В., Хруслов А. В., Кокумбаева Р. И. *Известия НАН РК, серия физико-математическая*, **2014**, № 4, С. 51-59.
- [2] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S, Bieryla A., Irwin J., et al. *Nature*, **2015**, V. 52, P.546–549.
- [3] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A., Croll B., Benni P., Foote J. *MNRAS*, **2016**, V.458, N.4, P.3904 – 3917.
- [4] Shestakova L.I. and Demchenko B.I. *Solar System Research*, **2016**, V.50, №2, P.143 – 160.
- [5] Шестакова Л.И., Демченко Б.И. *Известия НАН РК. Серия физико-математическая*, **2013**, № 5, С.77-87.
- [6] Lamy P.L. *Astron. Astrophys.*, **1974b**, V.35, P.197-207.

ӘОЖ: 524.38

Л.И. Шестакова, И.В. Рева, А.В. Кусакин

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

WD1145+017 АҚ ЕРГЕЖЕЙ МАҢЫНДАҒЫ ПЛАНЕТОИДТАРДЫҢ ТРАНЗИТТІК ӨТУІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Аннотация. WD1145+017 ақ ергежей маңында орбитаға жақын табылған планетоидтар булануы, олардың фрагменттері және шаң-тозанды бөлшектерінің процестерінің талдау нәтижелері көрсетілген. Тянь-Шань астрономиялық обсерваториясында (Қазақстан, Алматы, ТШАО), WET (Бүкіләлемдік жер телескобы) бағдарламасы бойынша алынған 2016 жылғы бақылау мәліметтері қолданылған. Есептеулердің нәтижесінде, 30 жылда радиусы 1 мкм кіші бөлшектер буланатындығы анықталды.

Фрагменттердің топтарына бөлінуі 2016, 2017 жылдары айқын байқалады. Планетоидтар тобы, топтардың аралығында арақашықтық, шеңберлі орбиталар болжамы 1.1 млн. км жақын болып шықты. Бұл ретте негізгі период 4.5 сағат сақталды. WD1145+017 ақ ергежейдің динамикалық белсенділік жүйесіне арнайы талдаулар жүргізу қажет.

Түйін сөздер: ақ ергежей, дисктің сынығы, шаң-тозанды бөлшектер, планетоидтар, сублимация.

Сведения об авторах:

Шестакова Любовь Илларионовна - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 777 16 33 154, р.т. 260 74 41, факс. 260 75 90, shest1952@mail.ru;

Рева Инна Владимировна - образование высшее, Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», МНС лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 707 531 38 55, р.т. 260 75 90, факс. 260 75 90, alfekka@list.ru;

Кусакин Анатолий Васильевич - канд.ф.-м. наук, астрофизик, Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», ВНС лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 702 835 12 24, р.т. 260 75 90, факс. 260 75 90, un7gbd@gmail.com

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 123 – 128

UDC 524.38

A.V. Serebryanskiy, L.I. Shestakova, I.V.RevaFesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
aserebryanskiy@yahoo.com, shest1952@mail.ru, alfekka@list.ru**ANALYSIS OF LIGHT CURVES OF THE WHITE DWARF**

Abstract. The results of the analysis of the time series of observations of the white dwarf WD1145 + 017, obtained on the 1 meter telescope at the Tien-Shan Observatory on the night of 26/27 March 2017 are presented. The spectral analysis was carried out by the FAMIAS and GATSPY packages. The results of the analysis show that the main periodicity is due to the passage through the disk of a white dwarf planetoid with fragments. The average frequency is 5.7912 cycles per day, which corresponds to a period of 4.1442 hours. Three modes of oscillations with frequencies from 27 to 48.7 cycles per day, which are not natural vibrations of a white dwarf, are also found. The modes of natural oscillations of a white dwarf with frequencies 169.0450, 196.4138, 385.4307 and 546.1339 cycles per day are revealed.

Key words: white dwarf, debris disk, planetoids, transit, oscillation periods

УДК 524.38

А.В. Серебрянский, Л.И. Шестакова, И.В. Рева

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

АНАЛИЗ КРИВОЙ БЛЕСКА БЕЛОГО КАРЛИКА WD1145 + 017

Аннотация. Представлены результаты анализа временного ряда наблюдений белого карлика WD1145 + 017, выполненные на 1-м телескопе ТШАО в ночь 26/27 марта 2017 года. Спектральный анализ проводился пакетом FAMIAS и GATSPY. Результаты анализа показывают, что основная периодичность обусловлена прохождением по диску белого карлика планетоида с осколками. Среднее значение частоты 5.7912 циклов в сутки, что соответствует периоду 4.1442 часа. Обнаружены также 3 моды колебаний с частотами от 27 до 48.7 циклов в сутки, не являющиеся собственными колебаниями белого карлика. Выявлены моды собственных колебаний белого карлика с частотами 169.045, 196.414, 385.431 и 546.134 циклов в сутки.

Ключевые слова: белый карлик, осколочный диск, планетоиды, транзит, периоды осцилляций.

Введение. Звезда WD 1145 + 017 ($\alpha = 11^{\text{h}} 48^{\text{m}} 34^{\text{s}}$, $\delta = +01^{\circ} 28' 59''$, $V = 17.24^{\text{m}}$) является белым карликом с гелиевой оболочкой, согласно наблюдениям космического телескопа Кеплер во время миссии НАСА, которую называют К2. После обработки данных К2 для WD 1145 + 017 получен транзитный сигнал с периодом 4,5 часа. С помощью Фурье анализа данных К2, в работе [1] определили пять более слабых дополнительных периодов, но статистически значимых, все периоды лежат в диапазоне от 4,5 до 5 часов. Обнаружено, что глубина и форма транзитов значительно различались в течение 80 дней наблюдений. Таким образом, около этой звезды транзитным методом в 2015 году обнаружена планета с периодом около 4.5 часов [1]. Существование теплого осколочного диска вокруг 4% белых карликов позволяют предположить, что скалистые обломки планетных систем иногда загрязняют атмосферы белых карликов. Однако до сих пор процесс срыва планетарного материала еще не наблюдался.

В работе [2] с небольшими телескопами с ноября 2015 по январь 2016 г получены обширные фотометрические наблюдения белого карлика WD1145+017, который обладает одним и, возможно, несколькими крупными астероидами с выбросами пыли. Периодограммы выявили значительную периодичность с периодом 4.5004 часов. Найдены также многочисленные провалы на других орбитальных фазах, дрейфующие относительно основного периода. Их наличие объясняется присутствием фрагментов астероидов, движущихся по меньшим орбитам.

Нами была поставлена цель: по наблюдениям в течение одной ночи с высоким временным разрешением провести частотный анализ кривой блеска белого карлика WD1145+017. В результате удалось определить не только орбитальный период фрагментов планетоида, но и предположительно частоты собственных колебаний белого карлика.

Наблюдательный материал. Наблюдения белого карлика WD1145+017 проводились 26/27 марта 2017 года с телескопом Zeiss-1000 («Восточный»), диаметр зеркала 1000 мм, фокусное расстояние системы 6650 мм. Использовалась CCD камера Aropgee U9000 D9 с колесом фильтров, которые образуют фотометрическую систему близкую к стандартной системе Джонсона BVR. Обработка полученных изображений и фотометрия объектов проводились с использованием программы MaxIm DL5. Временной ряд представляет собой значения потоков белого карлика и звезды сравнения для определенных моментов времени. Продолжительность наблюдений $7^{\text{h}}28^{\text{m}}04^{\text{s}}$. Медианное значение шага выборки по времени 70.194 секунд, что соответствует частоте Найквиста ~ 615.44 циклов/сутки.

Определение периодов (частот) осцилляций. Для поиска периодов осцилляций, присущих самому объекту - белому карлику, необходимо исключить влияние внешних факторов: изменение прозрачности, стабильность инструмента и других. Для этого значения потока объекта делятся на значения потока звезды референта. Будем обозначать эту величину в дальнейшем как Δmag . Результирующий временной ряд, представляющий собой вариации Δmag со временем, показан на Рисунке 1. Красной линией на рисунке показано прохождение скользящего среднего.

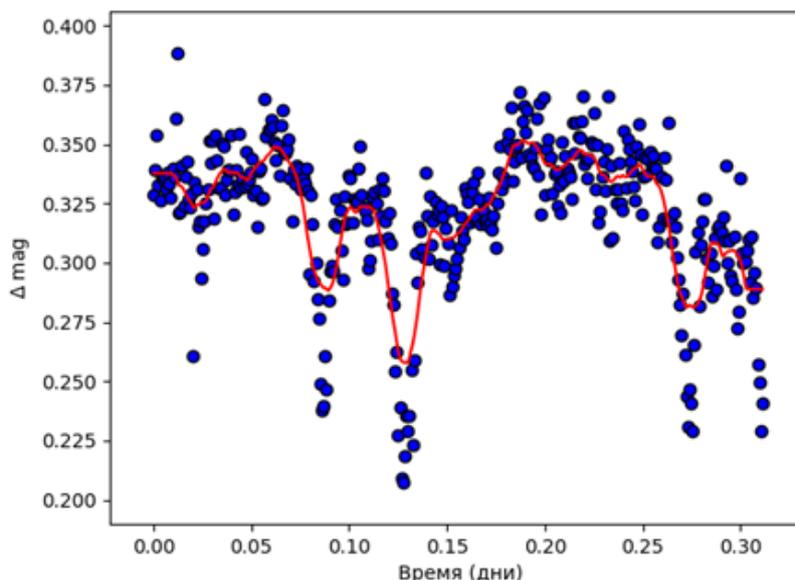


Рисунок 1 - Временной ряд относительных потоков белого карлика

Спектральный анализ (Δmag , t) проводился пакетом FAMIAS [3] и независимо пакетом GATSPY [4]. В пакете FAMIAS используется алгоритм построения спектра мощности методом быстрого Фурье преобразования. В пакете GATSPY используется алгоритм построения периодограммы методом быстрого преобразования Lomb-Scargle [5,6]. Вид периодограммы показан на Рисунке 2. Результаты частотного анализа приведены в Таблице.

Результаты анализа показывают, что основная периодичность обусловлена трендом, вызванным прохождением по диску карлика планетоида с осколками. Среднее значение частоты 5.7912 (циклы/сутки), что соответствует периоду 4.1442 часа. Результаты аппроксимации значений Δmag суммарным сигналом (включая все обнаруженные моды осцилляций) по результатам FAMIAS показаны на Рисунке 3.

Таблица - Частоты, обнаруженные пакетами FAMIAS и GATSPY

Частота (циклы/сутки)	FAMIAS	GATSPY
f1	5.8168 ± 0.0272	5.7656
f2	27.0755 ± 0.0167	27.4138
f3	21.3634 ± 0.0146	21.5839
f4	48.3806 ± 0.0112	48.7150

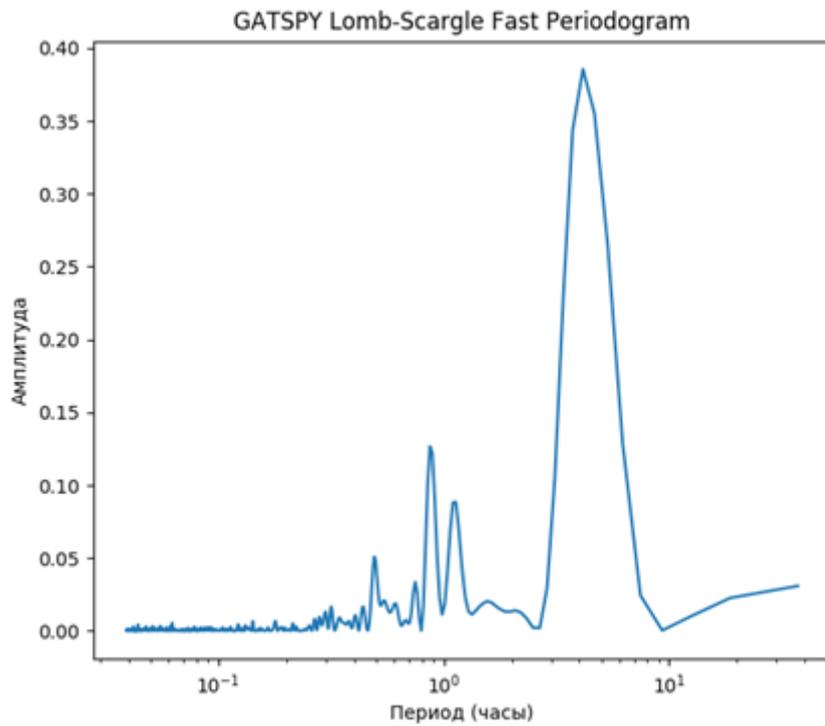


Рисунок 2 - Периодограмма временного ряда, показанного на Рисунке 1, периоды показаны в логарифмической шкале

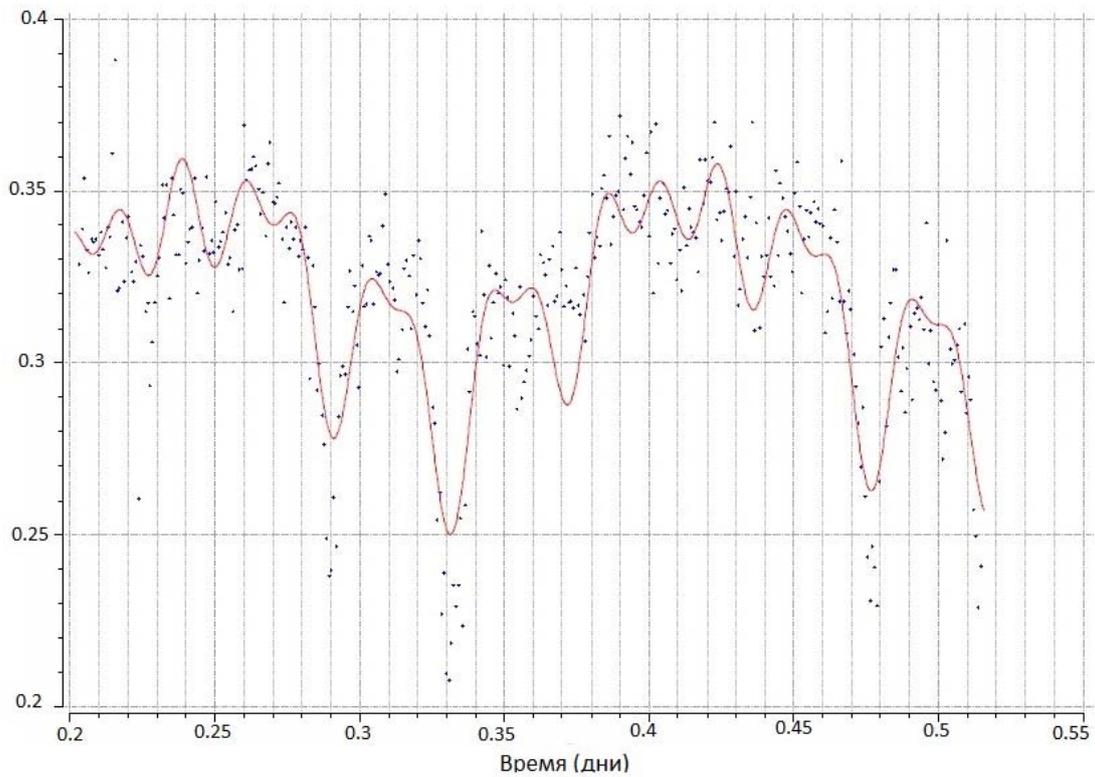


Рисунок 3 - Первоначальный временной ряд (точки) и аппроксимация сигналом, полученным по всем обнаруженным частотам

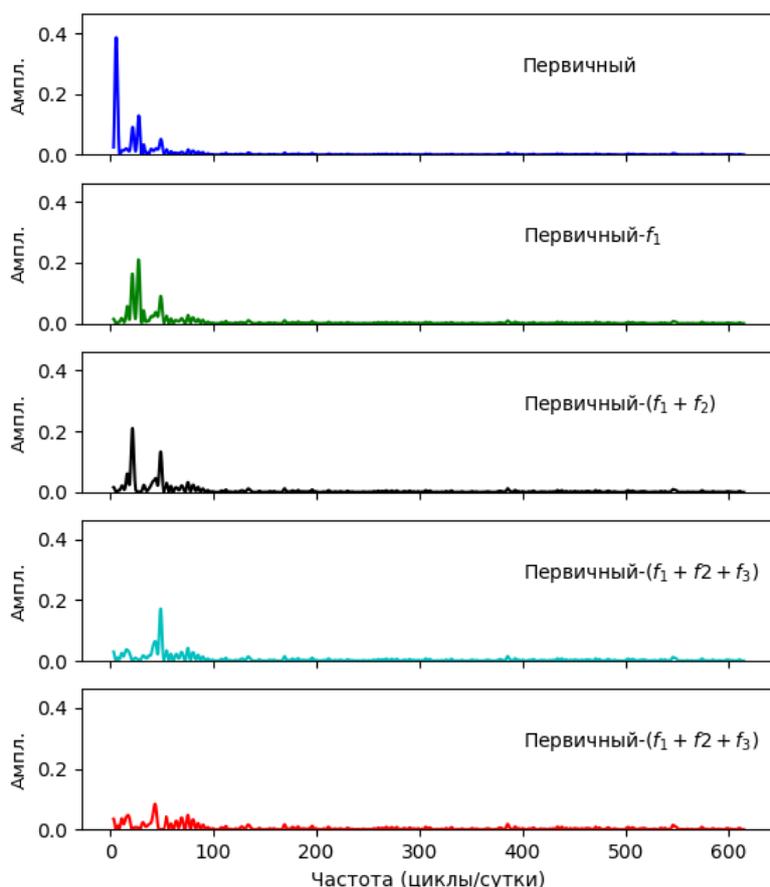


Рисунок 4 - Периодограммы с последовательным "отбеливанием" от компонент с соответствующими обнаруженными частотами

На рисунке 4 приводится результат определения периодов осцилляций с последовательным "отбеливанием" временной серии, полученный в GATSPY.

Однако визуальная проверка свертки временной серии с периодом 4.1442 часа показывает наличие смещения в локализации основного и вторичного минимума, что может указывать на неточность определения периода (из-за плохой статистики, поскольку весь временной ряд продолжительностью 7.5 часов содержит лишь один период), либо на реальное различие периодов. Сравнение фазовых кривых, полученных с периодом 4.1626 часа и нового, пробного периода, 4.62 часа показано на рисунке 5.

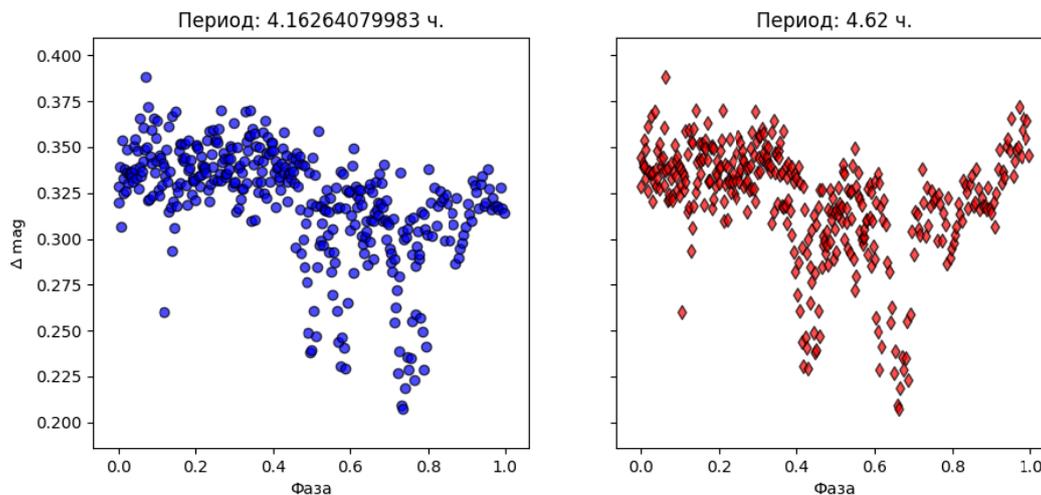


Рисунок 5 - Фазовые кривые, полученные сверткой временной серии с периодом, обозначенным на рисунке. Слева - результат свертки с вычисленным периодом. Справа - с пробным периодом

Из сравнения видно, что во втором случае минимумы прописываются более качественно. Этот факт может указывать на то, что спектральный анализ временной серии с таким сигналом может быть не совсем адекватен и вносить ложные гармоники при вычитании того или иного периодического компонента. Чтобы исключить это, необходимо правильно выделить из сигнала вариации блеска, вызванные транзитом и уже затем вновь повторить частотный анализ. Причем каждый из минимумов необходимо исследовать отдельно, поскольку их форма и моменты наступления минимумов отличаются (могут изменяться с течением времени). В качестве первого приближения можно использовать метод вычитания из начального сигнала, скользящего среднего по 18 точкам. Это означает, что в результирующем остаточном временном ряде все периоды больше 0.351 часа будут утеряны.

Обнаруженные периоды колебаний, указанные в таблице, не являются собственными колебаниями белого карлика (периоды колебаний белых карликов лежат в пределах от 100 до 1000 секунд, то есть по частоте от 86.4 до 864.0 циклов/сутки). Временная выборка нашей временной серии позволяет исследовать периодограмму до частоты приблизительно 600 циклов/сутки. Для обнаружения возможного присутствия собственных колебаний белого карлика мы исследовали остаточный временной ряд, после вычитания скользящего среднего, показанного на рисунке 1 красной линией. Остаточный временной ряд показан на рисунке 6.

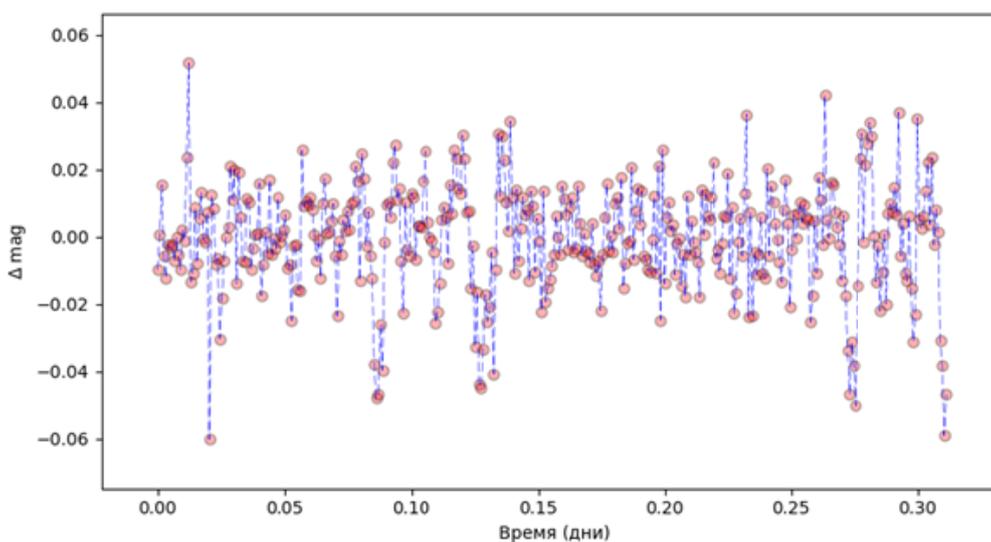


Рисунок 6 - Временной ряд, полученный в результате вычитания из первоначального ряда (рисунок 1) скользящего среднего по 18 точкам

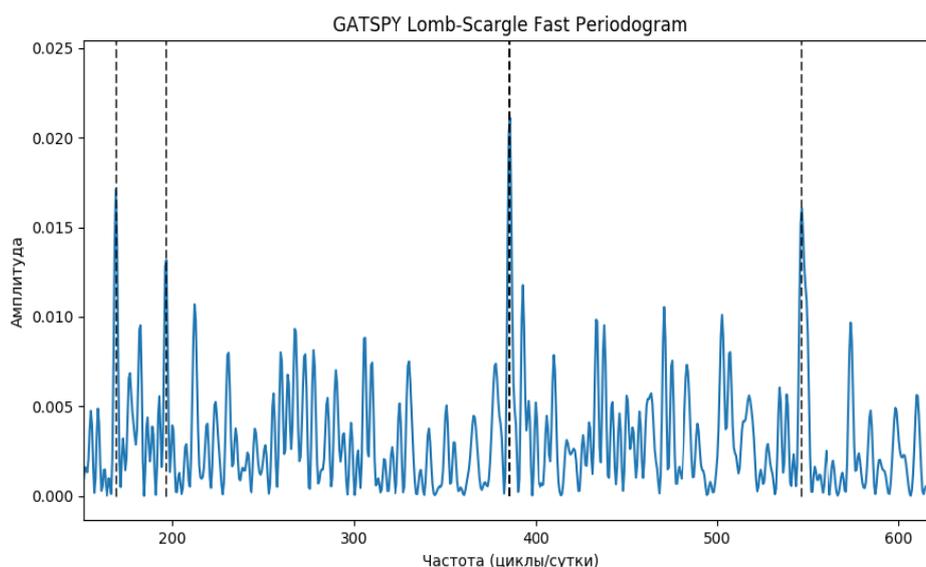


Рисунок 7 - Периодограмма остаточного ряда, показанного на рисунке 6, с индикацией обнаруженных периодов собственных колебаний белого карлика

Частотный анализ остаточной временной серии проводился в диапазоне от 150 до 600 циклов/сутки.

Периодограмма соответствующего частотного диапазона показана на рисунке 7. На рисунке также показаны возможные обнаруженные моды собственных колебаний белого карлика с частотами $g_1 = 169.0450$, $g_2 = 196.4138$, $g_3 = 385.4307$ и $g_4 = 546.1339$, что соответствует периодам $P_1 = 511.10644$ сек., $P_2 = 439.8876$ сек., $P_3 = 224.1648$ сек. и $P_4 = 158.203$ сек. соответственно. Для более достоверного определения значения периодов и подтверждения их наличия в спектре мощности белого карлика необходим анализ более длительных рядов наблюдений.

Работа выполнена при поддержке программы грантового финансирования по проекту № 0075/ГФ4 Комитета науки МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S, Bieryla A., Irwin J., et al. A Disintegrating Minor Planet Transiting a White Dwarf, *Nature*, V. 52, 2015, P.546–549.
- [2] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A., Croll B., Benni P., Foote J. Drifting asteroid fragments around WD 1145+017, *MNRAS*, V.458, N.4, 2016, P.3904 – 3917.
- [3] Zima W. User Manual for FAMIAS and DAS, *Communications in Asteroseismology*, V.155, 2008, 121p. <http://www.univie.ac.at/tops/CoAst/archive/cia155.pdf>
- [4] Vander Plas J.T., Ivezić Ž. Periodograms for Multiband Astronomical Time Series, *The Astrophysical Journal*, V. 812, 2015, P.15
- [5] Lomb N. R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data, *Ap&SS*, V. 39, 1976, P.477-462.
- [6] Scargle J. D. Studies in astronomical time series analysis, II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data, *The Astrophysical Journal*, V. 263, 1982, P. 835-853.

REFERENCES

- [1] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S, Bieryla A., Irwin J., et al. *Nature*, **2015**, V. 52, P.546–549.
- [2] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A., Croll B., Benni P., Foote J. *MNRAS*, **2016**, V.458, N.4, P.3904 – 3917.
- [3] Zima W. *Communications in Asteroseismology*, **2008**, V.155, 121p. <http://www.univie.ac.at/tops/CoAst/archive/cia155.pdf>
- [4] Vander Plas J.T., Ivezić Ž. *The Astrophysical Journal*, **2015**, V. 812, P.15.
- [5] Lomb N. R. *Ap&SS*, **1976**, V. 39, P.477-462.
- [6] Scargle J. D. *The Astrophysical Journal*, **1982**, V. 263, P. 835-853.

ӘОЖ: 524.38

А.В. Серебрянский, Л.И. Шестакова, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

WD1145 + 017 АҚ ЕРГЕЖЕЙДІҢ ЖАРҚЫРАУ ҚИСЫҒЫНЫҢ ТАЛДАУЫ

Аннотация. 2017 жылдың 26/27 наурыздың түнінде ТШАО 1-м телескобында WD1145 + 017 ақ ергежейдің бірқатар уақыттық бақылауларының талдау нәтижелері көрсетілген. FAMIAS және GATSPY пакеттері арқылы спектрлік анализдер жүргізілді. Талдаудың нәтижелері, негізгі периодтық ақ ергежейдің дискі бойынша планетоидтың сынықтармен өтуі кезінде байқалады. Тәулігіне орташа жиіліктің мәні 5.7912 цикл, ол 4.1442 сағат периодына сәйкес келеді. Ақ ергежейдің меншікті тербелісі болып табылмайтын, тәулігіне жиілігі 27 ден 48.7 циклді 3 тербеліс модасы табылды. Ақ ергежейдің меншікті тербелістері тәулігіне 169.045, 196.414, 385.431 және 546.134 циклдік жиілікпен анықталды.

Түйін сөздер: ақ ергежей, сынық диск, планетоид, транзит, тербеліс.

Сведения об авторах:

Серебрянский Александр Владимирович - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. Сектором, т.+7 (747)9393892, р.т.2607441, факс.2607590, aserebryanskiy@yahoo.com;

Шестакова Любовь Илларионовна - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 777 16 33 154, р.т. 260 74 41, факс. 260 75 90, shest1952@mail.ru;

Рева Инна Владимировна - образование высшее. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», МНС лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 707 531 38 55, р.т. 260 75 90, факс. 260 75 90, alfekka@list.ru

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 129 – 135

UDC 524.38

G. K. Aimanova, A. V. Serebryanskiy, I.V. RevaFesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
agauhar@mail.ru, aserebryanskiy@yahoo.com**PHOTOMETRIC STUDIES
OF THE CATAclySMIC VARIABLE SDSS 1507 + 52**

Abstract. The article presents the results of the cataclysmic variable SDSSJ1507 + 52 (OV Boo) photometric observations carried out in March-May 2017. Observations were made in three filters B, V and R. The observations processing results allowed obtaining light curves at the observations dates, and estimating the amplitudes of these changes. The conducted photometric studies of OV Boo (SDSSJ1507 + 52) showed that at the post-flare stage in the period from March 28 to May 11, 2017 the object changed its luminosity level from 13^m and reached the initial level of luminosity ~ 17^m. The light curve repeats in each orbital period, showing the eclipses with up to 1^m in depth. As a result of the analysis of the light curve by the PDM method (Phase Dispersion Minimization), the orbital period is confirmed to be ~ 67.5 min., below the "minimum period" of ~ 77 minutes.

Key words: photometry, variable stars; dwarfs, magnitude, period

УДК 524.38

Г.К. Айманова, А.В. Серебрянский, И.В. Рева

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

**ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ SDSS 1507 + 52**

Аннотация. В статье представлены результаты фотометрических наблюдений катаклизмической переменной SDSS J1507 + 52 (OV Boo), проведенных в марте-мае 2017 года. Наблюдения выполнены в трех фильтрах B, V и R. Результаты обработки наблюдений позволили получить кривые блеска на даты наблюдений, оценить амплитуды их изменений. Проведенные фотометрические исследования OV Boo (SDSS J1507 + 52) показали, что на послесвпыхечной стадии в период с 28 марта по 11 мая 2017 года объект изменил уровень светимости с 13^m и вышел на исходный уровень светимости ~ 17^m. Кривая блеска повторяется в течение каждого орбитального периода, показывая затмения глубиной до 1^m. В результате анализа кривой блеска методом PDM (Phase Dispersion Minimization или Минимизации Дисперсии Фазовой кривой) подтвержден орбитальный период ~ 67,5 мин. ниже «минимального периода» ~ 77 минут.

Ключевые слова: фотометрия, переменные звезды; карлики, магнитуда, период.

Введение. Переменные Cataclysmic (CVs) - это двойные системы, в которых вторичная звезда передает массу на первичный белый карлик (WD). Согласно стандартной эволюционной теории, потеря углового момента вынуждает CV эволюционировать из более длинных периодов в более короткие орбитальные периоды. Предполагается, что все системы достигнут минимального орбитального периода примерно тогда, когда донор прекратит сжигание водорода. Примерно в тот же момент, когда донор достигает этого эволюционного состояния, тепловой временной масштаб становится длиннее, чем временной масштаб массопереноса, и донор не может достаточно быстро сжиматься в ответ на продолжающуюся потерю массы. В результате система будет двигаться в направлении более длинных орбитальных периодов.

В соответствии со стандартной эволюционной теорией около 70 процентов всех CV должны пройти свой минимальный период и иметь субзвездных доноров. До недавнего времени не было найдено с достаточной достоверностью CV, содержащих доноры с массами ниже предела горения водорода. Тем не менее, в ходе Sloan Digital Sky Survey (SDSS) было найдено несколько таких объектов [1], один из которых - SDSS J1507 + 52.

Система SDSS J1507 + 52 имеет короткий орбитальный период около 67 мин [2], что значительно ниже минимального периода, характерного для нормальных CV. Обнаруживаются системы, у которых периоды ниже обычного минимального периода, но, как правило, эти системы демонстрируют признаки аномально горячих и ярких звезд-доноров в их оптических спектрах. Но у звезды SDSS J1507 вторичная часть вообще не видна в оптической спектроскопии [2-3]. Вместе с его коротким периодом обращения, это указывает на систему со слабым диском, низкую скорость аккреции и наличие донора с относительно низкой массой.

Littlefair et al. [2] провели анализ затмения J1507 и обнаружили массу донора $0,056 \pm 0,001 M_{\odot}$, что явно ниже предела горения водорода. Однако из-за своего аномально короткого орбитального периода система не согласуется со стандартным соотношением масса-период для CV, кроме того, радиус донора меньше, чем прогнозируется стандартными теориями эволюции CV. Поэтому они предположили, что донор может быть необычно молодым, то есть J1507 может представлять собой CV, сформированное недавно из ранее отделившейся двойной системы «карликов» WD-brown. Молодой «коричневый карлик» имеет более высокую плотность и, следовательно, меньший радиус, так как у донора еще не было шанса расшириться в ответ на потерю массы. Это объясняет короткий орбитальный период, найденный в J1507, поскольку согласно соотношению плотность-период более высокая плотность и, следовательно, меньший радиус подразумевают более короткий орбитальный период.

Параллельно Patterson, Thorstensen & Knigge [4] показали, что система обладает необычно высокой пространственной скоростью, подобной скоростям звезд в галактическом гало, оценили несколько более высокую эффективную температуру WD в J1507, $T_{\text{eff}} = 11500 \pm 700$ K. Они также обнаружили, что система демонстрирует многопериодическую изменчивость, которую они объясняют нерадиальными пульсациями WD.

Helena Uthas et al.[5] по результатам исследований также предполагают, что SDSS J1507+52 (OV Boo) представляет собой затменную катаклизмическую переменную (CV), состоящую из холодного, нерадиально пульсирующего белого карлика и необычно малого субзвездного вторичного компонента.

Обе гипотезы подразумевают, что J1507 является интересной и важной системой. Одна предполагает, что SDSS J1507+52 был сформирован из отдельной бинарной клетки «белый карлик/карлик» [3]. Другая теория предполагает, что система является членом галактического гало популяции [4]. Гипотезы сильно отличаются друг от друга, остается открытым вопрос какая гипотеза правильная.

На данный момент остается не решенным вопрос об эволюционном статусе SDSS J1507+52 (OV Boo), что требует тщательного фотометрического и спектрального изучения объекта.

Киотский университет (Япония) проводит большую кампанию по исследованию этого объекта через VSNET для возможности одновременного получения кривых блеска в различных диапазонах длин волн.

Сегодня считается, что OV Boo (SDSS J1507+52) может принадлежать семейству карликовых новых звезд типа WZ Sge, которые показывают вспышки каждые 10-30 лет. На ранней стадии вспышки они отличаются от обычных карликовых новых SU UMa-типов. Основная задача кампании - исследовать структуру аккреционного диска методами многоцветной фотометрией на короткой стадии вспышки и поздней стадии вспышки. Звезды типа WZ Sge часто демонстрируют сложное поведение после всплеска. Обычно продолжительность основной вспышки звезд типа WZ Sge длиннее, чем у других обычных карликовых новых, но короткий период 0,046d указывает, что объект SDSS J1507+52 не является «обычной» звездой WZ Sge. По этой причине требуется непрерывный мониторинг.

Наблюдения и обработка результатов. Фотометрические наблюдения выполнены на телескопе «Цейсс-1000» Тянь-Шанской астрономической обсерватории Астрофизического

института им. В.Г. Фесенкова. Телескоп имеет главное зеркало диаметром 1000 мм и оптическую систему Ritchey–Chrétien с относительным фокусным расстоянием 6665 мм, оснащен ПЗС-камерой Aropgee Alta U9000, поле зрения системы - $20' \times 20'$. Наблюдения выполнены в трех фильтрах в период 28 марта – 11 мая 2017 года.

Результаты наблюдений OV Boo (SDSS J1507 + 52). Предварительная обработка ПЗС-кадров проводилась в среде пакета Maxim DL6, который является специализированным программным пакетом для анализа астрономических изображений.

В качестве опорной звезды выбрана звезда GSC 3898:1067 (видимая звездная величина $11^m.52$), звезды сравнения имеют видимые звездные величины $14^m.55$, $14^m.15$, $14^m.75$ соответственно номеру.

На каждую дату наблюдения получены кривые блеска. Сравнение их показывает, что качественно они идентичны. На рисунках 1-3 для наглядности представлены результаты обработки на 8 апреля (фильтр В), 14 апреля (фильтр В), 30 апреля (фильтр R).

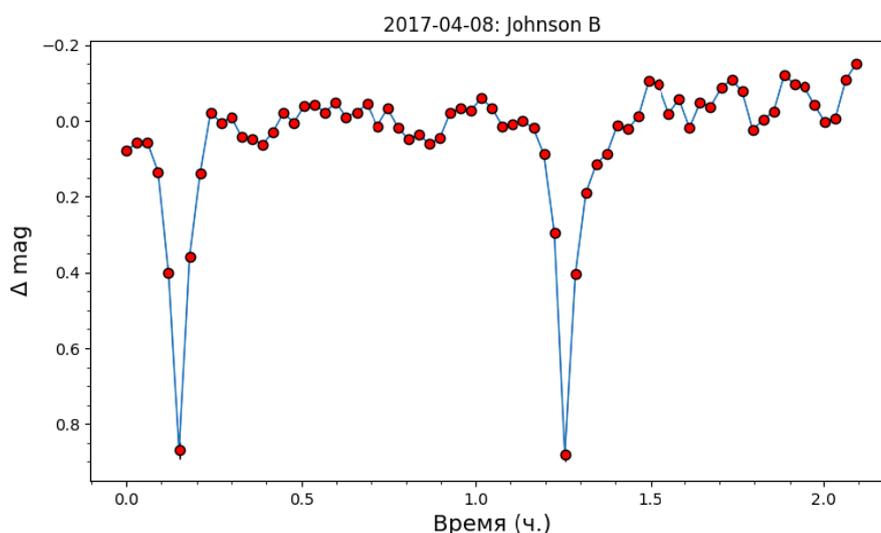


Рисунок 1 - Кривая блеска OV Boo по наблюдениям в фильтре В 8 апреля 2017 года. По оси абсцисс – часы, по оси ординат – разность магнитуд.

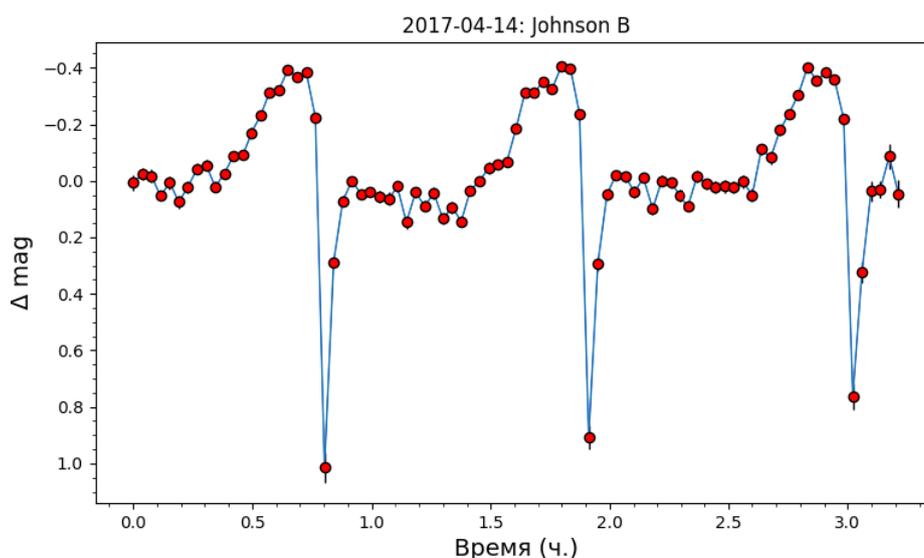


Рисунок 2 - Кривая блеска OV Boo по наблюдениям в фильтре В 14 апреля 2017 года. По оси абсцисс – часы, по оси ординат – разность магнитуд.

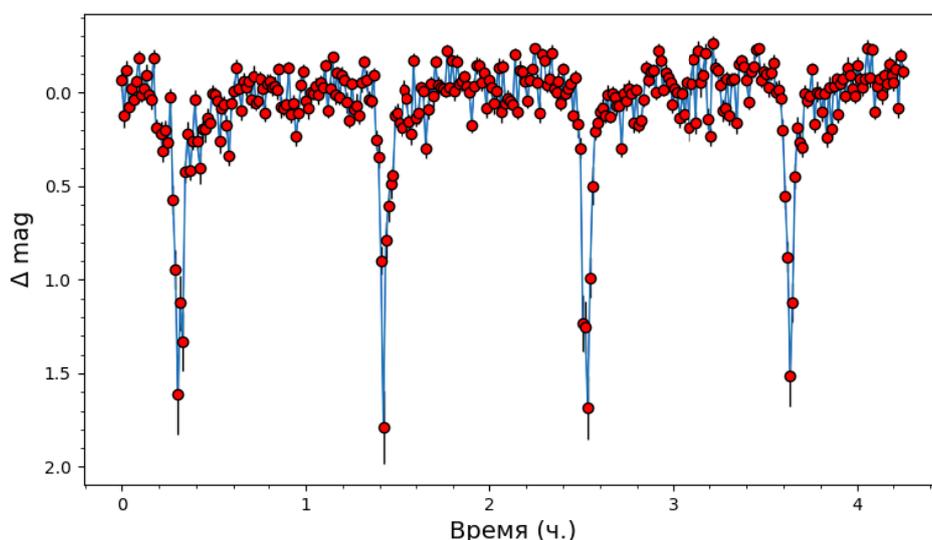


Рисунок 3 - Кривая блеска OV Вoo по наблюдениям в фильтре R 30 апреля 2017 года.
По оси абсцисс – часы, по оси ординат – разность магнитуд

Поскольку обычные методы Фурье-анализа для исследуемой нами кривой блеска не являются оптимальным выбором, для анализа кривых блеска был применен метод поиска минимума дисперсии фазовой кривой (PDM — Phase Dispersion Minimization). Кратко смысл метода заключается в пошаговом поиске такого периода, при котором фазовая кривая, полученная из свертки кривой блеска с данным периодом, имеет минимальное значение дисперсии.

В результате анализа был подтвержден орбитальный период $\sim 67,5$ мин. ниже «минимального периода» ~ 77 минут. На рисунках 4-6 представлены полученные периоды на 8 апреля (фильтр В), 14 апреля (фильтр В), 30 апреля (фильтр R).

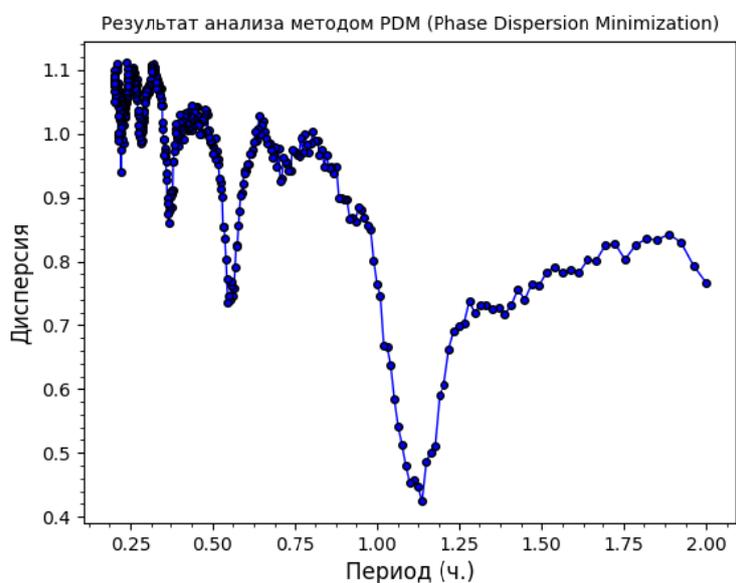


Рисунок 4 - OV Вoo по наблюдениям в фильтре В 8 апреля 2017 года.
По оси абсцисс – периоды, по оси ординат – дисперсия фазовой кривой.

На рисунке 7 Начало цикла

На рисунке 7 представлена суммарная картина изменения интенсивности объекта за 35 дней наблюдений. Наблюдения, выполненные Dave Smith (<https://stargazerslounge.com/topic/289466-ov->

boo-another-good-night/) на даты 14-23 марта 2017 года в видимой области, и наблюдения на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории - 28 марта (соответствует нулевой дате), далее отсчет ведется по дням. За данный период в соответствии с наблюдательной погодой проведено 6 сеансов наблюдений.

Видно, что объект OV Воо находится на стадии медленного ослабления блеска, в течение которой система возвращается на исходный (довспышечный) уровень светимости $17^m,5$. Звезда показала глубокие затмения, повторяющиеся с 67-минутным периодом обращения.

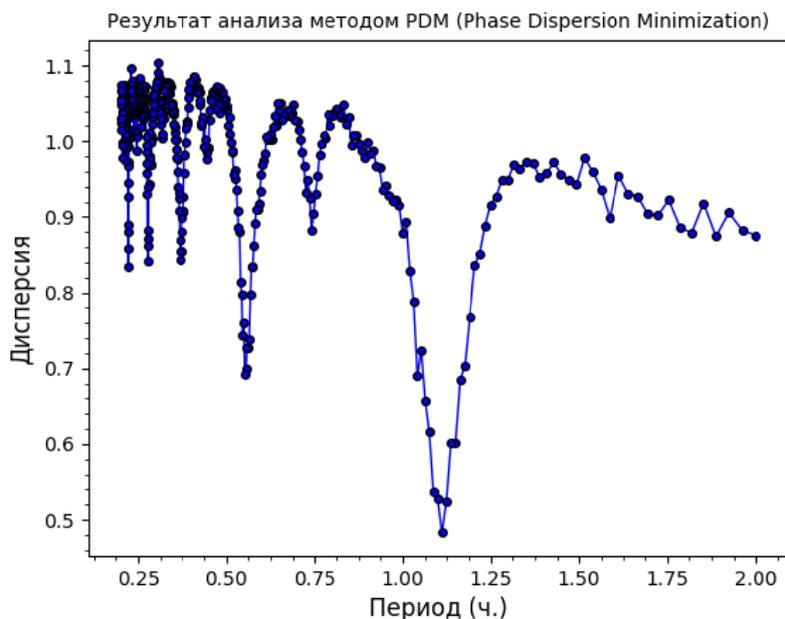


Рисунок 5 - OV Воо по наблюдениям в фильтре В 14 апреля 2017 года. По оси абсцисс – периоды, по оси ординат – дисперсия фазовой кривой.

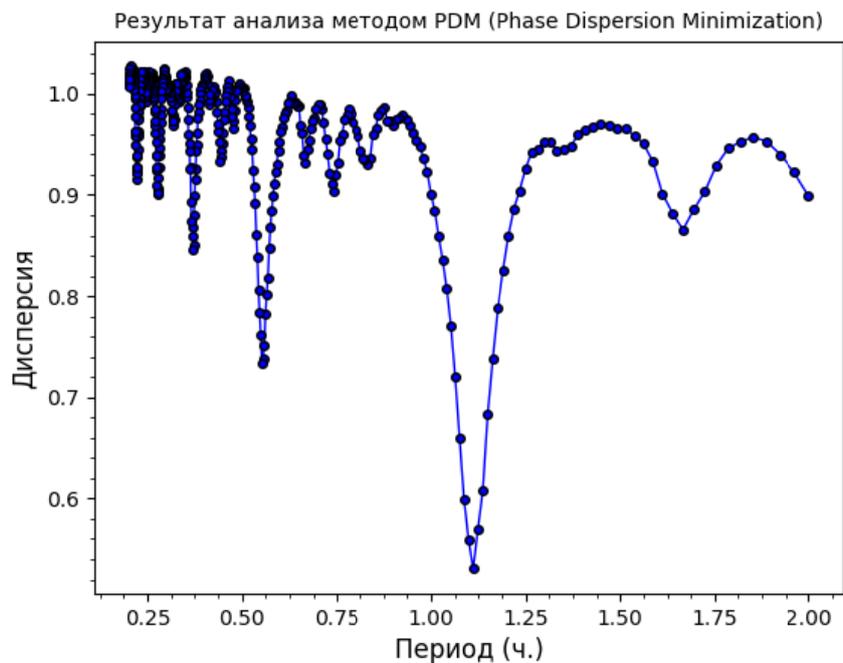


Рисунок 6 - OV Воо по наблюдениям в фильтре R 30 апреля 2017 года. По оси абсцисс – периоды, по оси ординат – дисперсия фазовой кривой.

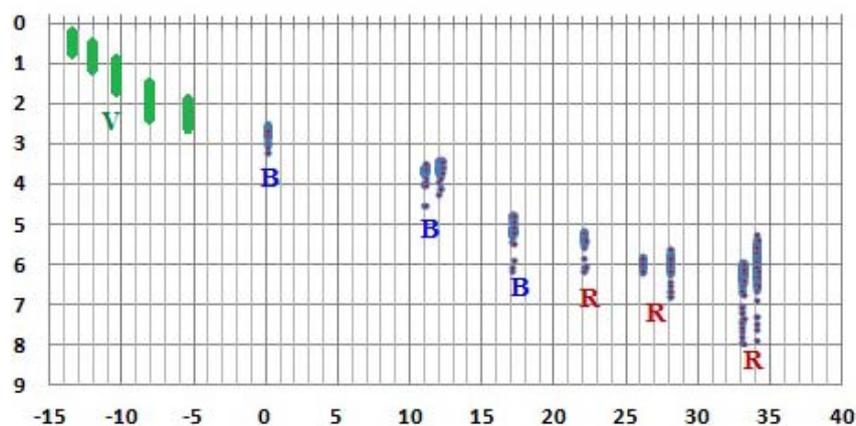


Рисунок 7 - OV Boo по наблюдениям в фильтрах В и R с 28 марта по 1 мая 2017 года.
По оси абсцисс дни, нулевая точка соответствует 28 марта. По оси ординат – изменение звездной величины

Наблюдения 11 мая 2017 года, выполненные в трех фильтрах приведены на рисунке 8 и подтверждают наступление довспышечного уровня светимости с изменением светимости во время затмений до 2 звездных величин в трех диапазонах спектра.

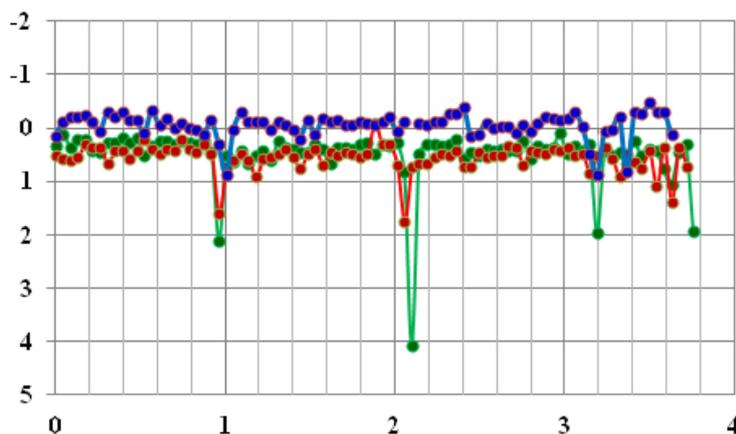


Рисунок 8 - Кривая блеска OV Boo по наблюдениям в фильтрах В, V и R 11 мая 2017 года.
По оси абсцисс – часы, по оси ординат – магнитуда.

Заключение

Проведенные фотометрические исследования OV Boo ((SDSS J1507+52) показали, что на послевспышечной стадии в период с 28 марта по 11 мая 2017 года объект изменил уровень светимости с 13^m и вышел на исходный уровень светимости $\sim 17^m$.

Кривая блеска точно повторяется на каждой орбите, показывая довольно четко определенные глубокие затмения на 67,5-минутном орбитальном периоде.

Работа выполнена по программе №0073/ПЦФ, проект «Фотометрические исследования белых карликов и переменных звезд в двойных системах».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Littlefair S. P., Dhillon V. S., Marsh T. R., Gänsicke B. T., Southworth J., Baraffe I., Watson C. A., Copperwheat C. On the evolutionary status of short-period cataclysmic variables, MNRAS, V.388, Issue 4, 2008, P.1582-1594. DOI: [10.1111/j.1365-2966.2008.13539.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13539.x)
- [2] Littlefair S. P., Dhillon V. S., Marsh T. R., Gänsicke B. T., Baraffe I. and Watson C. A. SDSS J150722.30+523039.8: a cataclysmic variable formed directly from a detached white dwarf/brown dwarf binary?, MNRAS., V.381, 2007, P.827 (L07). DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.12285.x>

- [3] Szkody et al., Cataclysmic Variables from Sloan Digital Sky Survey. IV. The Fourth Year (2003), *AJ*, V.129, Issue 5, 2005, P.2386-2399. DOI:[10.1086/429595](https://doi.org/10.1086/429595)
- [4] Patterson J., John R. Thorstensen J.R., Knigge Ch., A Halo Cataclysmic Variable?, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, V. 120, Issue 867, 2008, P.510. Helena Uthas, Christian Knigge Knox S. Long Joseph Patterson, John Thorstensen, The cataclysmic variable SDSS J1507+52: an eclipsing period bouncer in the Galactic halo, *MNRAS Lett* (2011) 414 (1): L85-L89. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2011.01061.x>
- [5] Horne, Keith; Marsh, T. R.; Cheng, F. H.; Hubeny, Ivan; Lanz, Theirry, HST eclipse mapping of dwarf nova OY Carinae in quiescence: an 'Fe II curtain' with Mach approx. = 6 velocity dispersion veils the white dwarf, *Ap.J.*, Part 1 (ISSN 0004-637X), V.426, no. 1, 1994, P.294-307. DOI: [10.1086/174064](https://doi.org/10.1086/174064)

REFERENCES

- [1] Littlefair S. P., Dhillon V. S., Marsh T. R., Gänsicke B. T., Southworth J., Baraffe I., Watson C. A.; Copperwheat, C. *MNRAS*, V.388, Issue 4, 2008, P.1582-1594. DOI:[10.1111/j.1365-2966.2008.13539.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13539.x)
- [2] Littlefair S. P., Dhillon V. S., Marsh T. R., Gänsicke B. T., Baraffe I. and Watson C. A. *MNRAS*, V.381, 2007, P.827 (L07). DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.12285.x>
- [3] Szkody et al., *AJ*, V.129, Issue 5, 2005, P.2386-2399. DOI:[10.1086/429595](https://doi.org/10.1086/429595)
- [4] Patterson J., John R. Thorstensen J.R., Knigge Ch., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, V. 120, Issue 867, 2008, P.510.
- [5] Helena Uthas, Christian Knigge Knox S. Long Joseph Patterson, John Thorstensen, *MNRAS Lett*, 2011, 414 (1): L85-L89. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2011.01061.x>
- [6] Horne, Keith; Marsh, T. R.; Cheng, F. H.; Hubeny, Ivan; Lanz, Theirry, *Ap.J.*, Part 1 (ISSN 0004-637X), V.426, no. 1, 1994, P.294-307. DOI: [10.1086/174064](https://doi.org/10.1086/174064)

Г.К. Айманова, А.В. Серебрянский, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

SDSS 1507 + 52 КАТАКЛИЗМАЛЫҚ АЙНЫМАЛАНЫҢ
ФОТОМЕТРЛІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Андатпа. Бұл мақалада 2017 жылдың наурыз-мамыр айларында жүргізілген SDSSJ1507 + 52 (OVBoo) катаклизмалық айнымалының фотометриялық бақылауларының нәтижелері ұсынылған. Бақылау үш В, V және R фильтрында жүргізілді. Бақылауды талдау нәтижелері бақылау мерзімдеріндегі жарық қисығын алуға, өзгерістерінің амплитудасын бағалауға мүмкіндік берді. OVBoo ((SDSSJ1507 + 52) жүргізілген фотометрлік зерттеулер 2017 жылдың 28 наурыз - 11 мамыр аралығындағы жарықтан кейінгі кезеңде нысанның жарқырағыштық деңгейі 13^m -нен $\sim 17^m$ -ге дейін ауысты. Жарық қисығы нақты терең тұтылуды көрсете отырып әр орбитада қайталады. Жарық қисығын PDM (Phase Dispersion Minimization немесе Фазалық қисық

Дисперсиясын Минимизациялау) әдісімен талдау нәтижесінде орбиталды кезең ~ 77 минуттан минималды кезеңнен, төмен $\sim 67,5$ мин. екендігі расталды.

Тірек сөздер: ақ ергежей, сынық диск, планетоид, транзит, тербеліс.

Сведения об авторах:

Айманова Гаухар Копбаевна - канд. физ.-мат. наук, доцент, Адрес: Алматы, Фурманова 165, кв. 6.,

Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, в.н.с. Телефон: 260-74-41, e-mail: agauhar@mail.ru;

Серебрянский Александр Владимирович - канд.ф.-м. наук, астрофизик, Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. сектором, Телефон: +7 (747)9393892, р.т.2607441, факс.2607590, aserebryanskiy@yahoo.com;

Рева Инна Владимировна - образование высшее. Адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23.

Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», мнс.,

Телефон: +7 707 531 38 55, р.т. 260 75 90, факс. 260 75 90, alfekka@list.ru

V. M. Tereschenko

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
volter2307@mail.ru

THE ABSOLUTIZATION OF SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTION OF STARS ON SPECTRAL AND PHOTOMETRIC DATA

Abstract. The stationary stars with well-known outside of* atmosphere energy distribution in their spectra were often used to standardize of the spectrophotometric observations the different celestial bodies and for the calibration of the receive-register apparatus. In causation with bringing in operation of the large telescopes the necessity (requirement) of the weaker standards significantly increased. However, the weak standards are very small (not enough) and their creation will require the long (protracted) observations. Therefore we decided to increase the number the weak standards by the calculating way on base certain spectral and photometric date. In the article the algorithm of calculations outside of* atmosphere energy distribution $E(\lambda)$ numerical results for 8 A0V-stars of intermediate brightness were presented. The evaluation (estimate) of accuracy of receive results was carried out and contribution of the each factor was estimated. Precision (accuracy) of the calculated values depends on from spectral region and from 3 to 10% amount. The main error (mistake) in final result is introduced by the disperse (scatter) of normal energy distribution and color-index of the investigated star.

Key words: stars, absolute spectrophotometry, photometry, standards, calculations

УДК 523.3, 523.27

В. М. Терещенко

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова

АБСОЛЮТИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗВЕЗД ПО ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Аннотация. Стационарные звезды с известным внеатмосферным распределением энергии в их спектрах часто используются в качестве стандартов при спектрофотометрических наблюдениях различных небесных тел и для калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. В связи с вводом в эксплуатацию крупных телескопов значительно возросла потребность в слабых стандартах. Однако слабых звезд-стандартов очень мало, а их создание потребует длительных наблюдений. Поэтому мы решили увеличить количество слабых стандартов путем вычислений на базе известных спектральных и фотометрических данных. В работе приведено описание алгоритма вычислений внеатмосферного распределения энергии $E(\lambda)$ и представлены численные результаты для 8 A0V-звезд промежуточного блеска. Выполнена оценка точности полученных данных и оценен вклад каждого использованного в вычислениях фактора. Точность вычисленных значений зависит от области спектра и составляет от 3 до 10%. Основную ошибку в конечный результат вычислений вносят дисперсии нормальных распределений энергии и показателей цвета исследуемой звезды.

Ключевые слова: звезды, абсолютная спектрофотометрия, фотометрия, стандарты, вычисления.

Абсолютное распределение энергии в спектрах стационарных звезд часто используется для стандартизации спектрофотометрических наблюдений разных небесных тел и калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. Напомним, что абсолютным называют распределение, которое выражено в энергетических единицах, например, в $[вт \cdot м^{-2} \cdot м^{-1}]$. Обычно его получают с помощью наблюдений методами абсолютной или дифференциальной спектрофотометрии. Подробно методика абсолютных измерений описана в монографиях [1,2]. Методами дифференциальной спектрофотометрии получены каталоги [3-8], в которых представлено абсолютное распределение энергии для около двух тысяч звезд. Подчеркнем, что абсолютное большинство из них - яркие звезды, ярче 6 величины. Звезд слабее 6^m с известным абсолютным распределением энергии в

их спектрах - всего несколько десятков. В то же время, в связи с вводом в эксплуатацию крупных телескопов, потребность в более слабых стандартах для видимой области спектра (320-760нм) увеличилась.

Абсолютное распределение энергии в спектрах звезд, помимо наблюдений, можно получить косвенными методами с помощью вычислений. Это, прежде всего, подбор спектральных аналогов по фотометрическим данным (звездным величинам и показателям цвета). Он сводится к параллельному сдвигу кривых распределения, которые известны для фотометрических аналогов. Величину сдвига можно вычислить по формуле Погсона. Второй путь - привлечение моделей атмосфер и наблюдаемых фотометрических и спектральных признаков. В данной работе мы предлагаем третий метод - с помощью вычислений на основе известных фотометрических и спектральных данных избранных звезд. Точность вычисленных данных на краях спектрального интервала в 2-3 раза ниже, чем для данных, получаемых из наблюдений, но при решении некоторых задач является вполне допустимой. Предлагаемый метод позволяет существенно увеличить число слабых спектрофотометрических стандартов. К его плюсам можно отнести то, что он не требует ни длительных дополнительных наблюдений, ни точных моделей звездных атмосфер.

В большинстве случаев в качестве спектрофотометрических стандартов используют звезды ранних спектральных классов, в спектрах которых имеются достаточно протяженные гладкие участки. Для апробации метода и с целью увеличения числа слабых стандартов мы выбрали 8 звезд промежуточного блеска спектрального класса A0V, для которых спектральные и фотометрические параметры известны. К тому же для этих звезд не требуется учитывать смещение эффективной длины волны из-за эффекта ширины полос.

Таблица 1 - Список исследованных звезд и их характеристики

№	HD	α_{2000}	δ_{2000}	V	B - V	E_{B-V}
1	10897	01 ^h 48 ^m 49 ^s	60° 26' 45"	9. ^m 52	+0. ^m 23	0. ^m 25
2	11920	01 58 48	57 16 55	9.00	+0.15	0.17
3	17243	03 06 15	85 51 49	8.78	+0.07	0.09
4	18571	02 59 16	01 14 40	8.63	+0.03	0.05
5	281161	03 45 48	32 00 58	9.88	+0.37	0.39
6	36056	05 29 01	00 18 26	8.91	+0.06	0.08
7	247258	05 46 25	31 54 09	9.81	+0.12	0.14
8	250688	06 02 55	22 58 18	9.68	+0.08	0.10

Здесь HD - номер звезды по каталогу HD; α_{2000} и δ_{2000} - координаты на 2000 год, V - видимая звездная величина звезды, B - V - показатели цвета, E_{B-V} - вычисленные избытки цвета. Выборка звезд и их характеристики взяты из базы астрономических данных SIMBAD [9].

Для вычисления абсолютного распределения энергии $E(\lambda)$ в спектре избранной звезды необходимы следующие данные о ней.

1. Спектральный класс.
2. Наблюдаемая видимая звездная величина V.
3. Наблюдаемый показатель цвета B-V.

Кроме того, должны быть известны:

4. Нормальное (среднее, не отягощенное межзвездным поглощением) распределение энергии для звезд избранного спектрального класса $e_0(\lambda)$.
5. Нормальный показатель цвета для звезд того же спектрального класса $(B-V)_0$.
6. Закон межзвездного поглощения в направлении на исследуемую звезду.
7. Численное значение множителя в уравнении перевода видимой звездной величины в энергетическую освещенность $E(\lambda)$, создаваемую звездой в эффективной длине волны полосы V.

В отсутствии межзвездного поглощения абсолютное распределение энергии для звезд класса A0V можно вычислить по формуле:

$$E(\lambda) = 3.54 \times 10^{-2} \times e_0(\lambda) \times 10^{-0.4V} \text{ [Вт / (м}^2 \cdot \text{м)]}, \quad (1)$$

где $E(\lambda)$ - вычисленное абсолютное распределение энергии в спектре данной звезды; $e_0(\lambda)$ - нормальное относительное распределение энергии для звезд спектрального класса A0V; V - наблюдаемая видимая звездная величина.

Множитель $10^{-0.4V}$ преобразует звездную величину в интенсивности в условных единицах в эффективной длине волны полосы V, которая для A0V-звезд равна 5556А. В этой же длине волны должно быть нормировано относительное распределение энергии $e_0(\lambda)$. Напомним, что по определению в эффективной длине волны гетерохромное поглощение межзвездной средой или земной атмосферой равно монохроматическому. Для перехода к энергетическим единицам [Вт/м²*м] в длине волны 5556А множитель $10^{-0.4V}$

следует умножить на коэффициент равный 3.54×10^{-2} , численное значение которого определяется по основному спектрофотометрическому стандарту - Вега. Для нее взято $V = 0.03^m$ и компилятивное распределение энергии в ее спектре согласно Хейесу [10]. В эффективной длине волны фильтра V, которая равна 5556А, Вега согласно [10] создает энергетическую освещенность равную 3.45×10^{-2} [Вт/($m^2 \times m$)]. Монохроматические освещенности в этой длине волны для остальных звезд можно рассчитать по формуле Погсона:

$$E_1 / E_2 = 2.512^{m_2 - m_1} \quad (2)$$

Согласно ей и работе [12] для А0V-звезды нулевой величины энергетическая освещенность на $\lambda 5556A$ равна 3.54×10^{-2} [Вт $\times m^{-2} \times m^{-1}$].

Имеется несколько вариантов нормальных распределений $e_0(\lambda)$, мы предпочли работу [11].

Так как все наши звезды отягощены, пусть и небольшим, межзвездным поглощением, то при вычислении $E(\lambda)$ его необходимо учесть. Образно выражаясь - надо «покрасить» полученную согласно (1) кривую $E(\lambda)$ в красный цвет, насыщенность которого зависит от величины наблюдаемого избытка цвета E_{B-V} . Как и нормальных распределений энергии в спектрах звезд в литературе имеется несколько вариантов кривых закона межзвездного поглощения $A(\lambda)$, полученных из наблюдений. Если избегать очагов звездообразования и некоторых областей в Млечном Пути, то в видимой области они различаются незначительно. Обычно кривые межзвездного поглощения представляются в табличном и в нормированном виде. Нормировка делается либо к $A_V = 1^m$, либо к избытку цвета $E_{B-V} = 1^m$.

Таблица 2 - Нормальное распределение энергии для А0V-звезд $e_0(\lambda)$ согласно [11] и внеатмосферные освещенности, создаваемые звездой нулевой величины.

λ	$e_0(\lambda)$	$E0(\lambda)$	λ	$e_0(\lambda)$	$E0(\lambda)$	λ	$e_0(\lambda)$	$E0(\lambda)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3225	1.075	0.0380	4725	1.594	0.0564	6225	0.699	0.0247
3275	1.060	0.0375	4775	1.516	0.0537	6275	0.675	0.0239
3325	1.056	0.0374	4825	1.341	0.0475	6325	0.663	0.0235
3375	1.031	0.0365	4875	1.146	0.0406	6375	0.649	0.0230
3425	1.018	0.0360	4925	1.382	0.0489	6425	0.637	0.0225
3475	0.991	0.0351	4975	1.357	0.0480	6475	0.621	0.0220
3525	0.978	0.0346	5025	1.315	0.0465	6525	0.579	0.0205
3575	0.973	0.0344	5075	1.280	0.0453	6575	0.512	0.0181
3625	0.966	0.0342	5125	1.246	0.0441	6625	0.580	0.0205
3675	0.971	0.0344	5175	1.206	0.0427	6675	0.573	0.0203
3725	1.058	0.0375	5225	1.172	0.0415	6725	0.559	0.0198
3775	1.343	0.0475	5275	1.144	0.0405	6775	0.548	0.0194
3825	1.690	0.0598	5325	1.113	0.0394	6825	0.540	0.0191
3875	1.983	0.0702	5375	1.089	0.0386	6875	0.524	0.0186
3925	2.128	0.0753	5425	1.066	0.0378	6925	0.520	0.0184
3975	1.756	0.0622	5475	1.038	0.0368	6975	0.504	0.0178
4025	2.463	0.0872	5525	1.011	0.0358	7025	0.499	0.0177
4075	2.089	0.0740	5575	0.990	0.0350	7075	0.488	0.0173
4125	1.978	0.0700	5625	0.961	0.0340	7125	0.476	0.0168
4175	2.253	0.0798	5675	0.930	0.0329	7175	0.466	0.0165
4225	2.211	0.0783	5725	0.909	0.0322	7225	0.458	0.0162
4275	2.111	0.0747	5775	0.883	0.0312	7275	0.449	0.0159
4325	1.605	0.0568	5825	0.863	0.0305	7325	0.442	0.0157
4375	1.831	0.0648	5875	0.839	0.0297	7375	0.431	0.0153
4425	1.908	0.0675	5925	0.814	0.0288	7425	0.426	0.0151
4475	1.848	0.0654	5975	0.788	0.0279	7475	0.415	0.0147
4525	1.789	0.0633	6025	0.766	0.0271	7525	0.405	0.0143
4575	1.732	0.0613	6075	0.750	0.0265	7575	0.391	0.0139
4625	1.695	0.0600	6125	0.733	0.0260			
4675	1.647	0.0583	6175	0.712	0.0252			

В нашем случае все выбранные звезды принадлежат спектральному классу А0V, для которых нормальный показатель $(B-V)_0$ согласно В. Страйжису [13] равен -0.02^m . Следовательно, избытки цвета E_{B-V} равны наблюдаемым показателям цвета $(B-V)$, увеличенным на 0.02^m .

Величину A_V мы определяли из эмпирического соотношения:

$$A_V = R \times E_{B-V}, \text{ где } R = 3.1. \quad (3)$$

Напомним, что $A_\lambda = -2.512 \times \log \sigma(\lambda)$, где $\sigma(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda)$ - коэффициент пропускания излучения $I(\lambda)$ единичным количеством межзвездной среды. За единицу принимается количество вещества, которое ослабляет излучение на одну звездную величину (в 2.512 раз), т. е. $A_V = 1.00$. Зависимость $A(\lambda)$ при $A_V=1$ и есть закон межзвездного поглощения. В литературе имеется несколько его вариантов.

Редукции за межзвездное поглощение вычисленных по формуле (1) данных выполнены по формуле, приведенной в [12]:

$$\lg E_0(\lambda) = \lg E_{\text{obs}}(\lambda) + 0.272 (1/\lambda - 0.35) A_V, \quad (4)$$

$E_0(\lambda)$ и $E_{\text{obs}}(\lambda)$ – соответственно истинные и наблюдаемые значения монохроматических освещенностей. Обычно по данной формуле определяют истинное значение $E_0(\lambda)$. Нам же надо определить наблюдаемое значение $E_{\text{obs}}(\lambda)$. В этом случае величину V , которая входит в формулу (1), следует предварительно редуцировать за поглощение A_V . Иначе поглощения будет учтено дважды.

Итог наших вычислений представлен в таблице 3. В ней представлено внеатмосферное распределение энергии в спектрах восьми избранных звезд.

Таблица 3 - Внеатмосферное распределение энергии в спектрах исследованных звезд, единицы - $[10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{м})]$

λ HD	10897	11920	17243	18571	281161	36056	247258	250688
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3225	31.9	80.9	94	119	16.1	85.4	31.9	39.9
3275	32.2	81.0	93	118	16.5	84.8	31.9	39.7
3325	32.8	82.0	94	118	17.0	85.1	32.1	39.9
3375	32.8	81.2	92	116	17.2	83.7	31.8	39.3
3425	33.0	81.3	91	115	17.5	83.1	31.7	39.2
3475	32.8	80.2	90	112	17.6	81.5	31.2	38.4
3525	33.0	80.3	89	111	17.9	81.0	31.2	38.2
3575	33.5	80.9	89	111	18.4	81.0	31.3	38.3
3625	33.9	81.4	89	111	18.8	80.9	31.4	38.3
3675	34.7	82.8	90	112	19.4	81.8	31.9	38.8
3725	38.5	91.4	99	122	21.7	89.7	35.2	42.6
3775	49.7	117.3	127	156	28.3	114.4	45.0	54.4
3825	63.6	149.3	160	196	36.6	144.7	57.2	69.0
3875	75.9	177.2	189	231	44.1	170.8	67.8	81.5
3925	82.7	192.2	204	249	48.5	184.2	73.4	88.0
3975	69.3	160.3	169	206	41.0	152.8	61.1	73.1
4025	98.7	227.2	239	290	58.9	215.3	86.4	103.1
4075	85.0	194.6	204	247	51.1	183.5	73.9	88.0
4125	81.6	186.1	194	234	49.5	174.5	70.5	83.8
4175	94.3	214.0	222	268	57.6	199.7	81.0	96.0
4225	93.8	212.0	219	263	57.8	196.8	80.1	94.7
4275	90.8	204.3	210	252	56.3	188.8	77.0	90.9
4325	69.9	156.7	161	192	43.7	144.1	59.0	69.5
4375	80.8	180.3	184	220	50.9	165.0	67.8	79.7
4425	85.2	189.5	193	229	54.1	172.7	71.1	83.4
4475	83.6	185.1	187	223	53.4	168.0	69.4	81.2
4525	81.9	180.7	182	216	52.7	163.2	67.6	79.0
4575	80.2	176.3	177	210	51.9	158.6	65.9	76.8
4625	79.4	173.8	174	206	51.7	155.7	64.9	75.5
4675	78.0	170.2	170	200	51.1	151.9	63.5	73.7
4725	76.4	166.0	165	194	50.4	147.5	61.8	71.7
4775	73.4	159.0	158	185	48.7	140.8	59.1	68.5
4825	65.6	141.6	140	164	43.8	124.9	52.6	60.8
4875	56.7	122.0	120	141	38.1	107.2	45.2	52.2
4925	69.0	148.1	145	170	46.6	129.6	54.8	63.2
4975	68.5	146.4	143	167	46.5	127.7	54.2	62.3
5025	67.0	142.7	139	162	45.7	124.1	52.7	60.6
5075	65.8	139.9	136	158	45.2	121.2	51.6	59.2
5125	64.7	137.0	133	154	44.6	118.3	50.5	57.9

Продолжение таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5175	63.2	133.4	129	150	43.8	114.8	49.1	56.2
5225	62.0	130.5	126	146	43.2	112.0	48.0	54.8
5275	61.0	128.2	123	143	42.7	109.6	47.1	53.7
5325	59.9	125.4	120	139	42.1	106.9	46.0	52.4
5375	59.1	123.4	118	136	41.8	104.9	45.3	51.5
5425	58.3	121.5	116	134	41.4	103.0	44.5	50.6
5475	57.3	119.0	113	130	40.9	100.5	43.6	49.4
5525	56.2	116.5	110	127	40.3	98.2	42.6	48.3
5575	55.5	114.6	108	125	39.9	96.3	41.9	47.4
5625	54.2	111.9	105	121	39.2	93.7	40.8	46.1
5675	52.9	108.9	102	117	38.4	91.0	39.7	44.8
5725	52.1	106.9	100	115	38.0	89.1	38.9	43.9
5775	51.0	104.4	98	112	37.3	86.7	38.0	42.8
5825	50.2	102.5	96	109	36.9	85.0	37.3	41.9
5875	49.2	100.2	93	107	36.3	82.8	36.4	40.9
5925	48.0	97.7	91	104	35.6	80.5	35.5	39.8
5975	46.8	95.0	88	100	34.8	78.1	34.5	38.6
6025	45.8	92.8	86	98	34.2	76.1	33.6	37.7
6075	45.1	91.2	84	96	33.8	74.7	33.0	36.9
6125	44.4	89.6	83	94	33.4	73.2	32.4	36.2
6175	43.4	87.4	80	91	32.8	71.2	31.6	35.3
6225	42.9	86.1	79	90	32.5	70.0	31.1	34.7
6275	41.7	83.5	77	87	31.7	67.8	30.2	33.6
6325	41.2	82.3	75	85	31.4	66.6	29.7	33.1
6375	40.6	81.0	74	83	31.0	65.4	29.2	32.5
6425	40.0	79.7	73	82	30.7	64.3	28.7	31.9
6475	39.3	78.1	71	80	30.3	62.8	28.1	31.2
6525	36.9	73.2	66	75	28.5	58.7	26.3	29.2
6575	32.7	64.9	59	66	25.4	52.0	23.3	25.8
6625	37.3	73.9	67	75	29.0	59.0	26.5	29.4
6675	37.1	73.2	66	74	28.9	58.4	26.3	29.1
6725	36.3	71.6	65	72	28.4	57.0	25.7	28.4
6775	35.8	70.5	63	71	28.1	56.1	25.3	27.9
6825	35.5	69.7	63	70	27.9	55.3	25.0	27.6
6875	34.6	67.9	61	68	27.3	53.8	24.3	26.8
6925	34.5	67.6	61	68	27.3	53.5	24.2	26.7
6975	33.6	65.7	59	66	26.7	51.8	23.5	25.9
7025	33.5	65.4	58	65	26.7	51.5	23.4	25.7
7075	32.9	64.1	57	64	26.3	50.4	22.9	25.2
7125	32.2	62.7	56	62	25.8	49.2	22.4	24.6
7175	31.7	61.6	55	61	25.5	48.3	22.0	24.1
7225	31.3	60.7	54	60	25.2	47.5	21.7	23.7
7275	30.8	59.7	53	59	24.9	46.6	21.3	23.3
7325	30.5	59.0	52	58	24.7	46.0	21.0	23.0
7375	29.9	57.7	51	57	24.2	44.9	20.5	22.5
7425	29.6	57.2	50	56	24.1	44.4	20.3	22.2
7475	29.0	55.9	49	55	23.7	43.4	19.9	21.7
7575	28.4	54.7	48	53	23.2	42.4	19.4	21.2
7575	27.6	53.0	47	52	22.6	41.0	18.8	20.5

В первой колонке приведены длины волн центров интервалов усреднения (в ангстремах), в остальных – значащие числа внеатмосферных энергетических освещенностей, создаваемых указанными звездами (порядок чисел везде 10^{-8}).

Каждый из приведенных в начале статьи факторов вносит свой вклад в итоговую погрешность вычисленных освещенностей. Рассмотрим их по отдельности.

1. Спектральный класс звезд при массовых наблюдениях определяется с точностью до одного-двух спектральных подклассов. Иногда ошибки достигают целого класса. С соответствующей амплитудой «плавает» и относительное распределение энергии в спектре звезды. Различия относительного спектрального распределения энергии (с.р.э.) для соседних спектральных подклассов для В9-А5-звезд могут достигать 3-6% [11].

2. Наблюдаемые звездные величины V и показатели цвета $B-V$ в среднем определяются с точностью до одной-двух сотых звездной величины.

3. Разброс нормальных показателей цвета $(B-V)_0$ и нормальных относительных распределений энергии $e_0(\lambda)$ для различных подклассов А-звезд на краях интервала достигает 5-8%. Нормальным называют распределение энергии, типичное для звезд определенного спектрального класса, не отягощенных межзвездным поглощением. Его получают путем усреднения относительных спектральных распределений, нормированных в избранной длине волны для близких звезд. Имеющийся разброс кривых нормальных распределений и показателей цвета звезд обусловлен погрешностью спектральной классификации, различиями в химсоставе их атмосфер, разными скоростями вращения звезд и различной ориентацией оси вращения к лучу зрения. Также сказывается небольшое межзвездное поглощение, которое имеется и для близких звезд.

4. Закон межзвездного поглощения для большей части неба одинаков и задается в виде таблицы. Однако, имеются направления (например, на созвездие Лебедя или туманность Ориона), в которых он отличается от стандартных значений. В вычислениях использован «стандартный» закон, приводимый в [12]. Можно принять, что межзвездное поглощение для звезд, находящихся на расстояниях 200-300пк, определяется с точностью 3-6%.

5. Численное значение множителя, приведенного в седьмом пункте, определяется по первичному спектрофотометрическому стандарту – Веге и зависит от точности определения звездной величины в полосе V и точности абсолютной калибровки. Звездная величина Веги определена с точностью до 0.003^m , а освещенность в длине волны 5556А – с точностью до 1.0-1.5%.

Таким образом, основную погрешность при вычислении внеатмосферных освещенностей, создаваемых звездами, вносят дисперсии нормального распределения энергии и нормальных показателей цвета. Погрешность вычисленных значений возрастает к краям спектрального интервала и для отдельных звезд может достигать 10-12%. В области возле длины волны нормирования точность вычисленных $E(\lambda)$ в 2-3 раза выше.

В будущем список вычисленных звезд-стандартов будет расширен - как на остальную часть небесной сферы, так и на звезды других спектральных подклассов.

Работа выполнена по программе *О.0674:0003/ГОПЦФ-15 «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (проект «Создание информационной сети спектрофотометрических стандартов промежуточного блеска и исследование звезд, обладающих планетами»).*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миронов А.В. Основы астрофотометрии. М.: Физматлит. 2008. 260с.
- [2] Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука. 1991. 400с.
- [3] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars. Lambert Academic Publishing. 2015. 303p.
- [4] Волошина И. Б., Глушнев И. Н., Дорошенко В. Т., Колотилев Е. А., Моссаковская Л.И., Овчинников С.Л., Фетисова Т.С., под ред. И. Н. Глушневой . Спектрофотометрия ярких звезд. М., Наука. 1982. 256 с.
- [5] Alekseeva G. A., Arkharov A. A., Galkin V. D., Hagen-Thorn E. I., Nikanorova I. N., Novikov V. V., Novopashenny V. B., Pakhomov V. P., Ruban E. V., Shchegolev D. E. . The Pulkovo Spectrophotometric Catalog of Bright Stars in the Range from 320 to 1080 nm. Baltic astronomy. 1996. v.5. № 4. p. 603.
- [6] Комаров Н. С., Позигун В. А., Белик С. И., Драгунова А. В., Гопка В. Ф., Закожурникова Н. Н., Канцен Л. Э., Карамыш В. Ф., Мишенина Т. В., Орлова Л. Ф., Переверзентцев А. Ф., Руссо Т. А., Черкасс А. Г., Спектрофотометрия звезд в диапазоне $\lambda\lambda$ 550 - 900 нм. Киев. Наукова думка. 1983. 312 с.
- [7] Komarov N. S., Arkhipov M. G., Basak N. Yu., Belik S. I., Cherkass A.G., Chuprina R. I., Dragunova A.V., Dulapchi I. F., Gorbaneva T. I., Karamysh V. F., Kantsen L. E., Korotin S. A., Kovtyukh V. V., Orlova L. F., Motrich V.D. Pereverzentsev A.F., Shevchuk T.V. Zakozhurnikova N. N. // The new spectrophotometric star catalogue. Odessa Astron. Publ.. 1998. v. 11. p. 3.
- [8] Омаров С.З., Гаджиев М.С., Гольдберг Е.П., Омарова Г.Р., Шестопалов Д.И., Шустарев П.Н. // Распределение энергии в спектрах 425 ярких звезд / Циркуляр Шамахинской астрофиз. обсерв. им. Н. Туси. № 104. 2002. с. 3-174.
- [9] <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [10]. Hayes D.S. // Stellar absolute fluxes and energy distributions from 0.32 to 4.0 μ m / In «Calibration of Fundamental Stellar Quantities». IAU Symp. 111 / Eds. D.S. Hayes et al., Reidel. Dordrecht. 1985. p. 225-252;
- [11] Князева Л. Н., Харитонов А.В. // К вопросу о нормальном распределении энергии в спектрах звезд. Звезды А0-А2 главной последовательности / Астроном. журн., т. 70. вып. 4. 1993. с. 760 - 772.
- [12] Allen C.W. Astrophysical Quantities. London. The Athlone Press. 1963. 254p. (in Eng.)
- [13] Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс, Мокслас, 1997, 321с.

REFERENCES

- [1] Mironov A.V. Osnovy astrofotometrii. M.: Fizmatlit. 2008. 260 s. – (in Russ.)
- [2] Makarova E.A., Haritonov A.V., Kazachevskaya T.V. Potok solnechnogo izlucheniya. M.: Nauka. 1991. – 400 s. – (in Russ.)
- [3] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars. Lambert Academic Publishing. 2015. – 303 s. – (in Eng.)
- [4] Voloshina I.B., Glushneva I.N., Doroshenko V.T., Kolotilov E.A., Mossakovskaya K.I., Ovchinnikov S.L., Fetisova T.S., pod red. I.N.Glushnevoy. Spektrofotometriya yarkikh zvezd M. Nauka. 1982. 256 s. – (in Russ.)
- [5] Alekseeva G. A., Arkharov A. A., Galkin V. D., Hagen-Thorn E. I., Nikanorova I. N., Novikov V. V., Novopashenny V. B., Pakhomov V. P., Ruban E. V., Shchegolev D. E. . The Pulkovo Spectrophotometric Catalog of Bright Stars in the Range from 320 to 1080 nm. Baltic astronomy. 1996. V.5. № 4. S. 603. – (in Russ.)
- [6] Komarov N.S., Pozigun V.A., Belik S.I., Dragunova A.V., Gopka V.F., Zakozhurnikova N.N., Kantsen L.E., Karamysh V.F., Mishenina T. V., Orlova L.F., Pereverzentsev A.F., Russo T.A., Cherkass A.G.. Spektrofotometriya zvezd v diapazone λ 550 - 900 nm. Kiev. Naukova dumka. 1983. 312 s. – (in Russ.)
- [7] Komarov N. S., Arkhipov M. G., Basak N. Yu., Belik S. I., Cherkass A.G., Chuprina R. I., Dragunova A.V., Dulapchi I. F., Gorbaneva T. I., Karamysh V. F., Kantsen L. E., Korotin S. A., Kovtyukh V. V., Orlova L. F., Motrich V.D., Pereverzentsev A.F., Shevchuk T.V., Zakozhurnikova N. N.// The new spectrophotometric star catalogue. Odessa Astron. Publ.. 1998. V. 11. P. 3. - (in Eng.)
- [8] Omarov S.Z., Gadzhiev M.S., Goldberg E.P., Omarova G.P., Shestopalov D.I., Shustarev P.N. // Raspredelenie energii v spektrakh 425 yarkikh zvezd / Tsirkulyar Shamakhinskoy astrofiz. Observ. Im. Tusi. № 104. 2002. S. 3-174. – (in Russ.)
- [9] <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [10]. Hayes D.S. // Stellar absolute fluxes and energy distributions from 0.32 to 4.0 μ m / In «Calibration of Fundamental Stellar Quantities». IAU Symp. 111 / Eds. D.S. Hayes et al.. Reidel. Dordrecht. 1985. P. 225-252. - (in Eng.)
- [11] Knyazeva L.N., Kharitonov A. V. // K voprosu o normalnom raspredelenii energii v spektrakh zvezd. Zvezdy A0-A2 glavnoy posledovatelnosti / Astronom. Zhurn.. T. 70. Vyp. 4. 1993. S. 760 - 772. – (in Russ.)
- [12] Allen C.W. Astrophysical Quantities. London. The Athlone Press. 1963. 254p. (in Eng.)
- [13] Straizhis V. Mnogotsvetnaya fotometriya zvezd. Vilnius, Mokslas, 1997, 312s. - (in Russ.)

ӘОЖ: 523.3, 523.27

В.М. Терещенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**ФОТОМЕТРЛІК МӘЛІМЕТТЕР БОЙЫНША
ЭНЕРГИЯНЫҢ СПЕКТРЛІК ТАРАЛУЫНЫҢ АБСОЛЮТИЗАЦИЯСЫ**

Аннотация. Белгілі энергияның атмосферадан тыс таралуында стационар жұлдыздар олардың спектрлерінде әртүрлі аспан денелерінің спектрофотометрлік бақылаулары кезінде және қабылдау-тіркегіш аппаратураны үлгілендіру үшін стандарттар ретінде жиі пайдаланылады. Ірі телескоптарды іске қосумен байланысты әлсіз стандарттарға қажеттілік айтарлықтай туындады. Алайда, әлсіз жұлдыз-стандарттар өте аз, ал олардың құрылуы ұзақ бақылауларды талап етеді. Сондықтан біз белгілі спектрлік және фотометрлік мәліметтер базасында есептеу жолымен әлсіз стандарттар санын арттыруды шештік. Жұмыста есептелген энергияның $E(\lambda)$ атмосферадан тыс таралуы алгоритмінің сипаттамасы келтірілген және аралық жарқылдың 8 A0V-жұлдызы үшін сандық нәтижелер ұсынылған. Алынған мәліметтердің нақтылық бағалауы орындалды және есептік факторларда әрбір пайдаланылғандардың үлесі бағаланды. Есептелген мәндердің дәлдігі спектр аймағына байланысты және 3 тен 10% дейін құрайды. Есептеудің соңғы нәтижесі негізгі қатесін қалыпты энергия таралуы және зерттеліп отырған жұлдыздардың түстері көрсеткіші дисперсиясы шығарады.

Тірек сөздер: жұлдыздар, абсолюттік спектрофотометрия, фотометрия, стандарттар, есептеу.

Сведения об авторе:

Терещенко Владимир Михайлович - ведущий научный сотрудник ДТОО «АФИФ».

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 143 – 154

UDC 524.5

L.I. Shestakova, B.I. Demchenko

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
shest1952@mail.ru

ORBITAL EVOLUTION OF DUST PARTICLES IN THE SUBLIMATION PROCESS AROUND STARS OF LATE SPECTRAL CLASSES

Abstract. The results of orbital evolution modeling of the dust particles in the process of evaporation in the disk of M4V-type star are presented on the example of a red dwarf GJ 1132.

Several varieties of silicates with different refractive indices were selected: pyroxenes and olivines, as well as basaltic rock. Calculations of the temperature of dust particles based on the solution of the heat balance equation were performed for a set of radii from 0.01 to 10 μm and different distances to the star. The optical properties were calculated by the Mie theory. The influence of the radiation pressure, as well as the Poynting-Robertson effect, on the dynamics of dust was taken into account.

It is obtained that the orbital evolution depends on the initial starting distance and the initial particle radius, since the rate of sublimation depends on the temperature, which depends strongly on the initial data. Dust particles after the beginning of active evaporation go first on highly elliptical orbit, and then completely evaporate. According to our calculations, particles of all materials and sizes cannot leave the star system of class M under the influence of light pressure. All particles approach the star and evaporate.

If the dust in the star system has a similar mineral composition with the dust of the solar system, then the boundary of the dust sublimation zone is close to a distance of 2 radius of star.

Key words: M-type stars, debris disk, circumstellar disk, dust grains, orbital evolution, dust sublimation

УДК 524.5

Л.И. Шестакова, Б.И. Демченко

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

ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ СУБЛИМАЦИИ ОКОЛО ЗВЕЗД ПОЗДНИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ

Аннотация. Представлены результаты моделирования орбитальной эволюции пылевых частиц в процессе испарения в диске звезды класса M4 V на примере красного карлика GJ 1132. Выбраны несколько сортов силикатов с разными индексами рефракции: пироксены и оливины, а также базальтовая порода. Расчеты температуры пылевых частиц, основанные на решении уравнения теплового баланса, выполнены для набора радиусов от 0.01 до 10 мкм и различных расстояний до звезды. Оптические свойства рассчитаны по теории Ми. Учитывалось влияние давления радиации, а также эффектов торможения Пойнтинга-Робертсона на динамику пыли.

Получено, что орбитальная эволюция зависит от исходного стартового расстояния и начального радиуса частиц, поскольку темп сублимации зависит от температуры, сильно зависящей от исходных данных. После начала активного испарения пылевые частицы сначала выходят на высокоэллиптические орбиты, а затем полностью испаряются. Согласно нашим расчетам, частицы всех материалов и размеров не могут покинуть систему звезды класса M под действием светового давления. Все частицы сближаются со звездой и испаряются.

Если пыль в системе звезды имеет сходный минералогический состав с пылью Солнечной системы, то граница зоны сублимации пыли находится вблизи расстоянии 2 радиуса звезды.

Ключевые слова: звезды M-типа, осколочный диск, околозвездный диск, пылевые частицы, орбитальная эволюция, сублимация пыли.

Введение. Основной целью анализа действия светового давления на пылевые частицы разных размеров и материалов являлось определение границы области сублимации пыли около звезд класса М на примере звезды GJ 1132. Звезда GJ 1132 - красный карлик спектрального класса М4 V, удаленный от нас на 12.04 ± 0.24 пк. Его масса оценивается величиной $M_s = 0.181 \pm 0.02$ солнечных масс, радиус – $r_s = 0.207 \pm 0.016$ солнечных радиусов, светимость составляет всего 0.44% солнечной, $T_{\text{эф}} = 3270\text{К}$. Возраст звезды превышает 5 миллиардов лет. Наблюдения звезды GJ 1132 начались 28 января 2014 года [1].

Красные карлики – самый распространенный тип звезд в нашей Галактике, их примерно в 12 раз больше, чем звезд солнечного типа. К красным карликам относят звезды главной последовательности, чьи масса и радиус меньше 60% солнечных масс. Планетные системы красных карликов отличаются от планетных систем солнцеподобных звезд – они более компактны, в них реже встречаются планеты гиганты и чаще – планеты небольших масс (нептуну, суперземли и планеты земного типа). Данные, полученные космическим телескопом им. Кеплера, а также наземными RV-обзорами, говорят о том, что большинство маломассивных звезд имеет свои планетные системы.

Искать планеты у красных карликов с одной стороны, легче, а с другой – труднее, чем у звезд солнечного типа. Основная трудность заключается в низком блеске этих звезд, также многие из них миллиарды лет сохраняют вспышечную активность. С другой стороны, малые размеры звездного диска красных карликов позволяют обнаруживать транзиты планет меньшего размера, а небольшая масса благоприятствует обнаружению маломассивных планет методом измерения лучевых скоростей. Все это делает близкие (а значит, сравнительно яркие) красные карлики очень привлекательной целью экзопланетных исследований.

Около звезды обнаружена планета. Масса планеты GJ 1132 b составляет 1.62 ± 0.55 масс Земли, радиус – всего 1.16 ± 0.11 радиусов Земли, что приводит к средней плотности 6.0 ± 2.5 г/куб.см. Иначе говоря, перед нами – планета земного типа, лишь немного превышающая Землю по размерам и массе! GJ 1132 b вращается вокруг своей звезды по близкой к круговой орбите на расстоянии ~ 0.015 а.е. (16 ± 1 звездных радиусов) и делает один оборот за 1.62893 ± 0.00003 земных суток.

Инсоляция на орбите GJ 1132 b в 19 раз превышает инсоляцию на орбите Земли, иначе говоря, планета оказывается горячее Меркурия. Авторы открытия оценивают ее эффективную температуру в $579 \pm 15\text{К}$ в случае нулевого альбедо или в $409 \pm 11\text{К}$ в случае гораздо более вероятного значения альбедо 0.75 (как у Венеры). Весьма вероятно, что планета окружена плотной углекислотной атмосферой и окутана сернокислотными облаками, что делает ее горячим аналогом Венеры.

Мы провели моделирование орбитальной эволюции пылевых частиц различного химического состава в околосредней области в процессе испарения. Моделирование орбитальной эволюции пылевых частиц проведено с учетом влияния давления радиации и эффектов торможения Пойнтинга-Робертсона.

Выбраны несколько сортов силикатов с разными индексами рефракции, позволяющие оценить различия между веществами с разными свойствами поглощения: пироксены и оливины, а также базальтовая порода. Для всех перечисленных сортов силикатов выполнены расчеты светового давления на пылевые частицы разных размеров:

радиусами от 0.01 до 10 мкм. Расчеты температуры основаны на решении уравнения теплового баланса «поглощение-излучение» с учетом потерь на испарение. Оптические свойства рассчитаны по теории Ми [2] для однородных сферических частиц в соответствии с индексами рефракции материала.

Тепловой баланс и испарение частиц. Используя кинетическую теорию газов, процесс сублимации согласно [3-6] можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} ds/dt &= - P/\delta \cdot [\mu \cdot m_h / (2\pi k T)]^{1/2} \\ P &= P_m(T) \cdot \exp[-H_L / (kT)], \text{ или } P = \exp[H_L / k(1/T_0 - 1/T)], \end{aligned} \quad (1)$$

где ds/dt - скорость уменьшения радиуса в см/сек; P - давление насыщенных паров в торах ($1 \text{ тор} = 1 \text{ мм.рт.ст.} = 133.322 \text{ па}$, $1 \text{ па} = 1 \text{ н/м}^2 = 10 \text{ дин/см}^2$); $P_m(T) = \exp(H_L / (kT_0))$ - давление насыщенных паров для предельно больших температур; δ - плотность вещества в г/см³; μ - молекулярный вес; $m_h = 1.66057e^{-27} \text{ кг} = 1.66057e^{-24} \text{ г}$ - атомная единица массы; $k = 1.38066e^{-23} \text{ дж/К} = 1.38066e^{-16} \text{ эрг/К}$ - постоянная Больцмана; T - температура в К; H_L - энергия испарения одной молекулы; T_0 - температура, при которой давление насыщенных паров $P = 1 \text{ тор}$.

Приведем рабочие формулы к следующему виду:

$$\begin{aligned} ds/dt &= - C_1 \cdot P/\delta \cdot (\mu/T)^{1/2} \text{ см/сек} \\ \lg(P) &= C_2 - C_3/T, \end{aligned} \quad (2)$$

где C_1, C_2, C_3 – константы. Для константы C_1 используем коэффициент аккомодации $\alpha = 0.7$ согласно [4]: $C_1 = \alpha \cdot 133.322 (m_h / (2\pi k))^{1/2} = \alpha \cdot 0.5833 = 0.4083 \text{ кг/(м·сек)} \cdot \text{К}^{1/2}$ в системе СИ и $C_1 = 0.04083 \text{ г/(см·сек)} \cdot \text{К}^{1/2}$ в системе CGS, отсюда

$$\dot{s} = \frac{0.0408}{\delta} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{\mu}{T}} \text{ см/сек.} \quad (3)$$

Заметим, что C_1 не зависит от свойств вещества, то есть это универсальная константа. Коэффициенты 2-го уравнения из (3.1) и (3.2): $C_2 = \lg(e) \cdot H_L / (k \cdot T_0)$; $C_3 = \lg(e) \cdot H_L / k = C_2 \cdot T_0$, где $\lg(e) = 0.434294$. C_3 зависит только от H_L , C_2 - зависит от отношения H_L / T_0 . C_2 и C_3 одинаковы в СИ и в СГС: C_2 безразмерная, C_3 имеет размерность градус Кельвина.

В таблице 1 дана H – латентная теплота на единицу массы или удельная теплота парообразования. Пересчитать H (эрг/г) в H_L (дж/молекула) легко из очевидного соотношения: $H_L = (H \cdot 10^{-4}) \cdot (\mu \cdot m_H) = H \cdot \mu \cdot 1.66057e^{-31}$, где коэффициент 10^{-4} - переход из СГС в СИ, $m_H = 1.66057e^{-27}$ кг атомная единица массы, μ – молекулярный вес. С переводом единиц в дин/см² получим: $P_m = 1330 \cdot \exp[H_L / (kT_0)]$, отсюда $T_0 = H_L / [k \cdot \ln(P_m / 1330)]$.

Таблица 1 - Свойства материалов, использованные в расчетах

вещество	δ г/см ³	μ мол.вес	H эрг/г	P_m дин/см ²	T_0 К	$H_L \cdot 10^{-20}$ дж/мол	C_2 (T_0, H_L)	$C_3(H_L)$
bazalt	2.5	67.0	7.12e10	1.07e14	2284	79.2	10.915	24928.3
olivine1/50 MgFeSiO ₄	3.3	169.1	3.21e10	6.62e14	2423	90.1	11.6969	28341.47
olivine2/50 MgFeSiO ₄	3.3	60.1	9.60e10	3.12e11	3600	95.8	8.37068	30134.44
pyroxene50 Mg _{0.5} Fe _{0.5} SiO ₃	3.3	60.1	9.60e10	3.12e11	3600	95.8	8.37068	30134.44
pyroxene100 MgSiO ₃	3.3	60.1	9.60e10	3.12e11	3600	95.8	8.37068	30134.44

Свойства материалов и индексы рефракции для базальта собраны по измерениям, результаты которых представлены в [7,8]. Материальные данные для оливина и пироксена взяты из работы [6], а индексы рефракции из работы [9]. Все материальные параметры с использованием данных таблиц из [6] после пересчета и дополнения сведены в таблицу 1. Материальные параметры вещества olivine1/50, содержащего 50% Mg и 50% Fe взяты также в соответствии с [6], а материальные параметры olivine2/50, такого же химического состава, как и olivine1/50 взяты как у пироксенов. При этом индексы рефракции, использованные в наших расчетах, соответствуют приведенным в [9] и совпадают между собой для olivine1/50 и olivine2/50. Фактически мы не можем определить, какие именно молекулы покидают пылинку при испарении: SiO₂, чей молекулярный вес близок к 60, или полная молекула MgFeSiO₄, у которой молекулярный вес близок к 172. Очевидно, что такая «синтетическая» молекула существует лишь формально и может распасться на другие сочетания атомов перед испарением. Известных данных реальных измерений пока недостаточно. Компилятивные данные [9], полученные расчетами для произвольного содержания химических элементов Mg и Fe не вызывают доверия, поскольку получены не из эксперимента. Поэтому более надежными можно считать данные для базальта [7,8]. На наш взгляд сочетание атомов SiO₂ в природе более устойчиво, поэтому мы привлекли к расчетам материал olivine2/50.

Для расчета температуры пылинки используется естественное физическое условие, что при тепловом равновесии поглощаемая энергия должна быть равна излучаемой энергии с учетом потерь на испарение:

$$E_{abs} = E_{rad} + E_{evap} \quad (4)$$

$$E_{abs} = \pi s^2 \cdot 2 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r^2}} \right) \cdot \pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_s(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

$$E_{rad} = 4\pi s^2 \cdot \pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda \quad (6)$$

где T - температура нагрева частицы; $Q_{abs}(\lambda, s, m)$ – фактор поглощения, полученный из расчетов по теории Ми, зависящий от длины волны λ , радиуса частицы s и комплексного индекса рефракции вещества

$m(\lambda)=n(\lambda)+ik(\lambda)$; r_s – радиус звезды; r - расстояние от звезды; F_S - распределение энергии в спектре звезды (поверхностная яркость); $B(\lambda, T)$ – функция Планка. Из работы [5], после преобразований получим:

$$E_{evap} = \frac{4\pi s^2 \cdot ds/dt \cdot \delta}{\mu m_H} H_L = 4\pi s^2 \frac{H_L}{m_H} C_1 P \frac{1}{\sqrt{\mu T}} \quad (7)$$

C_1 и P определены выше.

После подстановки в (4) развернутых выражений (5), (6) и (7) получим:

$$2 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r^2}} \right) \cdot \pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_S(\lambda) d\lambda = 4\pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda + \frac{4C_1}{m_H} \frac{H_L P}{\sqrt{\mu T}} \quad (8)$$

Введем следующие обозначения:

$$\langle Q_{abs}(s, m) \rangle = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_S(\lambda) d\lambda}, \quad \langle Q_{rad}(s, m, T) \rangle = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda} \quad (9)$$

Величина $\langle Q_{abs} \rangle = \langle Q_{abs}(s, m) \rangle$ - это средний эффективный фактор поглощения, не зависящий от расстояния до звезды. Величина $\langle Q_{rad} \rangle = \langle Q_{rad}(s, m, T) \rangle$ - средний эффективный фактор излучения. Он зависит от s , m и от температуры T , а в конечном счете - от расстояния до звезды r . Для абсолютно черного тела оба эти фактора постоянны и равны 1.

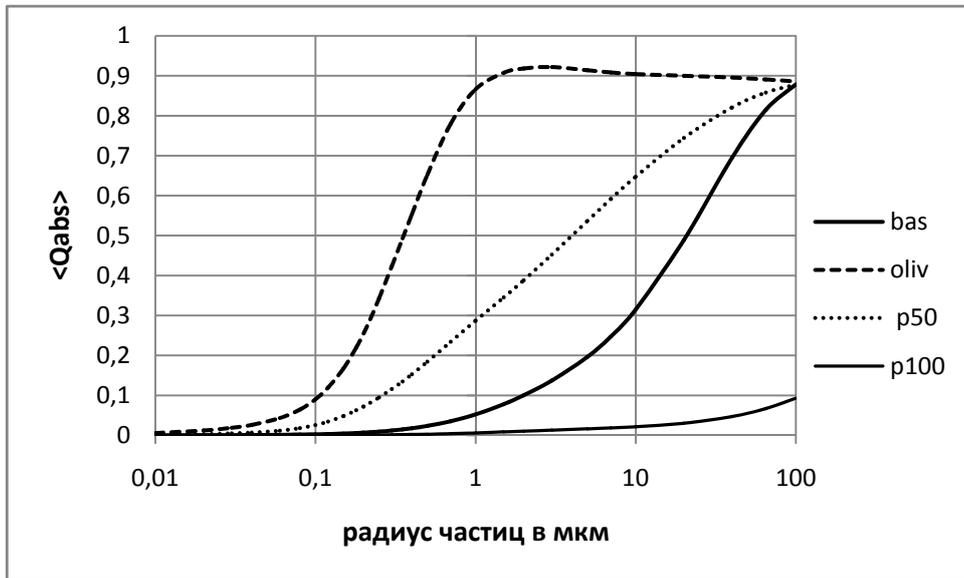


Рисунок 1 - Средний эффективный фактор поглощения $\langle Q_{abs} \rangle = \langle Q_{abs}(s, m) \rangle$ для частиц базальта (bas), оливина (oliv), пироксена 50 (p50) и пироксена 100 (p100)

Из рисунка 1 видно, что с ростом радиуса частиц величины $\langle Q_{abs} \rangle$ стремятся к 1.

Полагая пределы интегрирования равными $(0, \infty)$, преобразуем знаменатели в формулах (9):

$$4\pi r_s^2 \cdot \pi \int_0^{\infty} F_S(\lambda) d\lambda = L_S \quad - \text{ полное излучение звезды в ваттах. По закону Стефана-Больцмана:}$$

$$\pi \int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4, \text{ где } \sigma = 5.67032 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}/(\text{сек} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}^4). \text{ При больших расстояниях } r: 1 - \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r^2}} = \frac{r_s^2}{2r^2}.$$

Тогда рабочую формулу (3.8) можно записать в виде:

$$\frac{L_S}{16\pi r^2} \cdot \langle Q_{abs} \rangle = \sigma T^4 \cdot \langle Q_{rad} \rangle + \frac{C_1}{m_H} \frac{H_L P}{\sqrt{\mu T}} = \sigma T^4 \cdot \langle Q_{rad} \rangle + Z(T) \cdot H_L, \quad (10)$$

где $Z(T) = \frac{C_1 P}{m_H \sqrt{\mu T}} = \frac{\alpha 133 P}{\sqrt{2\pi k T \mu m_H}}$ есть количество молекул, испарившихся за 1 секунду с 1 м^2 поверхности.

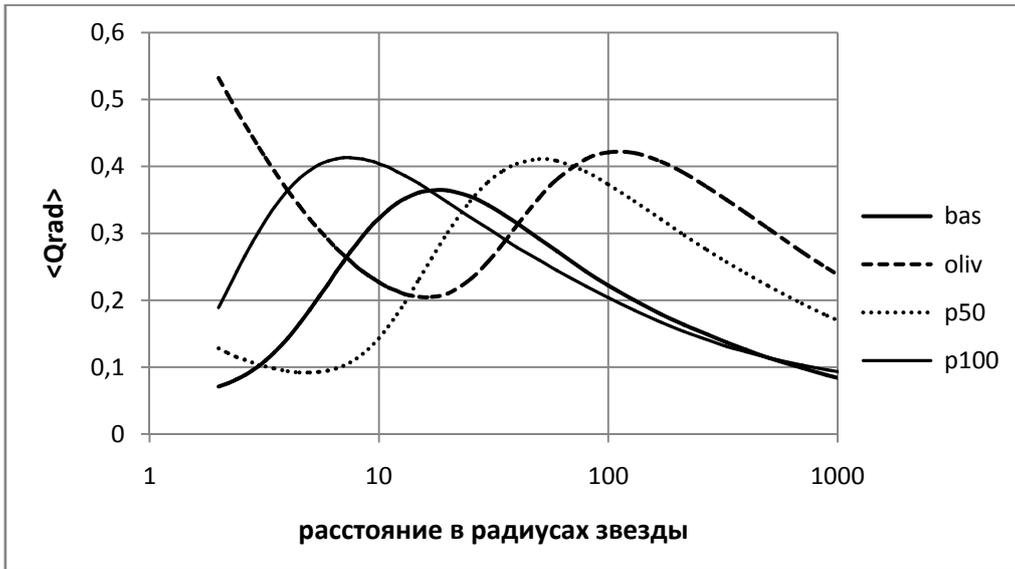


Рисунок 2 - Средний эффективный фактор излучения $\langle Q_{rad} \rangle = \langle Q_{rad}(s, m, T) \rangle$ пылевых частиц радиусом 1 мкм в зависимости от расстояния для частиц базальта (bas), оливина (oliv), пироксена 50 (p50) и пироксена 100 (p100)

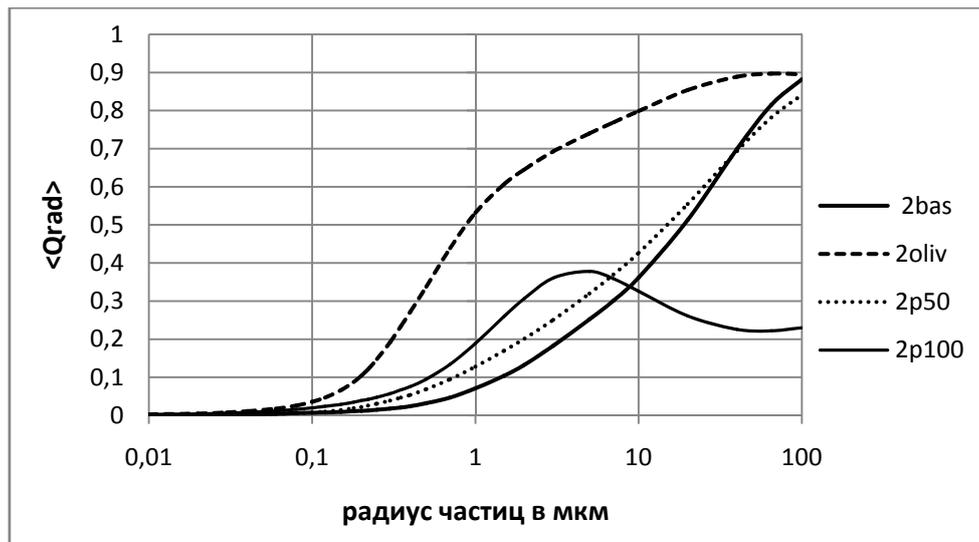


Рисунок 3 - Средний эффективный фактор излучения $\langle Q_{rad} \rangle = \langle Q_{rad}(s, m, T) \rangle$ пылевых частиц на расстоянии 2 радиуса звезды для частиц базальта (2bas), оливина (2oliv), пироксена 50 (2p50) и пироксена 100 (2p100)

Определение температуры из уравнения теплового баланса (10) упрощается, если иметь таблицы заранее рассчитанных $\langle Q_{abs} \rangle$ и $\langle Q_{rad} \rangle$. Если дальше идти по пути упрощения уравнения (10), можно пренебречь энергией испарения E_{evap} в уравнении теплового баланса. Как показали практические расчеты, вклад этого процесса даже вблизи области полного испарения не превышает нескольких процентов. Тогда уравнение (10) преобразуется к виду:

$$\frac{L_s}{16\pi r^2} \cdot \langle Q_{abs} \rangle = \sigma T^4 \cdot \langle Q_{rad} \rangle, \quad (11)$$

из которого легко найти температуру частицы на любом заданном расстоянии от звезды.

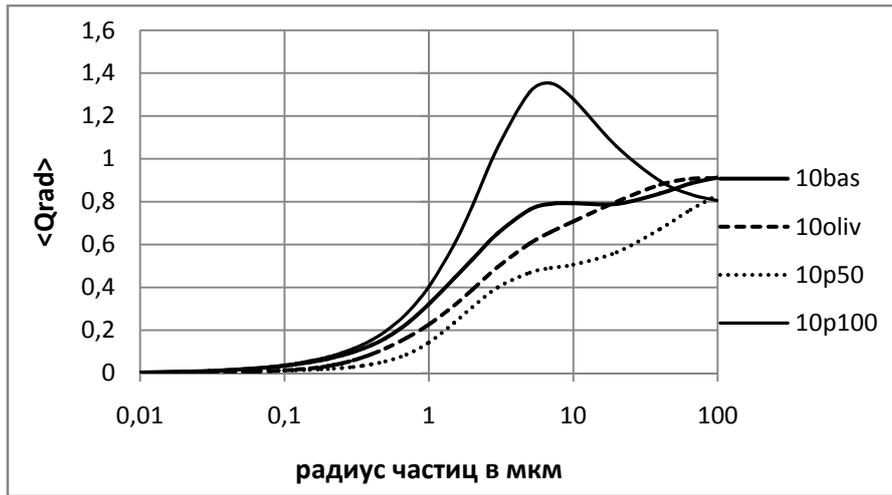


Рисунок 4 - Средний эффективный фактор излучения $\langle Q_{rad} \rangle = \langle Q_{rad}(s, m, T) \rangle$ пылевых частиц на расстоянии 10 радиусов звезды для частиц базальта (10bas), оливина (10oliv), пироксена 50 (10p50) и пироксена 100 (10p100)

Температуры пылевых гранул, полученные из наших расчетов, для сравнения сопровождаются аналогичными расчетами для абсолютно черного тела. В этом случае будем считать, что $Q_{abs} = 1$ и тело имеет достаточно большие размеры, во избежание эффектов дифракции. Учитывая, что светимость $L_s = 4\pi r_s^2 \sigma T_{eff}^4$, в предположении: $\langle Q_{abs} \rangle = \langle Q_{rad} \rangle = 1$, из уравнения теплового баланса можно получить температуру пылинки в зависимости от расстояния до звезды в приближении абсолютно черного тела: $T_{bb} = T_{eff}(r_s/2r)^{1/2}$. В результате численных расчетов получают значения температур T нагрева частиц в зависимости от материала, радиуса частицы s и расстояния r до Солнца.

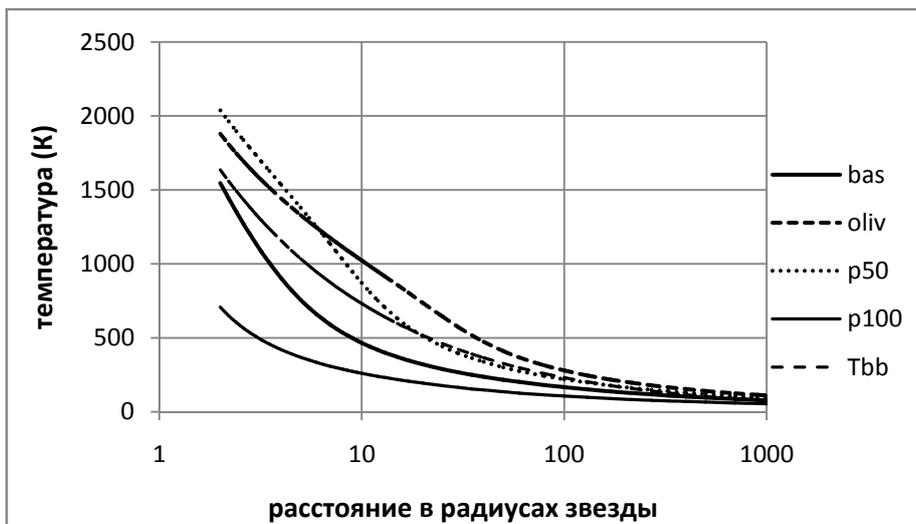


Рисунок 5 - Температура частиц из различных материалов радиусами 1 мкм в зависимости от расстояния до звезды, для частиц базальта (bas), оливина 1/50 и оливина 2/50 (oliv), пироксена 50 (p50) и пироксена 100 (p100), Tbb – черное тело

Результаты расчетов, представленные на рисунках 1 - 5, касающиеся оливина (oliv) совпадают для оливина1/50 и оливина2/50. Только на рисунке 6 проявилось небольшое отличие для частиц малых размеров: кривая для oliv_2r чуть выше, чем для op_2r.

Практические расчеты теплового баланса с учетом потерь на испарение показали, что влияние его незначительно, особенно с учетом некоторых неопределенностей, следующих из кинетической теории, таких как коэффициент аккомодации и отклонение от равновесного состояния молекул, покидающих пылинку. Также свой вклад в неопределенность некоторых вещественных параметров дают различные примеси химического состава и условности в определении расчетных индексов рефракции для синтетических комбинаций оливинов и пироксенов [9].

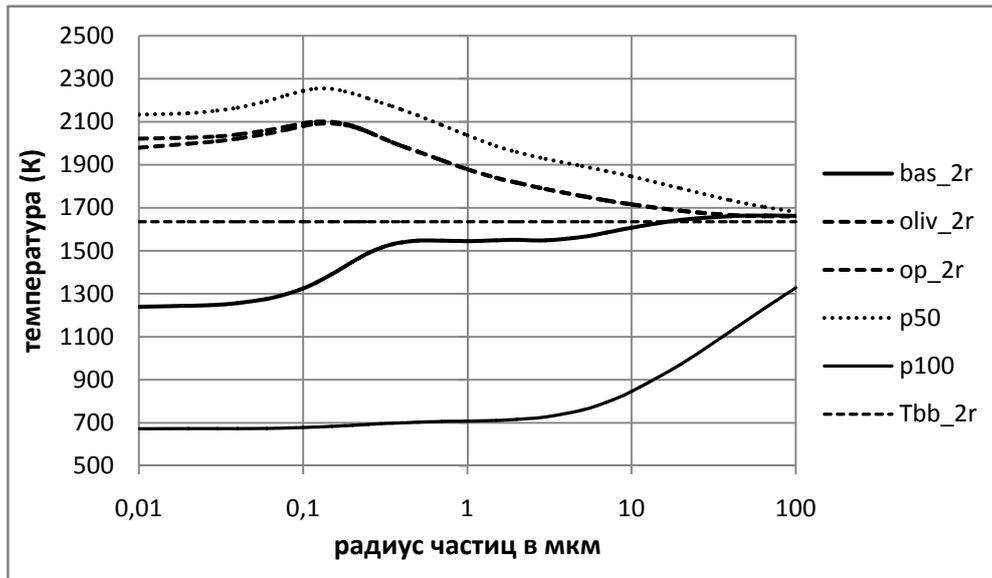


Рисунок 6 - Температура частиц из различных материалов на расстоянии $2r_s$ в зависимости от радиусов для частиц базальта (bas_2r), оливина1/50 (oliv_2r), оливина2/50 (op_2r), пироксена 50 (p50) и пироксена 100 (p100), Tbb_2r – черное тело

На рисунке 6 представлены результаты расчетов температуры частиц на расстоянии $2r_s$ в зависимости от их радиусов s , показано, что температуры частиц разных размеров и материалов отличаются друг от друга и от абсолютно черного тела.

Вызывает удивление, что температуры частиц для оливинов и пироксенов могут превышать температуру черного тела. Такие результаты – следствие волновой природы света, когда эффективное сечение частиц превосходит геометрические размеры.

Расчеты светового давления. Расчет среднего фактора радиационного давления $Q_{pr} = \langle Q_{pre} \rangle$ и отношения силы давления к силе тяготения $\beta = F_{pre}/F_{grav}$ проводился в зависимости от материала и радиуса пылинки. Эти параметры не зависят от расстояния до звезды.

Сила радиационного давления F_{pre} вычисляется согласно [4] по формуле:

$$F_{pre} = \frac{\pi s^2}{c} \frac{r_s^2}{r^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_{eff}) d\lambda, \quad (12)$$

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

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

В качестве спектральной плотности излучения звезды берется функция Планка при температуре $T_{eff} = 3270$ К. Расчетные формулы имеют вид:

$$Q_{pr}(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) \cdot B(\lambda, T) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) \cdot d\lambda}, \quad \beta(s, m) = \frac{F_{pre}(s, m)}{F_{grav}} = \frac{3 \cdot Q_{pr}(s, m) \cdot L}{16\pi \cdot c \cdot \mu \cdot \delta \cdot s}, \quad (13)$$

где $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ - эффективный спектральный фактор давления, рассчитанный по теории Ми, L - полная светимость звезды, μ - гравитационный параметр звезды, равный произведению гравитационной постоянной на массу, δ - плотность вещества пылевой частицы.

Результаты расчетов отношения силы давления к силе притяжения $\beta(s, m)$ для силикатных материалов (базальта, оливина и пироксена) представлены на рисунке 7.

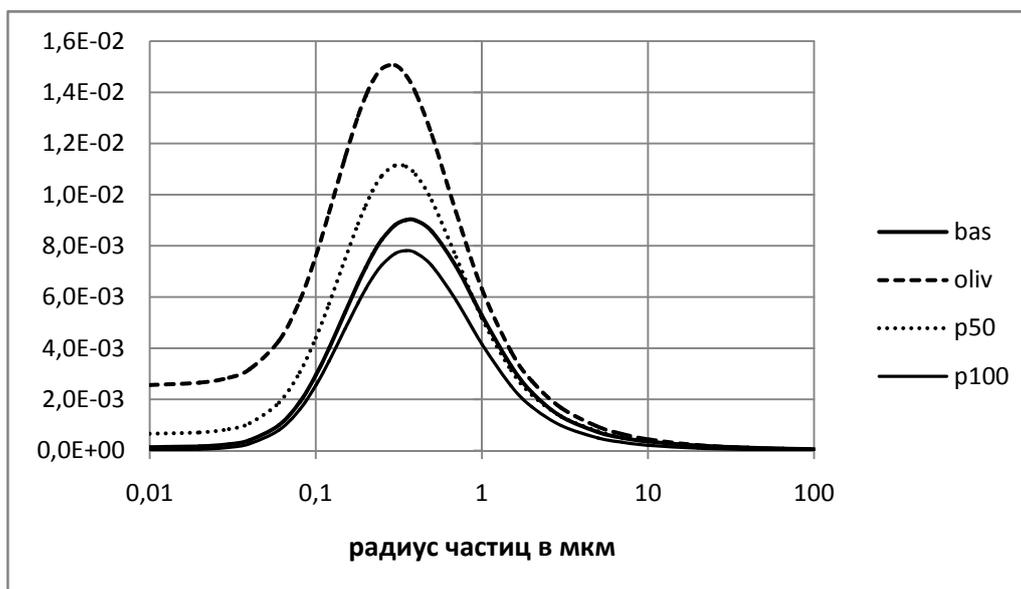


Рисунок 7 - Отношение давления радиации к силе тяготения ($\beta = F_{pre}/F_{grav}$) в зависимости от радиусов частиц для различных материалов: базальта (bas), оливина (oliv), пироксена 50 (p50) и пироксена 100 (p100).

Из рисунка 7 видно, что максимум светового давления приходится на частицы радиусами 0.3 - 0.4 мкм, которые сильнее других подвержены действию радиации звезды. Сами величины светового давления (β) для звезды спектрального класса M4V оказались на уровне сотых - тысячных долей единицы, поэтому влияние светового давления на динамику пыли практически не проявляется. По крайней мере, процессы активного выброса вещества в межзвездную среду отсутствуют. Возможен только обратный процесс - аккреция на звезду под действием эффекта Пойнтинга - Робертсона.

Расчеты орбитальной эволюции. Расчет орбитальной эволюции пылевых частиц основан на численном интегрировании системы дифференциальных уравнений:

$$\ddot{r} = r\dot{\phi}^2 - \frac{GM_s}{r^2} \cdot (1 - \beta) \quad (14)$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{1}{r^2} \cdot \left[2r \cdot \dot{r}\dot{\phi} + \alpha \cdot \dot{\phi} \cdot \left(1 + \frac{r^2}{2r^2} \right) \right] \quad (15)$$

$$\dot{s} = \frac{0.0408}{\delta} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{\mu}{T}} \quad (16)$$

Приняты следующие обозначения:

$\dot{r} = dr/dt$ - скорость изменения r со временем; $\ddot{r} = d^2r/dt^2$ - ускорение; φ - полярный угол (угол поворота вектора \vec{r}); $\dot{\varphi} = d\varphi/dt$ - угловая скорость изменения φ со временем; $\ddot{\varphi} = d^2\varphi/dt^2$ - угловое ускорение; $\dot{s} = ds/dt$ - скорость изменения радиуса частицы s со временем; μ - молекулярный вес материала частицы; $\alpha = \beta \cdot GM_s/c$, G – гравитационная постоянная, M_s – масса звезды.

Для вычисления давления насыщенных паров P служит формула:

$\lg(P) = C_2 - C_3/T$, с коэффициентами C_2 и C_3 , приведенными в таблице 1, где P выражено в торах (1 тор = 1 мм.рт.ст.). Если в уравнении (16) давление P выражено в торах, а плотность вещества δ выражена в г/см³, то скорость уменьшения радиуса частицы \dot{s} будет иметь размерность см/сек. Именно такую размерность дает константа 0.0408, входящая в это уравнение.

Стартовые условия задаются отдельно: частицы либо движутся самостоятельно с круговой орбитальной скоростью, либо срываются с родительских тел (комет) с параболической скоростью.

Результаты расчетов и заключительные замечания. Орбитальная эволюция частиц зависит от исходного стартового расстояния и начального радиуса частиц, поскольку темп сублимации зависит от температуры, сильно зависящей от исходных данных.

После начала активного испарения пылевые частицы сначала выходят на высокоэллиптические орбиты, а затем полностью испаряются. Типичный пример орбитальной эволюции отдельно взятой пылевой частицы представлен на рисунке 8, где показано, что частица оливина 1/50 начального радиуса 0.5 мкм, стартующая с расстояния $5.6r_s$, выходит на эллиптическую орбиту, которая колеблется между расстояниями $5.6r_s$ и $5.75r_s$ от звезды, затем сближается со звездой и испаряется.

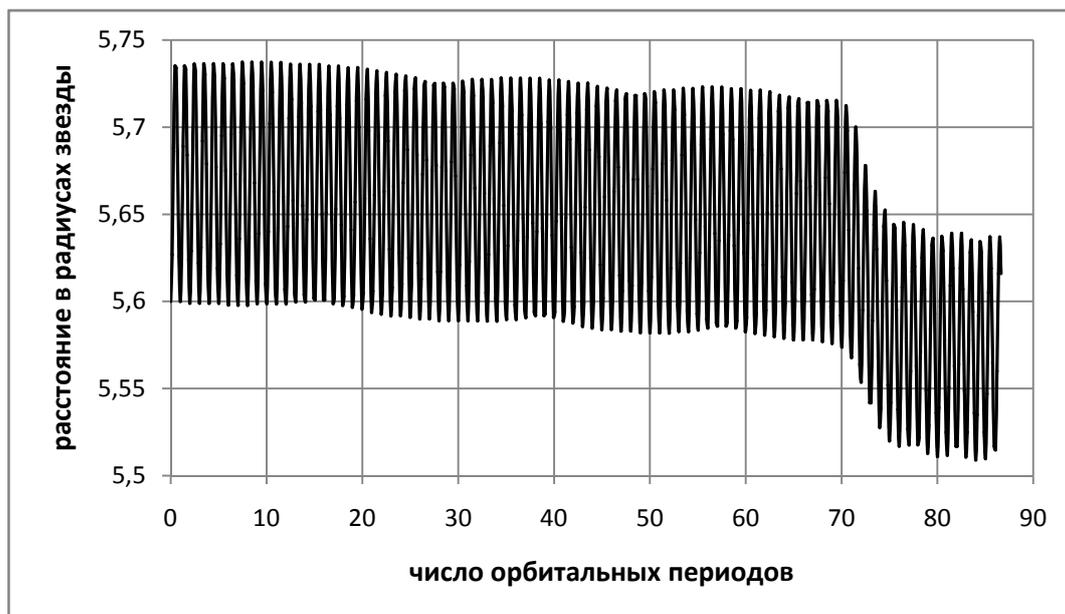


Рисунок 8 - Орбитальная эволюция частиц оливина 1/50 начального радиуса 0.5 мкм, стартующих с расстояния $5.6r_s$

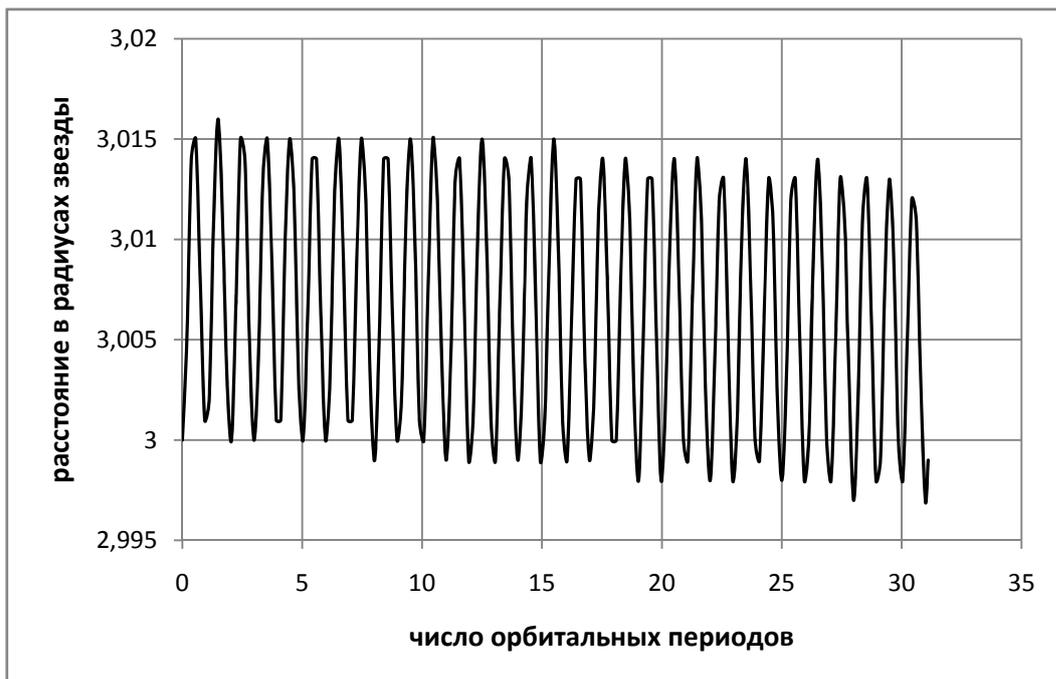


Рисунок 9 - Орбитальная эволюция частиц оливина 2/50 с материальными параметрами пироксена начального радиуса 0.02 мкм, стартующих с расстояния $3r_s$.

В другом примере (рисунок 9) показано, как частица оливина 2/50 с материальными параметрами пироксена начального радиуса 0.02 мкм, стартующая с расстояния $3r_s$, после нескольких орбитальных оборотов также сближается со звездой и испаряется.

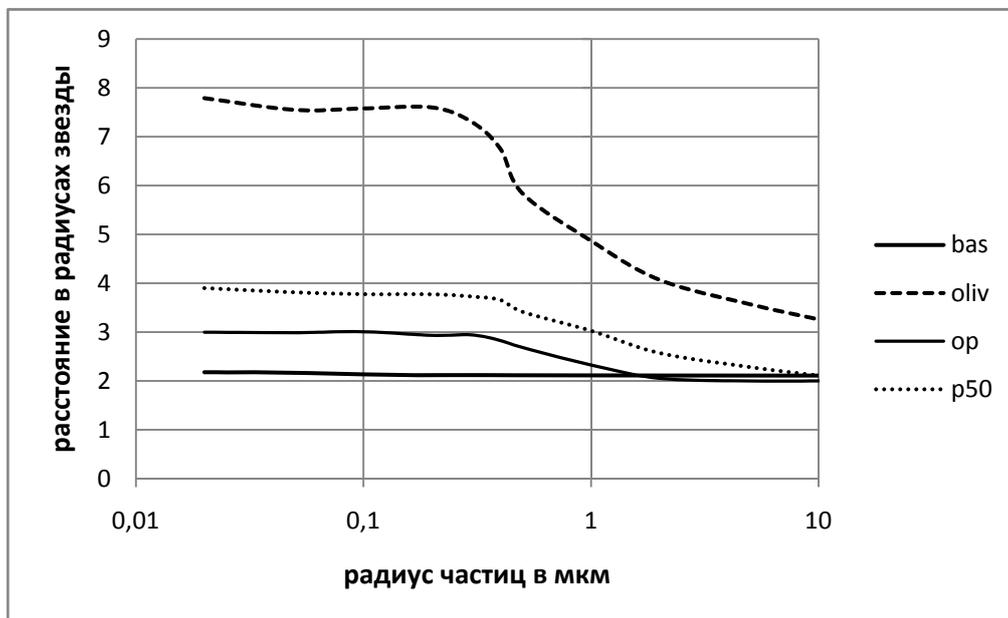


Рисунок 10 - Границы зоны испарения для пылевых частиц из различных материалов: базальта (bas), оливина 1/50 (oliv), оливина 2/50 (op) и пироксена 50 (p50)

Получено (рисунок 10), что область испарения частиц различного химического состава простирается от расстояний $2.1r_s$ для базальта до $8r_s$ для «гибридного» железосодержащего оливина 1/50 ($MgFeSiO_4$). Опыт наших расчетов показал, что наиболее надежные данные по индексам рефракции получены непосредственно из измерений

Для условий Солнечной системы наиболее подходящими материалами, удовлетворяющими наблюдениям [11] являются базальт и «гибридный» оливин 2/50 ($MgFeSiO_4$) с материальными параметрами пироксена (таблица 1). Если пыль в системе звезды имеет сходный минералогический состав, то граница зоны сублимации пыли находится вблизи $2r_s$. На рисунке 10 отсутствует тугоплавкий пироксен (P100), который не содержит железа и описывается формулой $MgSiO_3$. Для него расчеты показывают сближение со звездой практически без испарения.

РАБОТА ВЫПОЛНЕНА ПО ПРОЕКТУ 0073-7/ПЦФ-15 КОМИТЕТА НАУКИ МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Berta-Thompson K., Irwin J., Charbonneau D., Newton E., Dittmann J. et al. A rocky planet transiting a nearby low-mass star // <http://arxiv.org/pdf/1511.03550.pdf>.
- [2] Boren C.F, Hafmen D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. John Wiley & Sons Inc., 1983.
- [3] Lamy, P.L. The Dynamics of Circum-solar Dust Grains, *Astron. Astrophys.*, vol.33., 1974a, P. 191-194.
- [4] Lamy, P.L. Interaction of interplanetary dust grains with the solar radiation field, *Astron. Astrophys.*, vol.35, 1974b, P. 197-207.
- [5] Mikai, T. and Yamamoto, T. A Model of the Circumsolar Dust Cloud, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, vol.31, 1979, P.585-596.
- [6] Kobayashi H., Kimura H., Watanabe S., Yamamoto T., Müller S. Sublimation temperature of circumstellar dust particles and its importance for dust ring formation, *Earth, Planets and Space*, vol.63, 2011, P.1067-1075.
- [7] Lamy P.L. Optical properties of silicates in the far ultraviolet, *Icarus*, vol.34, 1978, P.68-75.
- [8] Pollack J.B., Toon O.B. and Khare B.N. Optical properties of some terrestrial rocks and glasses, *Icarus*, vol.19, 1973, P.372-389.
- [9] Draine B.T. Tabulated optical properties of graphite and silicate grains, *Ap.J.S.*, vol.57, 1985, P.587-594.
- [10] Dorschner J., Begemann B., Henning Th., Jäger C., Mutschke H. Steps toward interstellar silicate mineralogy II. Study of Mg-Fe-silicate glasses of variable composition, *Astron. Astrophys.*, vol.300, 1995, P.503-520.
- [11] Shestakova L.I. and Demchenko B.I. Results of Observations of the dust distribution in the F-corona of the Sun, *Solar System Research*, vol.50, №2, 2016, P.143 – 160.

REFERENCES

- [1] Berta-Thompson K., Irwin J., Charbonneau D., Newton E., Dittmann J. et al. <http://arxiv.org/pdf/1511.03550.pdf>.
- [2] Boren C.F, Hafmen D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, **1983**, John Wiley & Sons, Inc., 664P.
- [3] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.*, **1974a**, V.33, P. 191-194.
- [4] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.*, **1974b**, V.35, P. 197-207.
- [5] Mikai, T. and Yamamoto, T. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **1979**, V.31, P.585-596.
- [6] Kobayashi H., Kimura H., Watanabe S., Yamamoto T., Müller S. *Earth, Planets and Space*, **2011**, V.63, P.1067-1075.
- [7] Lamy P.L. *Icarus*, **1978**, V.34, P.68-75.
- [8] Pollack J.B., Toon O.B. and Khare B.N. *Icarus*, **1973**, V.19, P.372-389.
- [9] Draine B.T. *Ap.J.S.*, **1985**, V.57, P.587-594.
- [10] Dorschner J., Begemann B., Henning Th., Jäger C., Mutschke H. *Astron. Astrophys.*, **1995**, V.300, P.503-520.
- [11] Shestakova L.I. and Demchenko B.I. *Solar System Research*, **2016**, V.50, №2, P.143 – 160.

ӘОЖ: 524.5

Л.И. Шестакова, Б.И. Демченко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

СОҢҒЫ СПЕКТРЛІК КЛАСТАРДАҒЫ ЖҰЛДЫЗДАР ЖАНЫНДА СУБЛИМАЦИЯЛАНУ ПРОЦЕСІНДЕ ШАҢ-ТОЗАНДЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ОРБИТАЛЫҚ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Аннотация. Қызыл ергежей GJ 1132 мысалында M4 V жұлдыз класының дискінде булану процесінде шаң-тозанды бөлшектердің орбиталық эволюциясының моделдеуінің нәтижелері берілген. Әртүрлі рефракция индекстері бар силикаттардың бірнеше түрлері тандап алынған: пироксендер және оливиндер, сонымен бірге базальттық тұқым. Шаң-тозанды бөлшектердің температураларын есептеу, жылу балансы теңдеуінің шешіміне негізделген, әртүрлі радиустар жиынына орындалған, жұлдыздарға дейінгі әртүрлі

қашықтықта және 0.01 ден 10 мкм дейін. Ми теориясы бойынша оптикалық қасиеттері есептелді. Шаң-тозаң динамикасына Пойнтинг-Робертсон тежегіш эффектісі, радиацияға қысымның әсері ескерілген.

Шығатын мәліметтерден, сублимацияның қарқыны температураға тәуелді болуы, бөлшектің бастапқы радиусының және бастапқы қашықтығына орбиталық эволюцияның тәуелді болуы алынды. Жоғары эллиптикалық орбитаға шаң-тозаңды бөлшектердің белсенді булануы басталғанда шығады, одан кейін толық буланып кетеді. Жарық қысымының әсерінен М класының жұлдыздар жүйесін біздің есептеулерден барлық материалдағы және өлшемдегі бөлшектер шығып кете алмайды. Барлық бөлшектер жақындайды және жұлдызбен бірге буланып кетеді.

Жұлдыздың жүйесінде шаң-тозаң болса шығатын минералдық құрам Күн жүйесінің шаң-тозаңымен ұқсас, шаң-тозаңды сублимациялау аймағының шекарасы жұлдыздың 2 радиусына жақын қашықтық.

Түйін сөздер: М-түріндегі жұлдыздар, сынық диск, жұлдыз жанындағы диск, шаң-тозаңды бөлшектер, орбиталдық эволюция, шаң-тозаңдардың сублимациялануы.

Сведения об авторах:

Демченко Борис Иванович - выпускник МГУ 1975 года, астроном, специальность «небесная механика», адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», лаборатория ИСЗ, т. 260 86 93, факс. 260 75 90, shest1952@mail.ru

Шестакова Любовь Илларионовна - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 777 16 33 154, р.т. 260 74 41, факс. 260 75 90, shest1952@mail.ru

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 155 – 161

УДК 524.335

S. A. Shomshekova, I. V. Reva, L.N. Kondratyeva

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
shmshekva-saule@mail.ru, reva@aphi.kz, lu_kondr@mail.ru

STANDARDIZATION OF THE PHOTOMETRIC SYSTEM OF THE 1-METER TELESCOPE ON TSHAO

Abstract. The results of standardization of photometric observations, which are carried out on the eastern 1-meter telescope located on Tien-Shan Astronomical Observatory of Fessenkov Astrophysical Institute, are presented in the paper. At the end of 2016, instead of the CCD camera, which was used as a detector on 1-meter telescope, a new CCD camera Alta F16M was installed. At this time, the angular scale of image is 0.563 "/ pixel. The angular size of the frame is 19' × 19'. For standardization of the instrumental values B V R, photometric observations of 31 standard stars from the Landolt Catalog were carried out. Comparison of observable and catalogue values of star's magnitudes allows to calculate the coefficients in the system of the equations, which are used for transformation of observational B V R values into the international Johnson – Morgan system. Comparison of the calculated of B V R values with those from Catalog shows good agreement and confirms the reliability of suggested equations.

Key words: photometry, standard stars, B V R magnitudes

С. А. Шомшекова, И. В. Рева, Л.Н. Кондратьева

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

Стандартизация фотометрической системы 1-метрового телескопа ТШАО

Аннотация. В статье приводятся результаты стандартизации фотометрических наблюдений, которые проводятся на восточном 1-метровом телескопе, установленном на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории Астрофизического Института им. В.Г. Фесенкова. В конце 2016 года вместо ПЗС камеры, которая раньше использовалась в качестве приемника излучения на 1-метровом телескопе, была установлена новая камера Alta F16M. В данное время угловой масштаб кадра с изображением объектов - 0.563"/пиксель. Угловой размер кадра 19'×19'. Для стандартизации инструментальных значений B V R были выполнены фотометрические наблюдения 31 стандартной звезды из Каталога Ландольта. Сравнение наблюдаемых и каталожных значений звездных величин позволяет вычислить коэффициенты в системе уравнений, которые используются для перевода инструментальных значений B V R в интернациональную систему Джонсона - Моргана. Сравнение вычисленных значений B V R с каталожными данными показало отличное согласие, что доказывает правильность полученных уравнений.

Ключевые слова: стандартные звезды, фотометрия, B V R величины.

Введение

В Астрофизическом институте им. В.Г. Фесенкова (АФИФ) проводятся регулярные исследования переменных звезд и галактик с активными ядрами. Фотометрические наблюдения являются одним из главных источников важной информации о поведении и природе этих объектов. Аппаратура, используемая для наблюдений: ПЗС камеры и фильтры создают полосы пропускания, близкие к стандартной B V R системе Джонсона-Моргана. Однако, достичь полного соответствия практически невозможно. Выход состоит в создании системы уравнений, позволяющих перевести наблюдаемые значения звездных величин в интернациональную систему.

1. Наблюдения и обработка результатов.

На 1-метровом телескопе системы Ричи-Кретьена (фокусное расстояние 6,5м, угловой размер кадра 19'×19') используются ПЗС камера Alta F16M фирмы Argee Alta и BVR Astrodon фильтры. Угловой

масштаб кадра с изображением объектов - 0.563"/пиксель. В программу наблюдений вошли 31 стандартная звезда из Каталога [1]. Были выбраны площадки SA 32, SA 35 с достаточно большим положительным склонением, так что во время наблюдений они располагались на зенитном расстоянии, близком к нулю. Основные данные для выбранных звезд приводятся в Таблице 1. Для площадок SA 32 и SA 35 было получено по пять и по три кадра в каждом из трех фильтров, соответственно.

Стандартная предварительная обработка полученных изображений выполнялась с использованием файлов Dark, Bias и Flat field. Измерения блеска звезд проводились с помощью программы Maxim DL 5.

Таблица 1 - Характеристика выбранных звезд – стандартов

№	Обозначения Объекта	α	δ	V	B-V	V-R
	1	2	3	4	5	6
1	SA32-282	12 56 02.614	+44 26 49.25	10,152	+0.480	+0.283
2	SA32-272	12 55 10.338	+44 17 28.83	8,961	+0.488	+0.304
3	SA32-377	12 55 45.397	+44 40 38.6	10,63	+0.641	+0.372
4	SA32-379	12 55 50.119	+44 42 22.67	11,174	+1.039	+0.547
5	SA32-330	12 55 26.396	+44 33 35.57	10,068	+0.665	+0.378
6	SA32-212	12 55 03.313	+44 42 28.14	9,317	+1.159	+0.609
7	SA32-221	12 55 36.794	+44 14 59.60	11,429	+0.682	+0.378
8	SA32-220	12 55 34.253	+44 15 02.31	13,094	+0.646	+0.380
9	SA32-105	12 56 29.185	+43 54 07.17	13,372	+0.632	+0.364
10	SA32-106	12 56 32.000	+43 56 45.10	13,266	+0.685	+0.399
11	SA32-107	12 56 34.300	+43 54 33.99	13,673	+0.747	+0.421
12	SA32-109	12 56 40.337	+43 56 33.74	11,891	+0.536	+0.325
13	SA32-113	12 57 25.835	+43 56 32.95	10,834	+0.906	+0.531
14	SA32-167	12 56 11.417	+44 00 32.42	13,51	+0.398	+0.241
15	SA32-177	12 57 17.140	+44 01 00.49	11,377	+0.641	+0.372
16	SA32-178	12 57 25.633	+44 02 02.82	11,313	+0.805	+0.457
17	SA32-176	12 57 03.215	+44 00 33.80	10,212	+1.071	+0.561
18	SA32-175	12 57 00.485	+44 05 02.78	13,544	+1.063	+0.652
19	SA32-174	12 56 55.284	+44 05 00.64	12,433	+0.721	+0.431
20	SA32-172	12 56 35.217	+44 02 25.02	14,469	+0.642	+0.368
21	SA32-64	12 58 36.649	+43 43 35.26	11,831	+0.603	+0.334
22	SA32-62	12 58 30.288	+43 43 19.21	9,788	+1.086	+0.550
23	SA35-243	15 49 49.168	+44 27 53.56	12,011	+0.542	+0.319
24	SA35-316	15 49 41.176	+44 35 23.77	9,953	+0.462	+0.282
25	SA35-318	15 50 01.814	+44 33 04.74	11,807	+0.180	+0.129
26	SA35-491	15 50 33.186	+44 58 06.22	11,539	+0.915	+0.509
27	SA35-492	15 50 38.980	+45 00 37.36	9,829	+0.556	+0.332
28	SA35-339	15 51 54.385	+44 32 29.14	12,775	+0.554	+0.336
29	SA35-341	15 51 56.722	+44 33 24.64	12,565	+0.559	+0.337
30	SA35-343	15 51 57.200	+44 35 26.22	10,87	+0.433	+0.271
31	SA35-338	15 51 50.503	+44 41 51.75	9,605	+0.371	+0.221

В столбцах Таблицы даны: 1- обозначение объекта по Каталогу [1], 2- прямое восхождение объекта, 3- склонение объекта, 4 – звездная величина в фильтре V, 5 – значения B-V, 6- значения V-R.

Полученные результаты – значения блеска, усредненные по измерениям 3-х кадров, приведены в таблице 2. На их основе построены графики (Рис.1 и Рис. 2), которые показывают соотношения между инструментальными и каталожными значениями показателей цвета (B-V) и (V-R). Разброс точек характеризует ошибки измерений.

Таблица 2 – Результаты фотометрических наблюдений выбранных стандартных звезд

№	Обозначения объекта	B	V	R	B ₀	V ₀	R ₀
	1	2	3	4	5	6	7
1	SA32-282	10,624	10,142	9,866	10,632	10,152	9,869
2	SA32-272	9,449	8,961	8,657	9,449	8,961	8,657
3	SA32-377	11,277	10,636	10,265	11,271	10,63	10,258
4	SA32-379	12,221	11,184	10,645	12,213	11,174	10,627
5	SA32-330	10,733	10,068	9,69	10,733	10,068	9,69
6	SA32-212	10,408	9,296	8,687	10,476	9,317	8,708
7	SA32-221	12,075	11,416	11,033	12,111	11,429	11,051
8	SA32-220	13,74	13,094	12,714	13,74	13,094	12,714
9	SA32-105	14,134	13,366	13,001	14,004	13,372	13,008
10	SA32-106	13,951	13,266	12,867	13,951	13,266	12,867
11	SA32-107	14,401	13,677	13,245	14,42	13,673	13,252
12	SA32-109	12,417	11,883	11,558	12,427	11,891	11,566
13	SA32-113	11,688	10,814	10,289	11,74	10,834	10,303
14	SA32-167	13,894	13,511	13,251	13,908	13,51	13,269
15	SA32-177	11,952	11,366	11,012	11,978	11,377	11,019
16	SA32-178	12,076	11,299	10,849	12,118	11,313	10,856
17	SA32-176	11,236	10,201	9,651	11,283	10,212	9,651
18	SA32-175	14,588	13,557	12,906	14,607	13,544	12,892
19	SA32-174	13,12	12,419	11,993	13,154	12,433	12,002
20	SA32-172	15,117	14,448	14,103	15,111	14,469	14,101
21	SA32-64	12,434	11,831	11,497	12,434	11,831	11,497
22	SA32-62	10,843	9,787	9,247	10,874	9,788	9,238
23	SA35-243	12,553	12,011	11,692	12,553	12,011	11,692
24	SA35-316	10,342	9,904	9,655	10,415	9,953	9,671
25	SA35-318	11,955	11,778	11,658	11,987	11,807	11,678
26	SA35-491	12,454	11,539	11,03	12,454	11,539	11,03
27	SA35-492	10,377	9,826	9,481	10,385	9,829	9,497
28	SA35-339	13,33	12,763	12,426	13,329	12,775	12,439
29	SA35-341	13,134	12,576	12,228	13,124	12,565	12,228
30	SA35-343	11,303	10,87	10,599	11,303	10,87	10,599
31	SA35-338	9,933	9,575	9,33	9,976	9,605	9,384

В столбцах Таблицы 2 даны: 1- обозначения объекта по каталогу [1], 2,3,4 – B,V,R величины, полученные из наблюдений; 5,6,7 – значения стандартных звезд по Каталогу [1] в трех фильтрах.

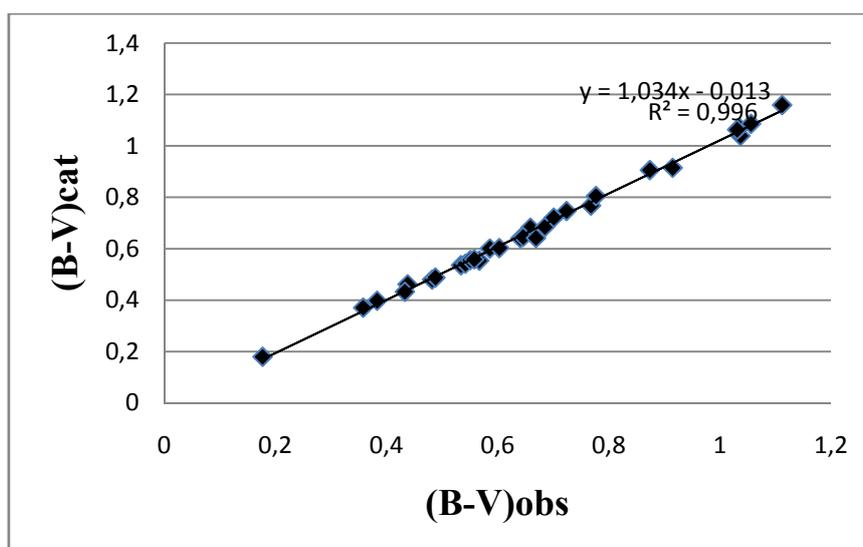


Рисунок 1 - Диаграмма показателей цвета (B-V) для инструментальной и стандартной фотометрических систем.

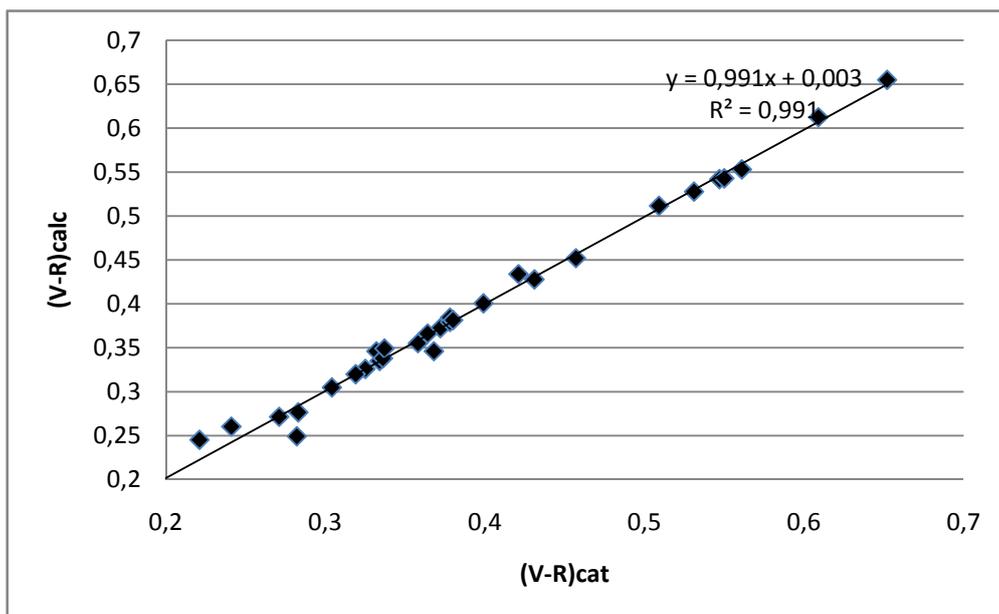


Рисунок 2 - Диаграмма показателей цвета (V-R) для инструментальной и стандартной фотометрических систем

Используя метод наименьших квадратов, мы записали следующие системы уравнений:

$$\begin{aligned} \sum (B-V)_{cat} &= a \sum (B-V)_{obs} + b \cdot N \\ \sum (B-V)_{cat} \cdot (B-V)_{obs} &= a \sum (B-V)^2_{obs} + b \sum (B-V)_{obs} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum (V-R)_{cat} &= a1 \cdot \sum (V-R)_{obs} + b1 \cdot N \\ \sum (V-R)_{cat} \cdot (V-R)_{obs} &= a1 \cdot \sum (V-R)^2_{obs} + b1 \cdot \sum (V-R)_{obs} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum (V_{cat} - V_{obs}) &= a2 \cdot \sum (B-V)_{obs} + b2 \cdot N \\ \sum (V_{cat} - V_{obs}) \cdot (B-V)_{cat} &= a2 \cdot \sum (B-V)^2_{cat} + b2 \cdot \sum (B-V)_{cat} \end{aligned} \quad (3)$$

где $(B-V)_{cat}$ и $(V-R)_{cat}$ - значения из каталога, $(B-V)_{obs}$ и $(V-R)_{obs}$ - значения, полученные из наблюдений, N - количество используемых звезд, $a, a1, a2$ и $b, b1, b2$ - коэффициенты, которые необходимо определить.

Решая приведенные системы уравнений, получаем коэффициенты для перехода от инструментальной системы к стандартной системе и следующие выражения:

$$\begin{aligned} (B-V)_{calc} &= 1,035 \cdot (B-V)_{obs} - 0,013 - 0,0512 \cdot \sec Z \\ (V-R)_{calc} &= 1,009 \cdot (V-R)_{obs} - 0,0021 - 0,0881 \cdot \sec Z \\ V_{calc} &= V_{obs} - 0,014 \cdot (B-V)_{calc} - 0,016 - 0,2627 \cdot \sec Z \\ B_{calc} &= V_{calc} + (B-V)_{calc} \\ R_{calc} &= V_{calc} - (V-R)_{calc} \end{aligned} \quad (4)$$

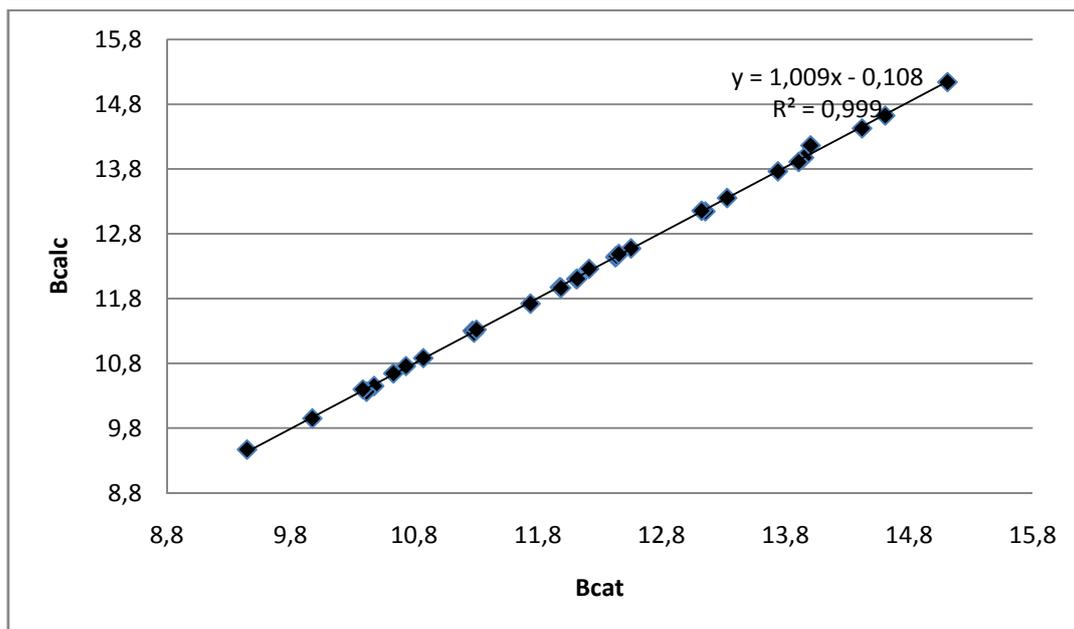


Рисунок 3 - Сравнение расчетных значений B- величин с данными Каталога [1].

Для того, чтобы учесть степень поглощения излучения в земной атмосфере, мы использовали коэффициенты прозрачности, приведенные в работе Миронова и др [2]. Результаты сравнения B V R величин, вычисленных по формулам (4) с данными из Каталога [1] представлены на Рис. 3-5.

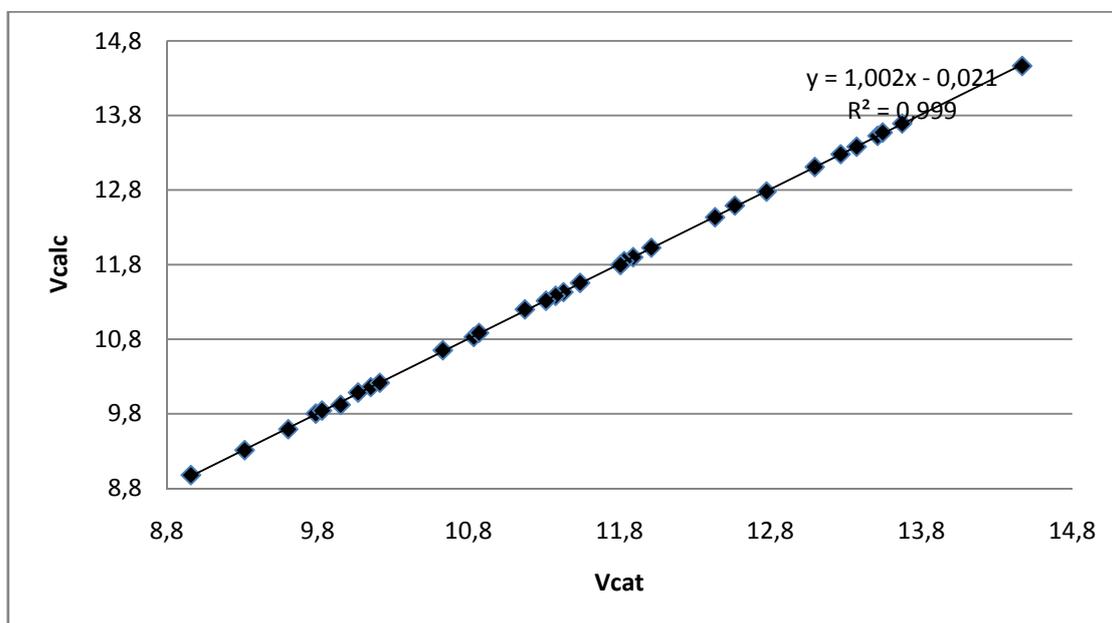


Рисунок 4 - Сравнение расчетных значений V- величин с данными Каталога [1].

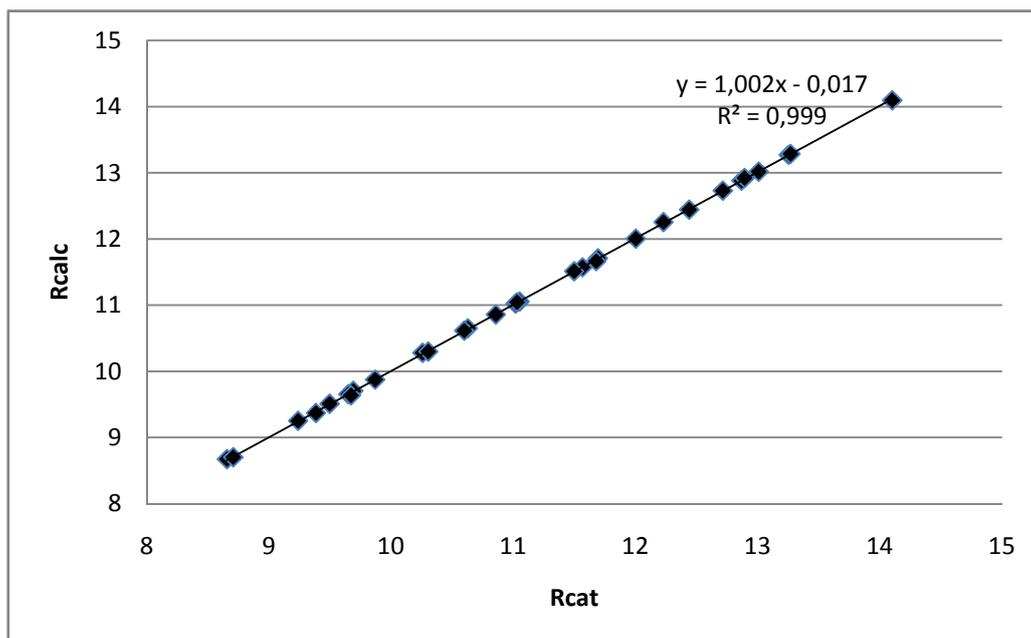


Рисунок 5 - Сравнение расчетных значений R- величин с данными Каталога [1].

Заклучение

В данной работе получены коэффициенты и уравнения для стандартизации фотометрической системы 1-метрового телескопа ТШАО. Сравнение вычисленных значений V , V , R величин с данными из Каталога Ландольта показывают хорошее согласие результатов для всех трех фильтров. Используемые нами показатели прозрачности атмосферы P_{λ} были получены в 80-х годах и нуждаются в обновлении. Однако, учитывая тот факт, что наблюдения объектов и соответствующих стандартов проводятся на одинаковых зенитных расстояниях, значение P_{λ} слабо влияет на конечные результаты.

Работа выполнена по проекту «Исследование физических процессов в космических объектах, выбранных для внеатмосферных наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне с использованием современных информационных технологий»

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Landolt, A.U. UBVR photometric standard stars around the sky at +50 deg declination// ApJ. 2013. 146:131. 41.
- [2] Миронов А.В. Прецизионная фотометрия. Практические основы прецизионной фотометрии и спектрофотометрии звезд. Москва. 1997. 152с.

REFERENCES

- [1] Landolt, A.U.. ApJ. 2013. 146:131. 41.
- [2] Mironov A.V. Precizionnaja fotometrija. Prakticheskie osnovy precizionnoj fotometrii i spektrofotometrii zvezd. Moskva. 1997. 152s.

ӘОЖ: 524.335

С.А. Шәмшекова, И.В. Рева, Л.Н. Кондратьева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**ТЯНЬ-ШАНЬ АСТРОНОМИЯЛЫҚ ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДАҒЫ
1-МЕТРЛІК ТЕЛЕСКОБҚА АРНАЛҒАН ФОТОМЕТРЛІК ЖҮЙЕНІ СТАНДАРТТАУ**

Аннотация. Мақалада, В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтының Тянь-Шань астрономиялық бақылау базасында орналасқан 1 м. телескопқа (шығыс) құралдық жүйеден стандарттық жүйеге ауысу

теңдеуі табылған. 2016 жылдың соңында ПЗС-камерасы Alta F16M ауыстырылды. Қазіргі кездегі кадрдың масштабы объектінің кескіні бойынша - 0.563"/пиксель. Кадрдың бұрыштық өлшемі 19'×19'. Бақылау нәтижесінде алынған мәліметтерді заң бойынша бірыңғай қабылданған халықаралық жалпы жүйеге келтіруге толық сәйкес екі фотометрлік жүйеге қол жеткізу мүмкін емес, сондықтан мәліметтерді ауыстырудың қосымша тәртіпті жұмыстарын жүргізуді талап етеді. Мәселені шешу үшін, Ландольт каталогынан ~31 жуық стандарт жұлдыздарына бақылау жүргізілді. Бақыланған және каталогтан алынған жұлдыздық шамалар мәндерін салыстыру теңдеулер жүйесінің коэффициенттерін табуға мүмкіндік береді, оларды В V R шамаларының құралдық мәндерін халықаралық Джонсон-Морган жүйесіне ауыстыруға пайдаланылады. Есептеуден алынған және каталогтың В V R шамаларының мәндерін салыстыру жақсы сәйкестікті тудырды және ұсынылған теңдеулердің дұрыстығын дәлелдеді.

Түйін сөздер: стандартты жұлдыздар, фотометрия, В V R шамалары.

Сведения об авторах:

Кондратьева Людмила Николаевна - ВНС, канд. физ.-мат. наук. Дом. адрес: Алматы, Обсерватория, д.20, кв.18.

Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: : 260-74-99, e-mail: lu_kondr@mail.ru;

Шомшекова Сауле Ахметбековна - м.н.с. Дом. адрес: Алматы, Шелихова 163. Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 2607591, e-mail: shmshekva-saule@mail.ru;

Рева Инна Владимировна - Дом. адрес: Алматы, Обсерватория, д. 23, Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 2607591, e-mail: reva@aphi.kz

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 162 – 169

UDC 523.62

G.S. Minasyants, T.M. Minasyants

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
gennadii_minasya@mail.ru

EFFECT OF THE SHOCK WAVE OF CORONAL EJECTION ON THE ENERGY OF ACCELERATED PROTONS

Abstract. The influence of a shock wave of coronal ejections the acceleration of protons in the process of their joint development with powerful flares and during motion in interplanetary space from the Sun to the Earth is considered in this paper. The study used observation data on various solar spacecraft (GOES, SOHO, ACE, WIND), as well as Proton Events Catalog materials 1996-2008 (Institutes of RAS). It was found that the efficiency of the process of protons acceleration is mainly influenced by high values of the magnetic field intensity and the velocity of the shock wave of ejections. The quasimaximal values of the energy of protons accelerated by the shock wave lie in the range from 60 to 1520 MeV. Observations indicate that a highly magnetized shock wave moving at a high speed, under the influence of flare fluxes of relativistic energy protons, can be a source of protons with energies up to 1.5 GeV. When comparing the quasimaximal values of the proton energy, their mean values were determined for the fluxes of 16 cosmic ray flares (1809 ± 305 MeV), powerful 16 gradual flare fluxes (498 ± 41 MeV), and shock waves of 16 coronal ejections (286 ± 96 MeV). The validity of the allotment of Gradual Large Events into a separate subclass of Gradual Large Events is confirmed.

Key words: coronal ejections, solar flares, shock wave.

УДК 523.62

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц

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

ВЛИЯНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ НА ЭНЕРГИЮ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ

Аннотация. В работе рассмотрено влияние ударной волны корональных выбросов на ускорение протонов в процессе их совместного развития с мощными вспышками и при движении в межпланетном пространстве от Солнца к Земле. В исследовании использованы данные наблюдений на различных солнечных космических аппаратах (GOES, SOHO, ACE, WIND), а также материалы Каталога Протонных Событий 1996-2008 г.г. (институты РАН).

Установлено, что на эффективность процесса ускорения протонов основное влияние оказывают высокие значения напряженности магнитного поля и скорости движения ударной волны корональных выбросов. Квазимаксимальные значения энергии протонов, ускоренных на ударной волне выбросов, лежат в интервале от 60 до 1520 MeV. Наблюдения указывают, что движущая с высокой скоростью сильно намагниченная ударная волна, при влиянии вспышечных потоков протонов релятивистской энергии, может быть источником протонов с энергией вплоть до 1.5 GeV. При сопоставлении квазимаксимальных значений энергии протонов, были определены их средние значения для потоков 16-ти вспышек космических лучей (1809 ± 305 MeV), мощных 16-ти длительных вспышечных потоков (498 ± 41 MeV) и ударных волн 16-ти корональных выбросов (286 ± 96 MeV). Подтверждается обоснованность выделения вспышек космических лучей в отдельный подкласс длительных событий.

Ключевые слова: корональные выбросы, солнечные вспышки, ударная волна.

Введение. В процессе развития активных областей на Солнце постоянно возрастает свободная магнитная энергия, что приводит, как правило, при появлении районов диссипации - токовых слоев, к возникновению быстротекающих процессов выделения энергии – солнечным вспышкам и корональным выбросам массы. В самой области энерговыделения вспышки (токовом слое) происходит интенсивный нагрев плазмы и ускорение частиц до высоких энергий. Кроме того, мощные солнечные вспышки почти всегда сопровождаются быстрыми корональными выбросами массы (КВМ) с образованием ударных волн, на фронтах которых эффективно ускоряются частицы при движении вспышечных потоков плазмы вблизи Солнца и в межпланетной среде.

Длительные вспышечные события с ускоренными ударными волнами происходят в сложных магнитных структурах, содержащих волокно магнитного потока, располагающееся над линией раздела полярностей поля в фотосфере (рис. 1) [1]. При нарушении общего равновесия магнитной конфигурации поля волокно теряет устойчивость и начинает ускоренно подниматься вверх, что вызывает пересоединение магнитного поля в нижней его части и инициирует появление вспышечного процесса. Формирующийся корональный выброс массы (волокно содержится в его центральной части) в своем развитии обычно проходит три фазы: 1) начальную фазу, до включения вспышки; 2) фазу быстрого ускорения, совпадающую с фазой роста эмиссии вспышки и 3) фазу распространения, с постоянной или медленно спадающей скоростью [2]. В ходе распространения КВМ в короне и межпланетной среде его структура расширяется, заполняя значительную долю гелиосферы. Естественно, что детали эволюции КВМ определяются магнитной структурой поля в начальной конфигурации, где произошла вспышка. По современным представлениям вспышка и выброс КВМ рассматриваются как единый процесс нарушения равновесия магнитной структуры.

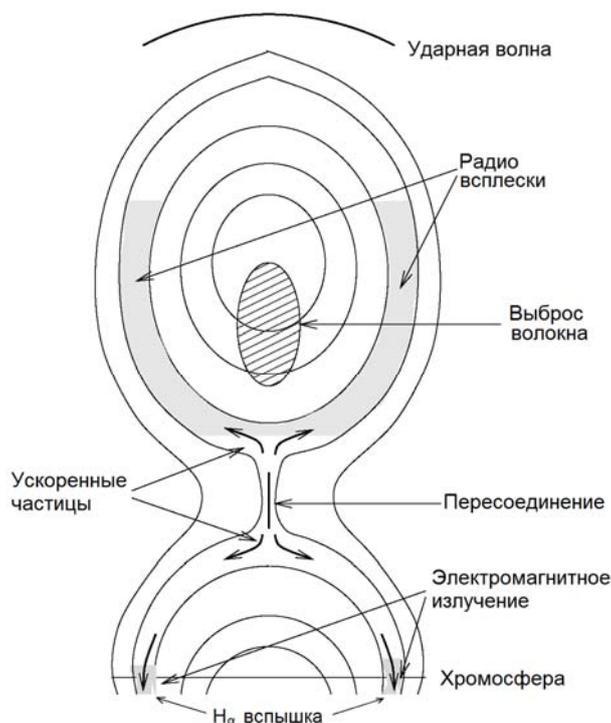


Рисунок 1 - Магнитная структура и зоны ускорения частиц, порождающие вспышечные потоки с выбросом волокна [1]

Самые высокоскоростные КВМ способны возбуждать ударные волны в короне и межпланетной среде, которые способны эффективно ускорять частицы (ширина КВМ в таких событиях превосходит 100°). Некоторым указанием на возбуждение ударных волн в солнечной короне может служить появление радио всплесков II типа в метровом диапазоне [3]. Относительная действенность механизмов ускорения ударными волнами КВМ зависит от угла между нормалью к фронту волны и магнитным полем; наиболее эффективное ускорение ионов с энергиями \sim MeV осуществляется вблизи «носовой» части выброса КВМ [1].

Эффективность ускорения частиц на ударных волнах оказывается различной для каждого типа волновых возмущений [4]. Для околосолнечной головной ударной волны, которая образуется и постоянно существует благодаря динамическому давлению спокойного солнечного ветра на атмосферу Земли, диапазон энергий ускоренных частиц, в частности протонов, составляет значения от тепловых энергий до сотен keV. На

межпланетных ударных волн частицы ускоряются до энергий 0.1-1 MeV. Самые энергичные частицы 0.1-1 GeV образуются во внутренней короне на ударном фронте, который формируется в процессе взрывного развития быстрых, узконаправленных KBM.

Обработка данных наблюдений. Используя многочисленные наблюдательные данные, полученные на спутниках в течение 23 цикла солнечной активности (1997-2007г.г.), нами проведено исследование влияния ударных волн корональных выбросов на вспышечные потоки ускоренных протонов. Рассматривались вспышки, которые являлись источниками усиления интегральных потоков протонов с энергией $E_p > 100$ MeV. При этом протонные вспышки сопровождалась KBM, с движущимися перед ними фронтами ударных волн. Приход фронта ударной волны характеризовался резким скачком значений параметров солнечного ветра: скорости, плотности, температуры и напряженности магнитного поля.

В первую очередь, мы предполагали выявить случаи наиболее заметного влияния UV выброса на интенсивность вспышечных потоков протонов $E_p > 100$ MeV. Для трех событий 4-6 ноября 2001 г., 22-24 ноября 2001 г. и 18-20 ноября 2003 г., наблюдения показывают, что значения интенсивности потоков $E_p > 100$ MeV на ударной волне выбросов даже превышают соответствующие значения интенсивности для периода взрывной фазы развития вспышек (см. примеры на рис. 2-3).

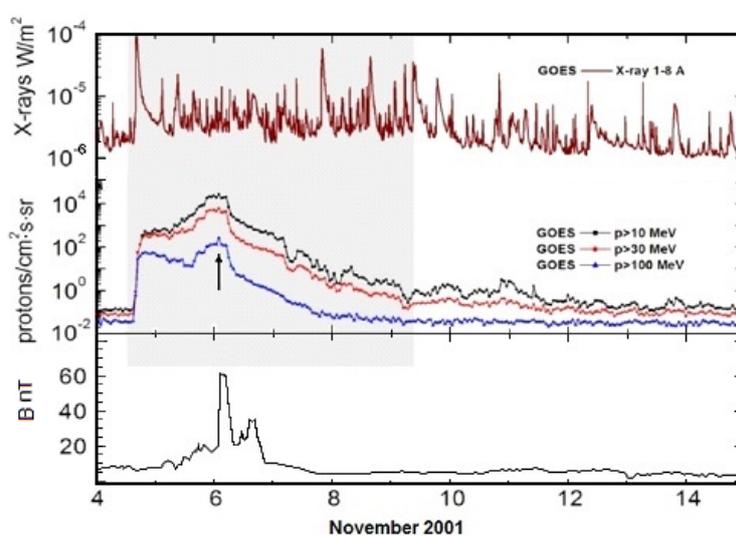


Рисунок 2 - Развитие вспышки солнечных космических лучей 04-11 ноября 2001 г. и прибытие ударного фронта коронального выброса 6 ноября по данным КА GOES и SOHO.

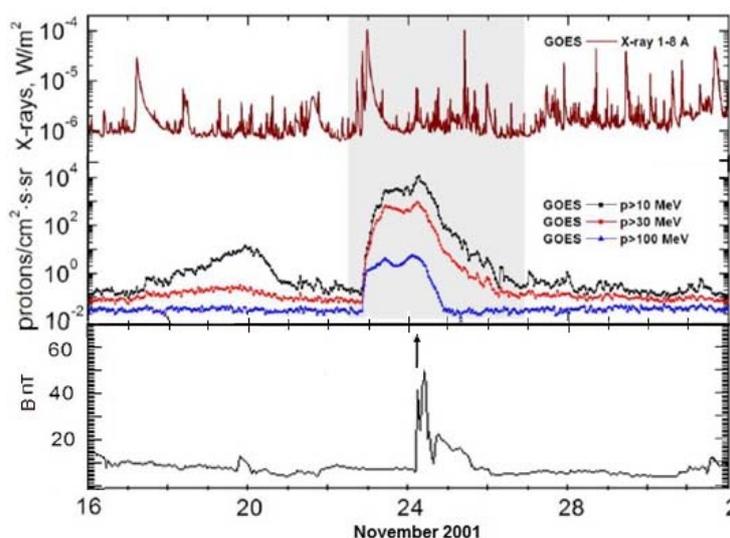


Рисунок 3 - Развитие протонной вспышки 22-27 ноября 2001 г. и прибытие ударного фронта коронального выброса 24 ноября по данным КА GOES и SOHO.

На рисунках 2 и 3 (верхняя часть скопирована с [5]) наглядно представлено влияние УВ КВМ при развитии потоков вспышечных ускоренных частиц. Вертикальной стрелкой отмечено время прибытия ударного фронта выброса. На каждом из рисунков приведены графики всплесков мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å, интенсивность которого соответствует баллу вспышки (данные КА GOES с временным разрешением – 1 минута), потоки солнечных протонов с энергией $E_p > 10$, > 30 и > 100 MeV по данным КА GOES (среднечасовые значения), а также 5-ти минутные значения напряженности межпланетного магнитного поля (ММП) – сайт: CDAWeb Data Explorer. Приподнятые участки профиля интенсивности потоков протонов соответствуют местам ускорения частиц на ударном фронте.

Обсуждение результатов. Сопоставление величины усиления интенсивности вспышечных потоков протонов $E_p > 100$ MeV во время прохождения УВ КВМ с изменениями значений различных физических параметров, показало, что наибольшая корреляция наблюдается для значений напряженности межпланетного магнитного поля. Причем в эти интервалы времени напряженность магнитного поля принимает повышенные значения. Проведенное дополнительное исследование показало, что в течение 23-го цикла активности зарегистрировано семь случаев существования напряженности межпланетного магнитного поля, имеющего экстремальные значения $B > 50$ nT. Все они связаны с прибытием ударного фронта КВМ и расположенной сразу за ним области турбулентного сжатия плазмы.

В таблице 1 для принятых к рассмотрению протонных событий и связанных с ними выбросов, приведены следующие данные: время прихода фронта ударной волны КВМ, значение линейной скорости движения при его развитии вблизи Солнца - $V_{лин}$, средняя скорость движения от Солнца к Земле - $V_{КВМ}$, максимальные значения напряженности магнитного поля B_{max} и значения квазимаксимальной энергии протонов - E_{qm} на УВ КВМ [5].

Таблица 1 - Свойства КВМ и величины E_{qm} протонов, ускоренных на ударной волне выбросов

№ №	Прибытие Ударного Фронта КВМ	$V_{лин}$ км/с	$V_{КВМ}$ км/с	B_{max} nT	E_{qm} MeV
1	23:15.24.09.1998 г.	-	1048	37	75
2	04:20.08.11.1998 г.	1118	758	36	80
3	08:43.08.06.2000 г.	1119	1039	26	100
4	14:17.15.07.2000 г.	1674	1389	52	630
5	18:19.11.08.2000 г.	702	833	34	75
6	00:14.31.03.2001 г.	942	1097	65	115
7	15:18.11.04.2001 г.	2411	1226	35	260
8	04:28.28.04.2001 г.	1006	1055	25	80
9	02:33.28.10.2001 г.	1092	725	21	60
10	01:20.06.11.2001 г.	1810	1262	65	685
11	05:33.24.11.2001 г.	1437	1389	59	350
12	04:56.29.12.2001 г.	1446	587	25	195
13	10:17.23.05.2002 г.	1557	622	54	125
141 14	07:28.20.11.2003 г.	1223	877	57	140
15	16:48.21.01.2005 г.	882	1226	36	1520
16	02:19.15.05.2005 г.	1689	1244	55	85
					Ср. 286 ± 96

Очень важным параметром при исследовании влияния ударного фронта КВМ на потоки энергичных протонов является их максимальная энергия в результате ускорения. Прямая оценка максимальной энергии практически невозможна и любое принятое значение будет не вполне надежным. Поэтому при составлении каталога для протонных событий 1996-2008 г.г. [5] (коллективный труд сотрудников 7-ми научных учреждений России) для оценки мощности вспышечных потоков, авторами была разработана специальная программа расчета квазимаксимальной энергии (E_{qm}) протонов, основанная на сопоставлении интегральных энергетических спектров протонов Галактических Космических Лучей и солнечного события. В случаях, когда наблюдалось несколько максимумов при развитии вспышечного потока, в каталоге приведено значение E_{qm} для каждого из максимумов данного события. При рассмотрении сложных вспышечных потоков с несколькими максимумами оказалось, что часто дополнительный максимум связан с прибытием мощной ударной волны КВМ. Это подтверждается характерными скачками значений параметров V_{sw} , B_nT , Dst на графиках, приведенных в каталоге. На высокую точность значений E_{qm} , представленных в каталоге (она оценивается как $\pm 10\%$), указывает почти точное совпадение $E_{qm} = 685$ MeV и значения максимальной

энергии протонов $E_{\max} = 700 \text{ MeV}$ на УФ КВМ, установленного с помощью сопоставления данных нескольких космических аппаратов, для события 4-6 ноября 2001 г. [6]. Введенный параметр E_{qm} является научно обоснованным и надежным приближением к реальной максимальной энергии наблюдаемых потоков протонов.

Таким образом, используя результаты расчетов E_{qm} (табл.1), появилась возможность, определить влияние ударной волны КВМ на энергетические свойства ускоренных протонов. Для ударной волны события 20-22 января 2005 г. получено уникально высокое значение $E_{qm}=1520 \text{ MeV}$, которое соответствует релятивистской энергии протонов. Рассмотрим подробнее особенности развития вспышечного потока и ударной волны выброса в этом событии.

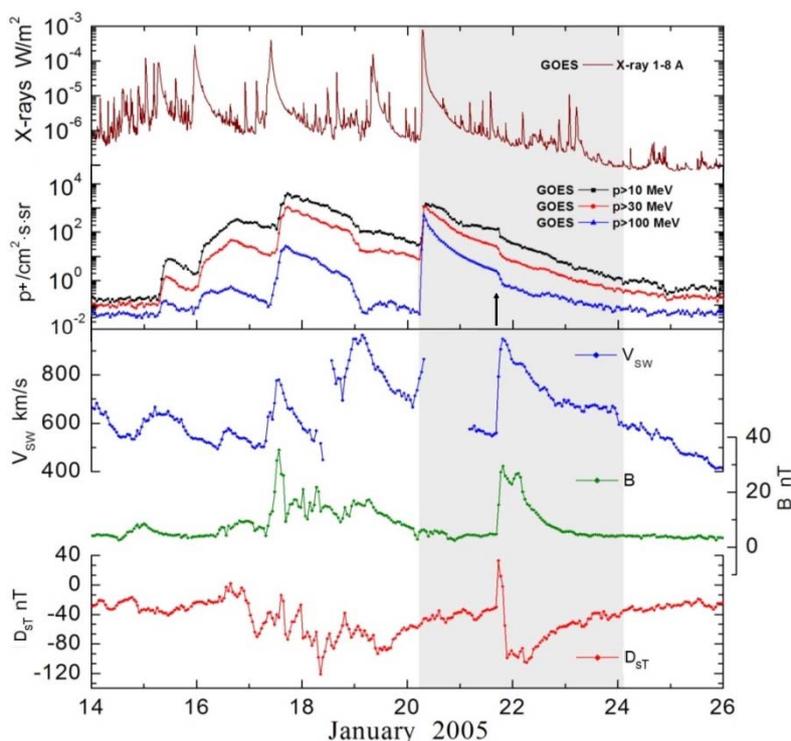


Рисунок 4 - Развитие вспышки солнечных космических лучей 20-23 января 2005 г. и изменения значений параметров плазмы с прибытием ударного фронта коронального выброса 21 января по данным КА GOES и SOHO.

На рис.4 показано развитие вспышки космических лучей 20-23 января 2005 г. и связанного с ней выброса КВМ (приход УФ к орбите Земли 21 января 16ч 48мин). Верхние графики аналогичны приведенным на рисунках 2 и 3. На нижних - показаны изменения параметров: скорости солнечного ветра – V_{sw} , напряженности магнитного поля – B и геомагнитного индекса - D_{ST} [5]. В момент прихода УФ КВМ (отмечен вертикальной стрелкой) наблюдался резкий скачок значений всех приведенных параметров. Альевновское число Маха ударной волны для нашего случая показывает высокое значение $M_A \geq 8$. $M_A = (V_2 - V_1)/V_a$, где V_1 - скорость солнечного ветра (СВ) перед фронтом УВ, V_2 - скорость СВ после фронта УВ, V_a - альевновская скорость перед фронтом УВ. При расчете M_A использовались 5-ти минутные данные наблюдений, выставленные на сайте «OMNI Combined».

Что характерно, в период прохождения ударного фронта выброса и области турбулентного сжатия, по измерениям на КА ACE, наблюдалось резкое увеличение степени ионизации ионов железа $Q(Fe)$: от зарядового состояния +11 до +14, что свидетельствует о росте энергии источников ионизации.

Существует еще один важный фактор, который несомненно влияет на энергию частиц, ускоренных на ударной волне, - это максимальная энергия протонов, достигаемая в результате развития импульсной фазы вспышечного процесса. Часто начальное взрывное развитие коронального выброса совпадает с этим периодом вспышечного ускорения частиц. Приведем некоторые данные, относящиеся к рассматриваемому событию 20-23 января 2005 г. Начало вспышки в $H\alpha$ – 20 января 06ч 36мин, КВМ появился в поле зрения коронографа SOHO в 06ч 54мин с линейной скоростью $V_{лин}=882 \text{ км/с}$. Причем выброс двигался с ускорением, средняя скорость его движения до Земли составляла очень высокое значение - 1226 км/с . Максимум интенсивности потока вспышечных протонов $E_{p>10MeV}$ наблюдался 20 января в 10ч. Т.е. по

времени ударная волна выброса есть результат совместного развития вспышки и коронального выброса массы. Учитывая, что квазимаксимальная энергия протонов в максимуме вспышечного потока составляет, согласно каталогу [5], релятивистское значение $E_{qm}=3840$ MeV, получаем еще одно подтверждение возможности такого уникального ускорения протонов ($E_{qm}=1520$ MeV) на УВ КВМ.

Принимая во внимание перечисленные наблюдательные данные, можно предположить, что высокоскоростная намагниченная ударная волна КВМ при совместном развитии со вспышкой является эффективным ускорителем протонов как в короне Солнца, так и в межпланетном пространстве вплоть до энергии $E_p=1.5$ GeV.

С помощью каталога [5] были установлены квазимаксимальные значения энергии протонов в потоках 16 вспышек космических лучей, возникших в течение 23-го цикла активности, а также значения E_{qm} для протонов с наиболее мощными потоками (по интенсивности $E_p>30$ MeV) от 16-ти длительных вспышечных процессов. Эти мощные события были взяты из списка “The Top 30 SEP Events of Solar Cycle 23”(сайт: http://www.srl.caltech.edu/sampex/Data_Center/DATA/EventSpectra/), составленного на основе данных наблюдений на КА GOES потоков протонов с энергиями >30 MeV (табл.2).

Таблица 2 - Значения E_{qm} для протонов вспышек космических лучей и мощных длительных вспышечных потоков

№	Начало развития вспышек космических лучей	E_{qm} MeV GLE	Начало развития мощных длительных вспышек	E_{qm} MeV Gradual
1	11:22.06.11.1997 г.	2900	09:38.20.04.1998 г.	600
2	13:31.02.05.1998 г.	800	13:08.30.09.1998 г.	600
3	07:58.06.05.1998 г.	575	05:00.14.11.1998 г.	580
4	21:48.24.08.1998 г.	720	22:40.08.11.2000 г.	650
5	10:03.14.07.2000 г.	2160	04:55.24.11.2000 г.	460
6	13:19.15.04.2001 г.	3480	21:32.02.04.2001 г.	575
7	02:11.18.04.2001 г.	2100	04:59.10.04.2001 г.	350
8	16:03.04.11.2001 г.	750	23:50.15.08.2001 г.	600
9	04:32.26.12.2001 г.	800	09:32.24.09.2001 г.	580
10	00:49.24.08.2002 г.	775	04:41.01.10.2001 г.	155
11	09:51.28.10.2003 г.	3340	22:00.22.11.2001 г.	390
12	20:37.29.10.2003 г.	810	00:43.21.04.2002 г.	575
13	17:03.02.11.2003 г.	1700	19:29.04.11.2003 г.	445
14	06:09.17.01.2005 г.	750	15:42.07.11.2004 г.	330
15	06:36.20.01.2005 г.	3840	17:17.07.09.2005 г.	800
16	02:14.13.12.2006 г.	3440	10:18.05.12.2006 г.	275
	Среднее	1809±305		498±41

На рисунке 5 приведено сравнение квазимаксимальных значений энергии протонов в потоках мощных длительных протонных событий, событий вспышек космических лучей и в потоках, ускоренных на ударной волне корональных выбросов. Значения параметра E_{qm} в полной мере характеризуют мощность солнечного события и его, следовательно, можно использовать при сравнительном анализе активных процессов.

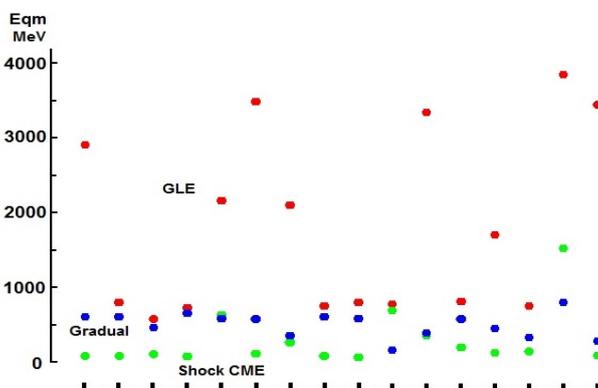


Рисунок 5 - Сопоставление значений E_{qm} протонов вспышек космических лучей (GLE), мощных длительных событий (Gradual) и на ударной волне корональных выбросов (Shock CME).

Довольно заметны изменения величины E_{qm} протонов при процессах ускорения, обладающих различными свойствами. Средние значения E_{qm} составляют: для событий вспышек космических лучей – $E_{qm}(cp.) = 1809 \pm 305$ MeV, мощных длительных событий - $E_{qm}(cp.) = 498 \pm 41$ MeV и для ударной волны КВМ - $E_{qm}(cp.) = 285 \pm 96$ MeV (см. таблицы 1 и 2).

Основные результаты и выводы. Получены новые количественные оценки эффективности ускорения протонов на ударной волне высокоскоростных корональных выбросов, связанных с развитием мощных вспышек.

Вблизи Земли с приходом высокоскоростных УФ КВМ, обладающих сильными магнитными полями, квазимаксимальная энергия протонов показывает значения от 60 до 1520 MeV.

На появление частиц с более высокой энергией на УФ КВМ и в зоне турбулентного сжатия указывает рост степени ионизации ионов железа: от зарядового состояния +11 до +14 для события 20-23 января 2005 г. с наивысшим значением E_{qm} .

Сопоставление квазимаксимальных значений энергии протонов в С [7]. Для ударной волны КВМ характерны в среднем более низкие значения E_{qm} , но в отдельных событиях возможно присутствие физических условий, при которых значения E_{qm} настолько увеличиваются, что соответствуют энергии подклассу вспышек космических лучей. Наблюдения указывают, что движущая с высокой скоростью сильно намагниченная ударная волна, при влиянии вспышечных потоков протонов релятивистских энергий, может быть источником протонов с энергией вплоть до $E_{qm} = 1.5$ GeV.

Источник финансирования исследований.

Работа выполнена согласно плану работ по программе № 0073/ПЦФ-15-МОН «Астрофизические исследования звездных и планетных систем».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kallenrode M-B. Current views on impulsive and gradual solar energetic particle events // *J. Phys. G: Nucl. Part Phys.* 2003. V. 29. P. 965-981.
- [2] Zhang J., Dere K.P., Howard R.A., Kundu M.R. and White S.M. On the temporal relationship between coronal mass ejections and flares // *Astrophys. J.*, 2001. V. 559. P. 452-462.
- [3] Reames D.V. The two sources of solar energetic particles // *Space Science Revs.* 2013. V. 175. Issue 1-4. P. 53-92.
- [4] Бережко Е.Г. Ускорение космических лучей ударными волнами в солнечном ветре // Тезисы докладов: «Всероссийская конф. по физике солн. -земн. связей» - Иркутск. 2001. С.44.
- [5] Логачёв Ю.И., Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Дайбог Е.И., Ишков В.Н. Лазутин Л.Л., Мирошниченко Л.И., Назарова М.Н., Петренко И.Е., Ступишин А.Г., Сулова Г.М., Яковчук О.С. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996 – 2008 гг.) под ред. Логачёва Ю.И. Москва. 2016. С.743.
- [6] Кузнецов С.Н., Богомолов А.В., Денисов Ю.И. и др. Солнечная вспышка 4 ноября 2001 г. и ее проявления в энергичных частицах по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» // *Астрон. вестн.* 2003. Т.37. №2. С. 137-143.
- [7] Minasyants G.S., Minasyants T.M. and Tomozov V. M. Fe/O Ratio Variations during the Disturbed Stage in the Development of the Solar Cosmic Ray Fluxes: Manifestations of the First Ionization Potential Effect in the Solar Cosmic Ray Composition // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, Vol. 56, No. 2. P. 203–212.

REFERENCES

- [1] Kallenrode M-B. Current views on impulsive and gradual solar energetic particle events. *J. Phys. G: Nucl. Part Phys.* 2003, V. 29, P. 965-981 (in Eng.).
- [2] Zhang J., Dere K.P., Howard R.A., Kundu M.R. and White S.M. On the temporal relationship between coronal mass ejections and flares. *Astrophys. J.*, 2001, V. 559, P. 452-462 (in Eng.).
- [3] Reames D.V. The two sources of solar energetic particles. *Space Science Revs.* 2013, V. 175, Issue 1-4, P. 53-92 (in Eng.).
- [4] Berezhko Ye.G. Uskoreniye kosmicheskikh luchey udarnymi volnami v solnechnom vetre. *Tezisy dokladov: «Vserossiyskaya konf. po fizike soln. -zemn. svyazey»* Irkutsk. 2001, S.44 (in Russ.).
- [5] Logachov YU.I., Bazilevskaya G.A., Vashenyuk E.V., Daybog Ye.I., Ishkov V.N. Lazutin L.L., Miroshnichenko L.I., Nazarova M.N., Petrenko I.Ye., Stupishin A.G., Surova G.M., Yakovchuk O.S. Katalog solnechnykh protonnykh sobyitiy 23-go tsikla solnechnoy aktivnosti (1996 – 2008 gg.) pod red. Logachova YU.I. Moskva. 2016, S.743 (in Russ.).
- [6] Kuznetsov S.N., Bogomolov A.V., Denisov YU.I. i dr. Solnechnaya vspyshka 4 noyabrya 2001 g. i yeye proyavleniya v energichnykh chastitsakh po dannym ISZ «KORONAS-F». *Astron. vestn.* 2003, T.37, №2, S. 137-143 (in Russ.).
- [7] Minasyants G.S., Minasyants T.M. and Tomozov V. M. Fe/O Ratio Variations during the Disturbed Stage in the Development of the Solar Cosmic Ray Fluxes: Manifestations of the First Ionization Potential Effect in the Solar Cosmic Ray Composition. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, Vol. 56, No. 2, P. 203–212 (in Eng.).

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: gennadii_minasya@mail.ru

ЖЕДЕЛДЕТІЛГЕН ПРОТОНДАР ҚУАТЫНА КОРОНАЛЬ ШЫҒАРУЛАРДЫҢ СОҚҚЫ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Жұмыста күшті тұтанулармен олардың бірге даму процессінде және Күннен Жерге дейінгі планета аралық кеңістікте қозғалыс кезінде протондардың үдеуіне соққы толқындарының әсері қарастырылды. Зерттеуге әртүрлі ғарыш аппараттарының бақылау мәліметтері (GOES, SOHO, ACE, WIND), сонымен қатар Протондық Оқиғалар Кatalогы материалдары 1996-2008 ж.ж. (PFA институттары) пайдаланылды.

Протондардың үдеу процесстерінің тиімділігіне магниттік өрістің жоғары мәні және корональ шығарулардың соққы толқындары қозғалыс жылдамдығы негізгі әсер көрсететіні белгіленді. Шығарулардың соққы толқынында үдетілген протондар энергиясының квазимаксималды мәні 60 тан 1520 MeV дейін интервалда жатыр. Бақылаулар жоғары жылдамдықта қозғалыстағы қатты магниттелген соққы толқыны релятивисттік энергияда протондардың тұтану ағымдарының әсері кезінде 1.5 GeV дейін энергиямен протондар көзі болу мүмкін екендігін көрсетеді. Протондар энергиясының квазимаксималды мәні салыстырған кезде ғарыш сәулелері 16 тұтанулар (1809 ± 305 MeV), күшті 16 ұзақ тұтану ағымдары (498 ± 41 MeV) және корональ шығарулардың 16 соққы толқыны үшін (286 ± 96 MeV) олардың орташа мәні анықталды. Ұзағырақ оқиғалардың жекелеген топтарында ғарыш сәулелері тұтануы бөлінуінің негіздемесі дәлелденеді.

Түйін сөздер: корональ шығарулар, күннің тұтануы, соққы толқыны.

Сведения об авторах:

Минасянц Геннадий Сергеевич - канд. физ. мат.-наук, доцент, Дом. Адрес: Алматы, пр. Достык, д. 111, кв. 10, Место работы – ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г.Фесенкова, Телефон: 264-70-19, e-mail: gennadii_minasya@mail.ru;

Минасянц Тамара Михайловна - канд. физ.-мат.-наук, Дом. Адрес: Алматы, пр. Достык, д. 111, кв. 10, Место работы – ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г.Фесенкова, Телефон: 264-70-19, e-mail: gennadii_minasya@mail.ru;

V.D. Vdovichenko*, G.A. Kirienko,

DTOO "V.G. Fessenkov Astrophysical Institute ", Almaty, Kazakhstan

* – vdv1942@mail.ru

AMMONIA ABSORPTION ASYMMETRY ALONG THE LATITUDES OF THE NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERES OF JUPITER FROM 2004-2016 OBSERVATIONS

Abstract. On the basis of 2004-2016 observations that were processed with "The absorption colored map of the disk of Jupiter" program, the longitude-latitude and temporal ammonia absorption variations in the NH_3 $\lambda 645$ and 789 nm bands in the atmosphere of Jupiter, were considered in details. The results show significant differences in the observed variations of the two bands, which may be due to their formation at the different atmosphere levels, which differ in chemical compositions, densities, and vertical extensions of the cloud structures. However, both the bands studied, surely demonstrate ammonia depletion in the northern hemisphere compared with the southern one, especially in the interjacent region between the light Equatorial Zone and the dark Northern Equatorial Belt. This NH_3 bands were also used for studying ammonia absorption variations in the morphological structures on Jupiter, with "The morphology of Jupiter" program that had been specially written in Delphi for this purpose. These results are well consisted with those ones (in particular for the GRS), which have been obtained in the radio range (8-12 GHz) [1].

Key words: Jupiter, ammonia, absorption bands.

В.Д. Вдовиченко*, Г.А. Кириенко

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИММЕТРИИ В ХОДЕ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ ЮПИТЕРА В 2004-2016 ГОДАХ

Аннотация. На основе наблюдательного материала, полученного в 2004-2016 годы и обработанного с помощью программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера», были детально рассмотрены широтно-долготные и временные вариации аммиачного поглощения в полосах NH_3 $\lambda 645$ и 789 нм в атмосфере Юпитера. Результаты показывают значительные различия в наблюдаемых вариациях этих двух полос, что может быть следствием их формирования на разных уровнях атмосферы, различающихся как химическим составом, так и плотностью и вертикальной протяженностью облачных структур. Однако обе исследуемые полосы уверенно демонстрируют дефицит аммиака в северном полушарии по сравнению с южным, особенно в переходной области между светлой Экваториальной Зоной и темным Северным Экваториальным Поясом. Указанные полосы были использованы также для исследования вариаций аммиачного поглощения в морфологических структурах на Юпитере с помощью программы «Морфология Юпитера», написанной на языке Дельфи специально для этой цели. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами (в частности, для района БКП), полученными в радиодиапазоне (8-12 GHz) [1].

Ключевые слова: Юпитер, аммиак, полосы поглощения.

Введение

Как известно, процессы, происходящие в атмосфере Юпитера, по-разному влияют на форму пространственно-временного распределения компонентов, входящих в состав его атмосферы. Поэтому большую помощь в изучении этих процессов оказывают регулярные наблюдения различного рода вариаций (временных, широтных, долготных, и др.) абсорбционных полос этих компонентов. Для подобных целей часто используются метан (CH_4) и особенно - аммиак (NH_3), содержание которого меняется и под влиянием динамики, и вследствие его конденсации. Речь может идти не только о диске Юпитера, но и об отдельных морфологических структурах, в частности, о Большом Красном Пятне (БКП или GRS), о его зонах и поясах, и пр.

Для изучения поверхности Юпитера исследователи используют весь доступный спектральный диапазон, начиная от ультрафиолета и кончая радиоволнами. Например, в работе [2] представлены результаты исследования северного полушария Юпитера, полученные из измерений NH_3 в УФ (180-230 нм) диапазоне с помощью HST (Хаббл-телескопа). Было обнаружено, что высотные профили NH_3 варьируют с широтой, где из всех наблюдаемых регионов самое высокое отношение смеси NH_3 наблюдалось на 6°N (2×10^{-9} при 100 мбар), а самое малое - на 25°N (3.5×10^{-10} при 100 мбар). С помощью фотохимической модели были также рассчитаны вертикальные коэффициенты турбулентного перемешивания. Оказалось, что распределение плотности аммиака весьма чувствительно к этой атмосферной характеристике, которая меняется в зависимости от широты, причем область сильного вертикального перемешивания расположена на 6°N ($3 \times 10^3 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ при 130 мбар), и оно немного снижается в сторону средних широт ($1,4 \times 10^3 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ при 130 мбар).

Существует и ряд других наблюдательных исследований в УФ и ИК, сравнивающих отдельные поверхностные структуры (GRS, Южную тропическую зону (STZ), центр диска Юпитера (экватор), и т. д.). К таковым, например, относится работа [3], авторы которой из УФ-спектров, полученных с International Ultraviolet Explorer (IUE) satellite обнаружили, что отношение смеси NH_3 над GRS возрастает в 3-10 раз в диапазоне 80-125 мбар по сравнению с STZ и центром диска. Авторы [2] этот результат оспаривают, что говорит о необходимости продолжения наблюдений. Южное полушарие Юпитера от 10°S до 36°S (вдоль ЦМ) наблюдали Lara et al. (1998) [4] с Infrared Telescope Facility (IRTF), где были использованы уже ИК линии NH_3 . Их данные свидетельствуют о том, что существует не только широтная, но и долготная зависимость отношения смеси NH_3 . Для уровня давления 240 мбар (на нескольких долготах) Lara et al. определяют, что пик отношения смеси NH_3 находится на $15-18^\circ\text{S}$, и содержание NH_3 уменьшается дальше по направлению к югу, к $30-35^\circ\text{S}$ широты, где обилие NH_3 примерно в 40 раз ниже. Это согласуется с общей тенденцией снижения содержания NH_3 при переходе от экватора к полюсам, как показывают и измерения [2].

Griffith et al. (1992) [5] получили обилие NH_3 и PH_3 над GRS и окружающим STZ из наблюдений, проведенных с помощью Voyager Infrared Imaging Spectrometer (IRIS). Было установлено, что над GRS (уровень 300 мбар) NH_3 обеднен на 75% по сравнению с STZ.

IRTF данные [4] для GRS означают, что распределение NH_3 на 380 мбар не меняется по сравнению с другими долготами вдоль широты GRS ($\sim 21^\circ\text{S}$), что особенно хорошо согласуется с результатами анализа [5]. В [4] отмечают, что для GRS отношение смеси аммиака на уровне 380 мбар на 30% выше (лишь незначительно больше, чем их погрешности измерений) по сравнению с соседними широтами вдоль той же долготы ($\sim 27^\circ\text{W}$, System II). На этом уровне давления, их пики отношения смеси NH_3 находятся снова вблизи 13°S и $36^\circ-39^\circ\text{S}$ с содержаниями больше, чем на широте GRS. На долготе 110° , в то время как обилие NH_3 не намного больше отличается от такового на широте GRS, пики содержания NH_3 между 27°S и 30°S с содержанием примерно в два раза больше, чем содержание в GRS. Эти результаты указывают на то, что GRS не выступает в качестве исключительной области. Более того, сравнение с результатами IRTF для SEB на тех же уровнях давления указывает, что аммиак может проявлять локальные изменения, иллюстрирующие, что нужно соблюдать осторожность при заявлениях общего характера о поведении аммиака, которое следует из результатов по SEB и GRS.

Здесь очень важно отметить, что результаты и [4] и [5] указывают на то, что на уровне 380 мбар над большей частью наблюдаемых регионов NH_3 профиль является насыщенным (15-100% влажности). Модельные расчеты [2] показывают, что NH_3 находится в сверхнасыщенном состоянии именно ниже тропопаузы (вблизи 100 мбар). Поскольку уровни давления, наблюдаемые в ИК диапазоне (> 300 мбар), лежат ниже тех, которые могут зондироваться с помощью УФ измерений, а непрозрачность NH_3 , к тому же, быстро возрастает при увеличении давления, то те и другие результаты могут значительно отличаться друг от друга. Отсюда следует вывод, что исследования поверхности Юпитера далеко не закончены, и каждое из них лишь дополняет друг друга.

Результаты исследования

С помощью программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера», описанной нами в предыдущих статьях [6-9], была проведена обработка наблюдательного материала, полученного в течение ряда лет, детально рассмотрены широтно-долготные и временные вариации аммиачного поглощения в атмосфере Юпитера за период 2004-2016 годы. Данные хранятся в архиве лаборатории в виде атласов метаново-аммиачного поглощения. Ниже на рисунках 1-9 представлены фрагменты вариации только аммиачного поглощения вдоль центрального меридиана (ЦМ) планеты за указанный период, хотя аналогичные результаты имеются и для 6 полос поглощения метана.

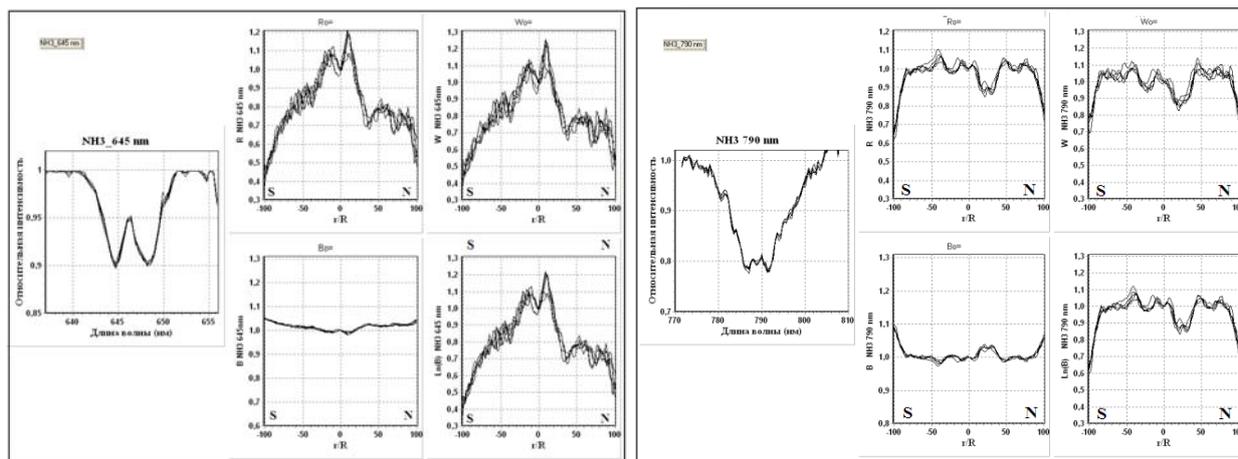


Рисунок 1 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH₃ 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2004 году

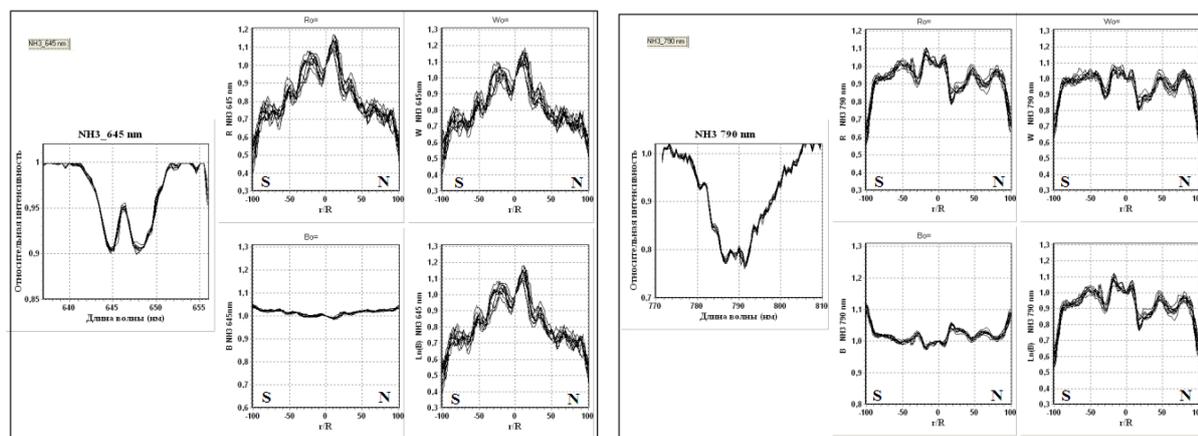


Рисунок 2 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH₃ 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2005 году

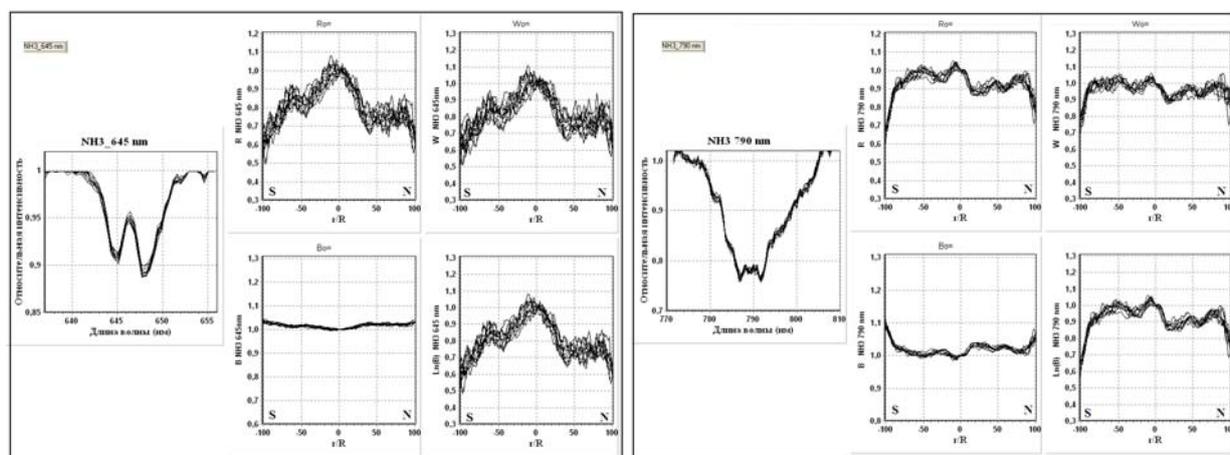


Рисунок 3 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH₃ 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2009 году

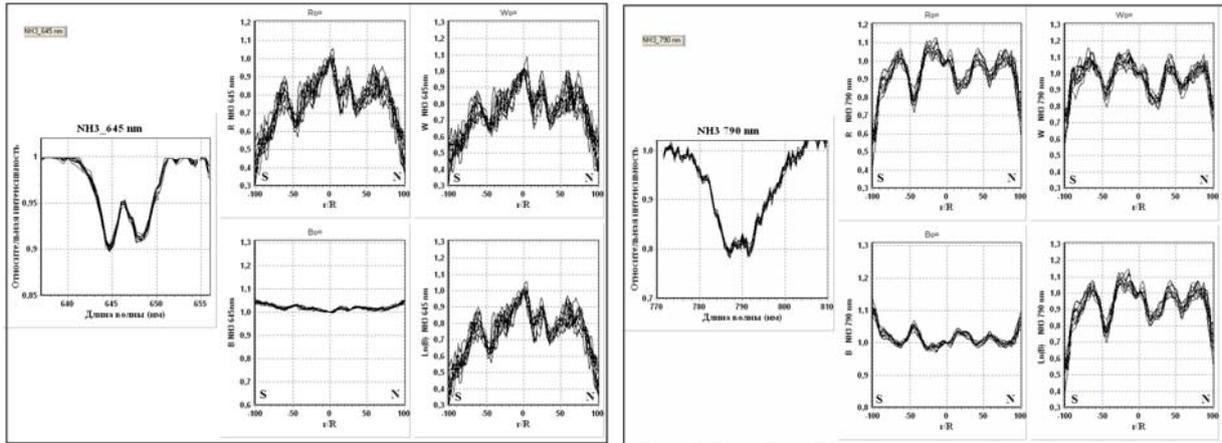


Рисунок 4 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2010 году

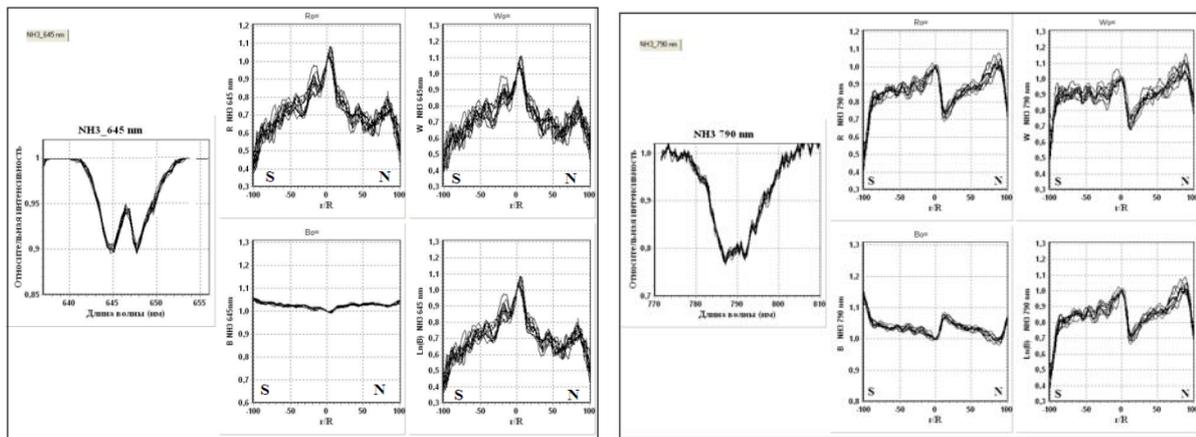


Рисунок 5 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2012 году

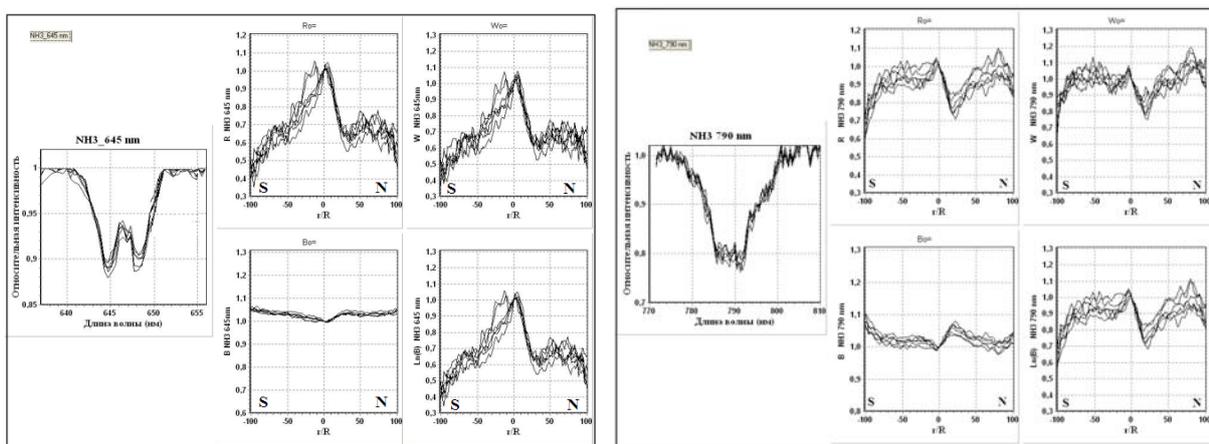


Рисунок 6 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2013 году

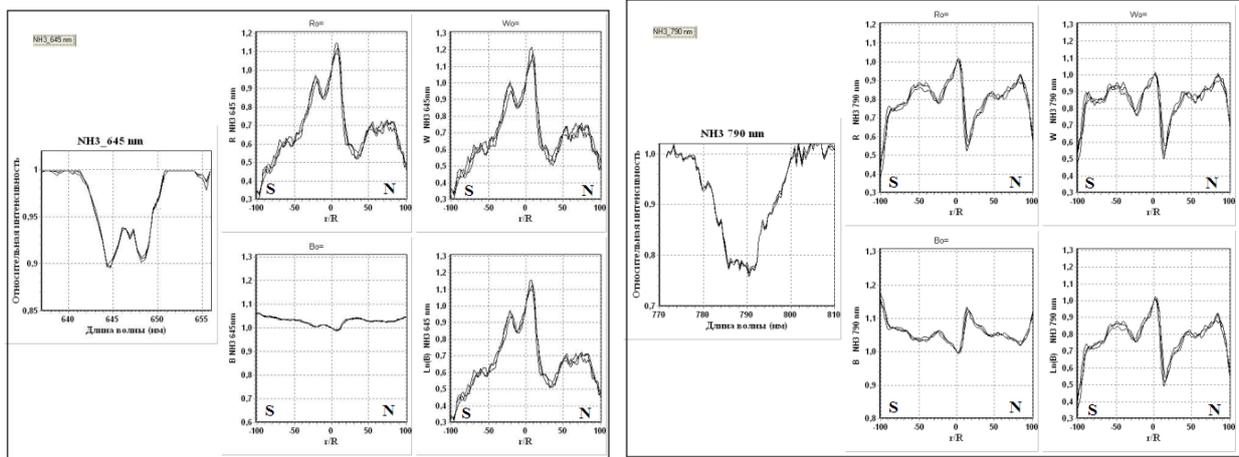


Рисунок 7 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2014 году

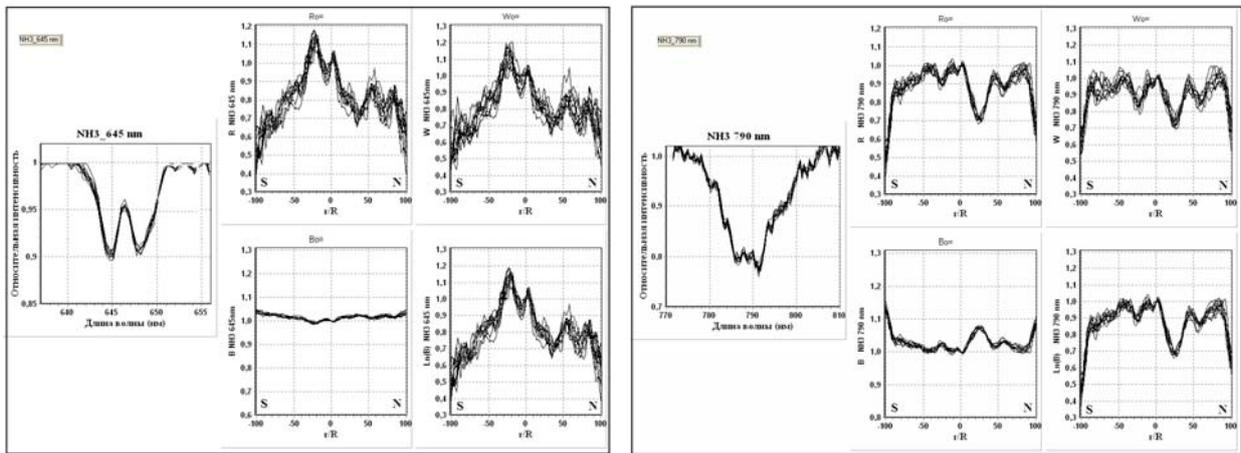


Рисунок 8 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2015 году

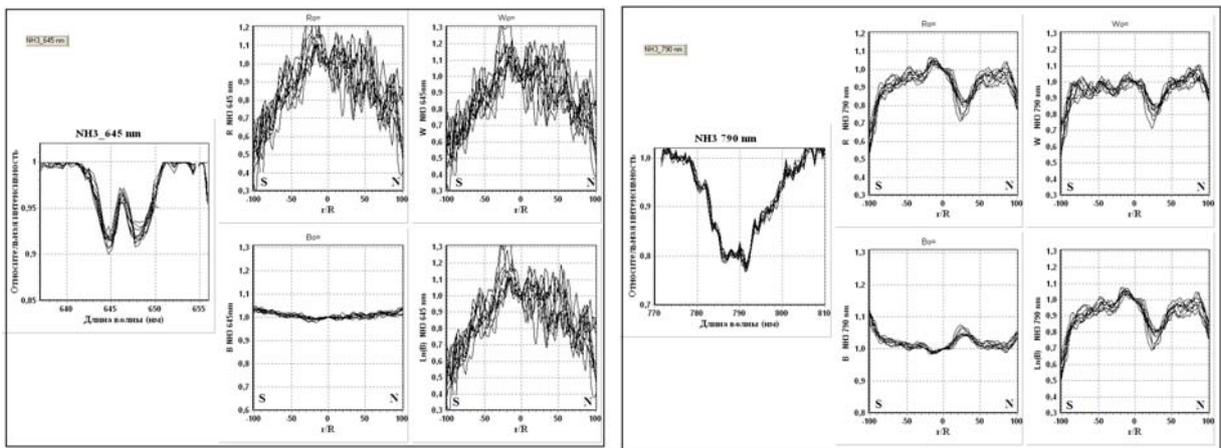


Рисунок 9 – Меридиональный ход поглощения по Юпитеру в полосах поглощения NH_3 645 (слева) и 789 нм (справа) в 2016 году

Как видно из представленных графиков, наблюдаются значительные временные и широтные вариации аммиачного поглощения вдоль ЦМ Юпитера. Причем, вариации поглощения для двух полос аммиака (NH_3) значительно отличаются друг от друга, что, по-видимому, объясняется различиями в химическом составе, плотности и вертикальной протяженности облачных структур, соответствующих уровням формирования данных полос поглощения. Тем не менее, по обоим полосам поглощения уверенно наблюдается дефицит аммиака в северном полушарии по сравнению с южным, особенно в переходной области между светлой экваториальной зоной и темным северным экваториальным поясом. Так, например, максимум дефицита аммиака в NEB по отношению к EZ (примерно в два раза) наблюдался в 2014 году.

Еще в 2004 году В.Г. Тейфелем была обнаружена странная депрессия аммиачного поглощения в низкоширотном поясе северного полушария Юпитера. На международной планетной конференции в США в 2005 г был представлен постер [10] с описанием полученных результатов.

Спектральные наблюдения Юпитера в последующие годы также обнаруживали эту особенность, причем были проделаны разные эксперименты, чтобы показать, что эта особенность реальна, а не вызвана какими либо инструментальными эффектами.

Очень важным оказалось появившееся в 2016 году в Science сообщение американских радиоастрономов о наблюдениях Юпитера в миллиметровом диапазоне с высоким угловым разрешением. Для этого использовалась система из 27 25-метровых радиотелескопов Very Large Array (VLA), работающая в режиме радиоинтерферометра.

Изображения и карты Юпитера в радиодиапазоне позволяют заглянуть сквозь облака на глубину до 90-100 км (~ 8 атм) и увидеть горячие области, характеризующие повышенную прозрачность, соответствующую пониженному содержанию аммиака, прослеживая вертикальные неоднородности, особенно заметные в районе экваториальной волновой системы и в «кильватере» GRS (рисунок 10 [1]).

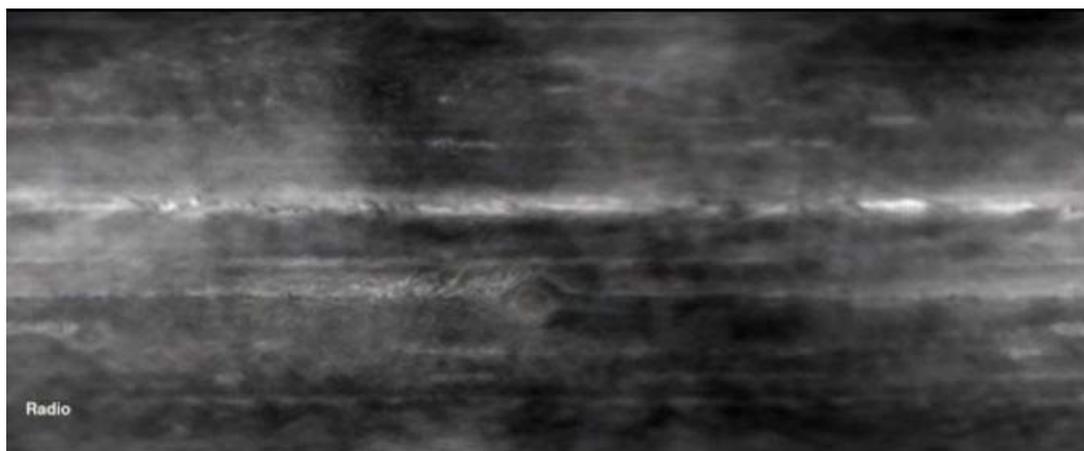


Рисунок 10 – Карта меридиональной развертки Юпитера в радиодиапазоне 8-12 GHz [1]

Для исследования вариаций морфологических структур на Юпитере нами на языке Дельфи была написана программа «Морфология Юпитера». Программа оцифровывает снимок карты меридиональной развертки Юпитера (если цветная, то в трёх цветах R, G, B) и представляет их в виде числовых таблиц. Следуя за курсором мыши или автоматически перемещаясь вдоль снимка, программа считывает для каждой долготы меридиональные разрезы в трех длинах волн, интегрирует их в заданном диапазоне долгот и выводит на график серию меридиональных разрезов, которые затем сравниваются с меридиональными вариациями метанового и аммиачного поглощения, полученными по результатам наших собственных спектральных наблюдений.

С помощью разработанной нами программы по оцифровке изображений исследовались представленные на радиокартах Юпитера вариации яркостной температуры в диапазоне частот 8-12 GHz и соответствующего ей поглощения NH_3 . Фрагмент работы программы в районе кильватера GRS в виде скриншота представлен на рисунке 11, где разрезы по X соответствуют вариациям NH_3 с широтой, а разрезы по Y – долготным вариациям в районе минимума поглощения, соответствующего переходной области между светлой Экваториальной зоной EZ и темным Северным экваториальным поясом NEB.

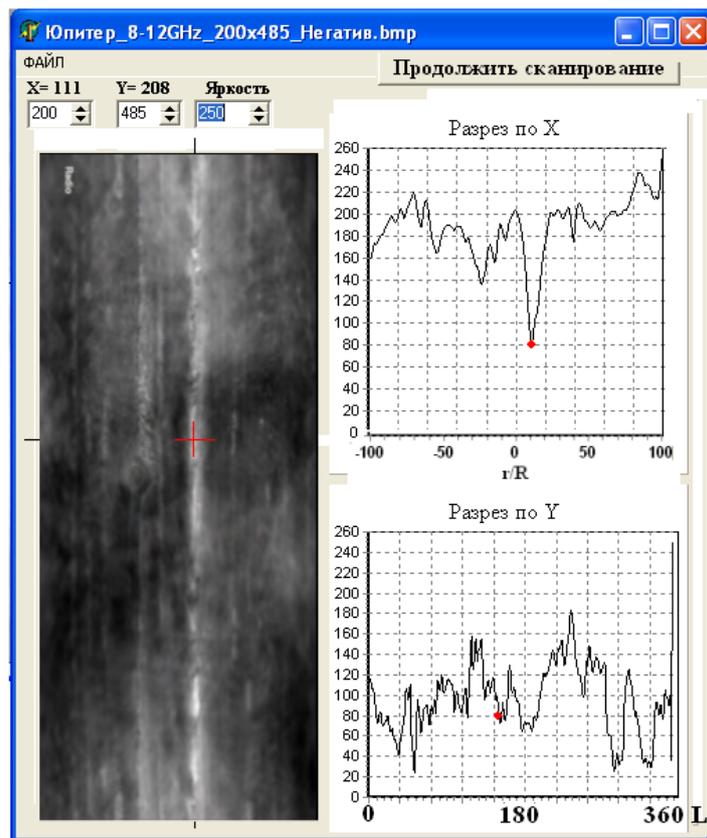


Рисунок 11 – Скриншот программы «Морфология Юпитера» при обработке карты цилиндрической меридиональной развертки в радиодиапазоне 8-12 GHz

Если соотнести яркость на карте с содержанием газообразного NH_3 на луче зрения, то его вариации по всему диску колеблются примерно в пять раз, что указывает на сильную неоднородность облачных структур в диапазоне глубин 90-100 км от верхней границы аэрозоля.

На рисунке 12 представлено сравнение широтного хода аммиачного поглощения на Юпитере по нашим оптическим спектральным наблюдениям (кривые 1) и широтных вариаций поглощения аммиака по радионаблюдениям на VLA (кривые 2)

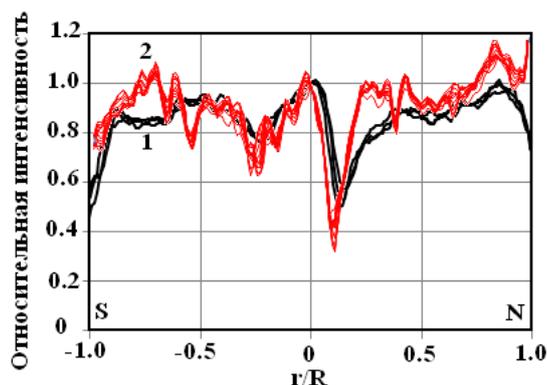


Рисунок 12 – Меридиональные (S – N) профили хода поглощения аммиака в районе кильватера GRS в 2014 году: 1 – Эквивалентная ширина полосы NH_3 778 нм по нашим спектрограммам, 2 – относительная яркость в радиодиапазоне. Обе величины нормированы к значению в центре диска для удобства сравнения

Следует обратить внимание на хорошее сходство наших результатов меридионального хода поглощения в полосе 787 нм, в районе кильватера GRS с данными, полученными в радиодиапазоне на частотах 8-12 GHz.

Сравнение результатов наших измерений широтного хода поглощения NH_3 в полосах видимого диапазона спектра и усредненного по долготам широтного хода поглощения NH_3 по измерениям яркостных температур на VLA в диапазоне миллиметрового теплового излучения на частотах 8-12 GHz показывают, что аммиачное поглощение в Северном тропическом поясе (NTB) и на других широтах носит переменный характер как в долготном направлении, так и во времени. Как уже отмечалось выше, условия формирования аммиачного поглощения для разных частотных диапазонов не одинаковы. Даже по двум полосам 645 и 787 нм наблюдается систематическое различие в широтном ходе их эквивалентных ширин.

Измерения спектрограмм Юпитера, полученных в разное время, показывают разную глубину депрессии аммиачного поглощения (см. рисунки 1-9), вызванную как долготным, так и временным фактором. Из анализа карты радиоизлучения (рисунок 11) можно видеть, что на разных долготах (разрез вдоль оси Y) в зоне депрессии яркостная температура существенно различается, и это может объяснить данные наших спектральных наблюдений.

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] De Pater I. et al. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging. . *Science*, 2016, Vol. 352, Issue 6290, p.1290-1294
- [2] Edgington S. G., Atreya S. K., Trafton L. M., Caldwell J. J., Beebe R. F., Simon A. A. and West R. A. Ammonia and Eddy Mixing Variations in the Upper Troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations. *Icarus* 142, 342–356 (1999)
- [3] Wagener, R., J. Caldwell, and T. Owen 1986. Constraints on the NH_3 and PH_3 distributions in the Great Red Spot. *Icarus* 66, 188–191.
- [4] Lara, L.- M., Brezard, B, Griffith C. A., Lacy J. H., and Owen T. 1998. High resolution 10-micron spectroscopy of ammonia and phosphine lines on Jupiter. *Icarus* 131, 317–333.
- [5] Griffith, C. A., Brezard B., Owen T., and Gautier D.1992. The tropospheric abundances of NH_3 and PH_3 in Jupiter's Great Red Spot from Voyager IRIS observations. *Icarus* 98, 82–93.
- [6] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.. Вариации поглощения аммиака и метана вдоль экватора и центрального меридиана Юпитера в 2016 году. Сравнительный анализ для 8 полос поглощения. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2017. - №5. – Настоящий сборник
- [7] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 104-110
- [8] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. II. Широтные вариации //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2016. - № 5 – С. 110-118
- [9] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года III. Большое Красное Пятно (БКП) // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 118-124
- [10] Tejfel V.G., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange Latitudinal Variations of the Ammonia Absorption on Jupiter // The Conference Division of Planetary Sciences American Astronomical Society (2015, Pasadena, USA)

REFERENCES

- [1] De Pater I. et al. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging. . *Science*, **2016**, Vol. 352, Issue 6290, p.1290-1294 (in Eng)
- [2] S. G. Edgington, S. K. Atreya, L. M. Trafton, J. J. Caldwell, R. F. Beebe, A. A. Simon and R. A. West 1999. Ammonia and Eddy Mixing Variations in the Upper Troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations. *Icarus* **142**, p. 342–356. (in Eng)
- [3] Wagener, R., J. Caldwell, and T. Owen 1986. Constraints on the NH_3 and PH_3 distributions in the Great Red Spot. *Icarus*, **66**, p. 188–191. (in Eng)
- [4] Lara, L.-M., B. Brezard, C. A. Griffith, J. H. Lacy, and T. Owen 1998. High resolution 10-micron spectroscopy of ammonia and phosphine lines on Jupiter. *Icarus*, **131**, p. 317–333. (in Eng)
- [5] Griffith, C. A., B. Brezard, T. Owen, and D. Gautier 1992. The tropospheric abundances of NH_3 and PH_3 in Jupiter's Great Red Spot from Voyager IRIS observations. *Icarus* 98, p. 82–93. (in Eng)
- [6] Vdovichenko V.D, Kirienko G.A., Lysenko P.G. The variations of ammonia and methane absorption along the jovian equator and central meridian in 2016. Comparative analysis of the eight absorption bands. *News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series.* - **2017**. - №5. - p. ____ (in Russ)
- [7] Vdovichenko V.D, Kirienko G.A., Lysenko P.G. Investigation of the molecular absorption on Jupiterian disk in the visibility season of 2016. I. Equatorial region. *News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, **2016**, №5, p. 104-110. (in Russ)

[8] Vdovichenko V.D, Kirienko G.A., Lysenko P.G. Investigation of the molecular absorption on Jupiterian disk in the visibility season of 2016. II. Latitudinal variations *News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, **2016**, № 5, p. 110-118 (in Russ)

[9] Vdovichenko V.D, Kirienko G.A., Lysenko P.G. Investigation of the molecular absorption on Jupiterian disk in the visibility season of 2016. III. The Great Red Spot (GRS). *News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*. – **2016**, №5. p. 118-124 (in Russ)

[10] Tejfel V.G., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange Latitudinal Variations of the Ammonia Absorption on Jupiter. *The Conference Division of Planetary Sciences American Astronomical Society* **2015**, Pasadena, USA (in Eng)

В.Д. Вдовиченко, Г.А. Кириенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

2004-2016 ЖЫЛДАРЫ ЮПИТЕРДІҢ СОЛТҮСТІК ЖӘНЕ ОҢТҮСТІК ЖАРТЫШАРЛАРЫНДА АММИАКТЫҢ ЖҰТУ ЖОЛЫНДА АСИММЕТРИЯНЫ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. 2004-2016 жылдары алынған және «Юпитер дискісі бойынша жұтудың түсті картасы» бағдарламасы көмегімен өңделген бақылау материалдары негізінде Юпитер атмосферасында NH_3 $\lambda 645$ және 789 нм жолақтарында аммиакты жұтудың ендік-бойлықтық және уақыттық вариациялары жете қарастырылды. Нәтижелер бұл екі жолақтың бақылған вариацияларындағы айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетеді, бұл химиялық құрамымен де, бұлт құрылымдарының тығыздығы және вертикаль созылыққылығы сияқты ерекшеленетін олардың атмосфераның әртүрлі деңгейінде қалыптасуының салдарынан болуы мүмкін. Алайда, зерттелген жолақтардың екеуі де оңтүстікпен салыстырғанда солтүстік жартышарда аммиактың жетіспеушілігін сенімді көрсетеді, әсіресе жарық Экваторлық Аймақ және қараңғы Солтүстік Экваторлық Белдік арасындағы өтетін аймақта. Көрсетілген жолақтар арнайы осы мақсат үшін Дельфи тілінде жазылған «Юпитер морфологиясы» бағдарламасы көмегімен Юпитердің морфологиялық құрылымдарында аммиакты жұтудың вариацияларын зерттеу үшін пайдаланылды. Алынған нәтижелер радиодиапазонда (8-12 GHz) алынған нәтижелермен жақсы келісіледі (соның ішінде, ҮҚД ауданы үшін) [1].

Түйін сөздер: Юпитер, аммиак, жұту жолақтары.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 179 – 184

UDK 523.45

A.M.Karimov, P.G.Lysenko, V.G.Teifel, V.A.Filippov,

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

THE OBSERVATIONS OF THE JUPITER GALILEAN SATELLITES MUTUAL OCCULTATIONS AND ECLIPSES (PHEMU-15 INTERNATIONAL PROGRAM)

Abstract. Photometric observations of mutual occultations and eclipses of Galilean satellites of Jupiter during the period of international PHEMU-15 campaign were carried out. All observations were made on a 0.6-m telescope with a CCD camera. The data on the light curves for 20 events observed in 2014-2015 were obtained and presented to the coordinating organization. The ephemeris and observed amplitudes of the satellite brightness weakening are compared. In most cases, the measured amplitudes were greater than the calculated.

Key words: Jupiter, Galilean satellites, occultations, eclipses, photometry

УДК 523.45

А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.Г. Тейфель, В.А Филиппов

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

НАБЛЮДЕНИЯ ВЗАИМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЗАТМЕНИЙ ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА (МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОГРАММА PHEMU-15)

Аннотация. Проведены фотометрические наблюдения взаимных соединений и затмений галилеевых спутников Юпитера в период международной кампании PHEMU-15. Наблюдения выполнялись на 0.6-м телескопе с ПЗС-камерой. Получены и переданы в координирующую организацию данные о кривых блеска по 20 событиям, наблюдавшимся в 2014-2015 гг. Проведено сравнение эфемеридных и наблюдаемых амплитуд ослабления блеска спутников, в большинстве случаев наблюдавшееся падение блеска оказалось больше расчетного.

Ключевые слова: Юпитер, галилеевы спутники, покрытия, затмения, фотометрия.

Введение. Движение четырех больших галилеевых спутников Юпитера подвержено влиянию гравитационных сил как со стороны планеты, так и от Солнца и взаимного притяжения самих спутников. Учитывать все эти факторы в расчетах точного положения спутников весьма затруднено из-за наличия нескольких резонансных соотношений между их периодами обращения. Существующие теории движения главных спутников Юпитера поэтому весьма сложны и должны уточняться по мере появления новых наблюдений. Такое уточнение становится особенно важным при будущем осуществлении космических полетов, направленных на изучение природы этих тел с высадкой на их поверхность. При этом наибольшую точность дают наблюдения таких относительно редких явлений, как взаимные покрытия и затмения спутников. Из-за существующего наклона экватора Юпитера и плоскости орбит галилеевых спутников к плоскости эклиптики только раз в 6 лет орбиты спутников оказываются ориентированы ребром по отношению к Земле. А эти периоды появляется возможность наблюдать или взаимное соединение двух спутников или вход одного спутника в тень другого (рисунок 1). Для наблюдений этих взаимных явлений организуются международные кампании, в которых участвует много обсерваторий мира. Программа PHEMU координируется Институтом небесной механики и Бюро долгот (Париж, Франция, J.Arlot [1,2]) и Государственным Астрономическим Институтом им.П.К.Штернберга (Москва, Н.В.Емельянов [3,4]) . В число участников

входит и обсерватория Астрофизического института. Географическое положение нашей обсерватории таково, что позволяет наблюдать те события, которые не доступны другим обсерваториям, находящимся в Европе или в Америке. Поэтому планетная лаборатория Института участвует в этих кампаниях регулярно с 1985 года [5-8]. Оказывается, не столько позиционные, сколько фотометрические наблюдения взаимных соединений и затмений спутников позволяют в конечном итоге получить необходимые данные для уточнения их движения.

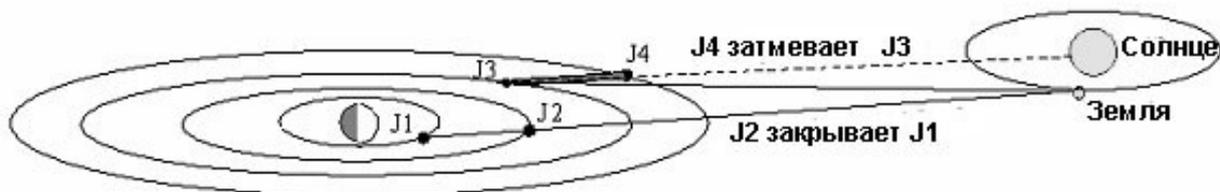


Рисунок 1 – Схема наблюдаемых с Земли взаимных затмений и покрытий в системе галилеевых спутников Юпитера

Для пунктов наблюдений Бюро Долгот в Париже заранее делает и рассылает расчеты эфемерид событий (например, [9]). Из них можно сделать выборку тех из них, которые приходятся на достаточно удобное время при заданном минимуме угловой высоты Юпитера над горизонтом и углового расстояния спутника от диска Юпитера (при близости к диску менее 4-5 радиусов Юпитера фотометрия спутников затруднена из-за неравномерности поля, подсвечиваемого ореолом от планеты).



Рисунок 2 – Примеры соединения и затмения спутников – по расчетам в программе WIN JUPOS.

С помощью компьютерной программы “WINJUPOS” можно получить имитационные изображения взаимных сближений и затмений спутников (рисунок 2), что удобно для планирования наблюдений.

Наблюдения и их обработка. Методика наблюдений относительно несложна – записываются изображения пары сходящихся спутников с помощью ПЗС-камеры, установленной на 0.6-м телескопе, с продолжительностью экспозиции 1-2 секунды в автоматическом режиме. Соответственно максимальная частота составляет до 20 фреймов в минуту. Но процесс соединения или затмения занимает по времени от нескольких минут до одного часа и более, так что количество записанных файлов изображений за один сеанс может быть от 400 до 1000 кадров.

В период наблюдений 2014-2015 гг использовалась ПЗС-камера ST-7XE, с большой скоростью считывания полного кадра изображения 765x510 пикселей, что в 7.5-метровом кассегреневском фокусе 0.6-м телескопа соответствует полю в 189x126 угловых секунд. Все поле считывается за одну секунду.

В таблице 1 даны сведения о выполненных наблюдениях взаимных явлений с ноября 2014 по апрель 2015. (О – покрытие, Е – затмение). В некоторые ночи можно было наблюдать до трех событий при определенной конфигурации спутников, например, когда вблизи видимого крайнего положения спутник прямым и обратным движением заходит за спутник, внешний по отношению к нему.

Таблица 1 - Данные о наблюдениях спутников Юпитера в 2014 - 2015 годах

№	Дата	Событие	UT	К-во файлов
1	29-30.11.2014	3O1	19:16 - 19:36	400
2	09-10.12.2014	2E3	22:32 - 22:55	460
3	14-15.12.2014	3O1 - 1	18:12 - 19:45	1099
4		3O1 - 2	20:42 - 22:11	1073
5	23-24.12.2014	2O1	18:43 - 19:32	956
6	30-31.12.2014	2E1	19:11 - 19:53	852
7		2O1	21:21 - 22:05	871
8	31.01-01.02.2015	2E1	19:15 - 19:44	575
9		2O1	19:44 - 20:10	522
10		2E4	20:44 - 21:23	767
11		2O3	21:44 - 22:25	621
12	04-05.03.2015	2O1	16:53 - 17:26	500
13		2E1	17:52 - 18:26	507
14	18-19.03.2015	2O1	21:12 - 21:47	540
15	05-06.04.2015	2O1	14:31 - 15:00	434
16		2E1	16:20 - 16:44	360
17	11-12.04.2015	1O3	17:24 - 18:15	470
18	12-13.04.2015	2O1	16:43 - 17:15	485
19		2E1	18:38 - 18:54	235
20	21-22.04.2015	3O2	15:09 - 15:39	451
21	28-29.04.2015	3O2	18:19 - 18:53	508

Фотометрическая обработка файлов производилась по методике, уже применявшейся нами ранее и описанной в [10]. Удобной для обработки оказывается программа *ASTRAIMAGE*. Вокруг изображения спутников с помощью прозрачного трафарета, наложенного на экран монитора, строятся последовательно два квадрата увеличивающихся размеров. При этом либо измеряется суммарная яркость сблизившихся спутников, либо в случае затмения, когда угловое расстояние между спутниками велико, измеряются отдельно яркости каждого спутника и вычисляется отношение яркости затмеваемого к затмевавшему.

Программа производит подсчет точного размера квадрата, его площади, находит интегральную яркость внутри него и среднее значение яркости на один пиксель. Все эти данные автоматически фиксируются в таблице, которая затем переносится в электронную таблицу EXCEL, где и выполняется окончательная обработка с вычислением суммарной яркости пары спутников по формуле

$$B_s = (B_1 - B_2) * S_1 * S_2 / (S_2 - S_1),$$

где B_1 – средняя яркость в меньшем квадрате, B_2 – средняя яркость в большем квадрате, S_1 и S_2 - площади квадратов.

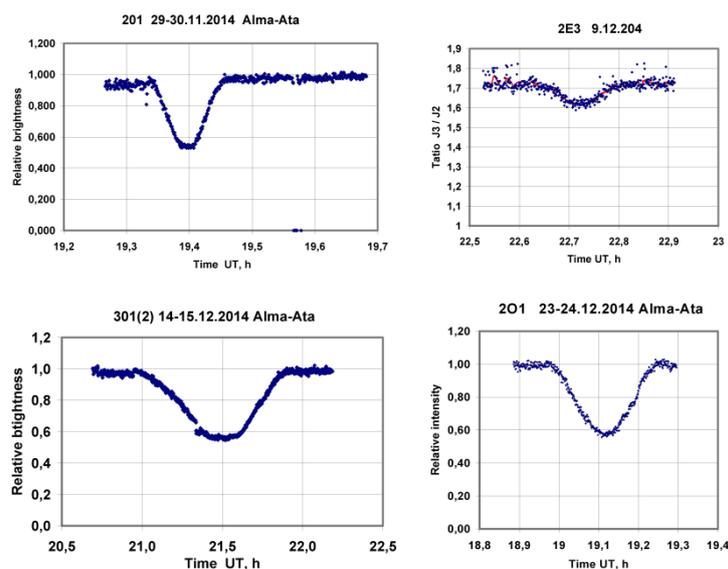


Рисунок 3 - Примеры кривых блеска спутников, полученных при длительной продолжительности событий – покрытий и затмений.

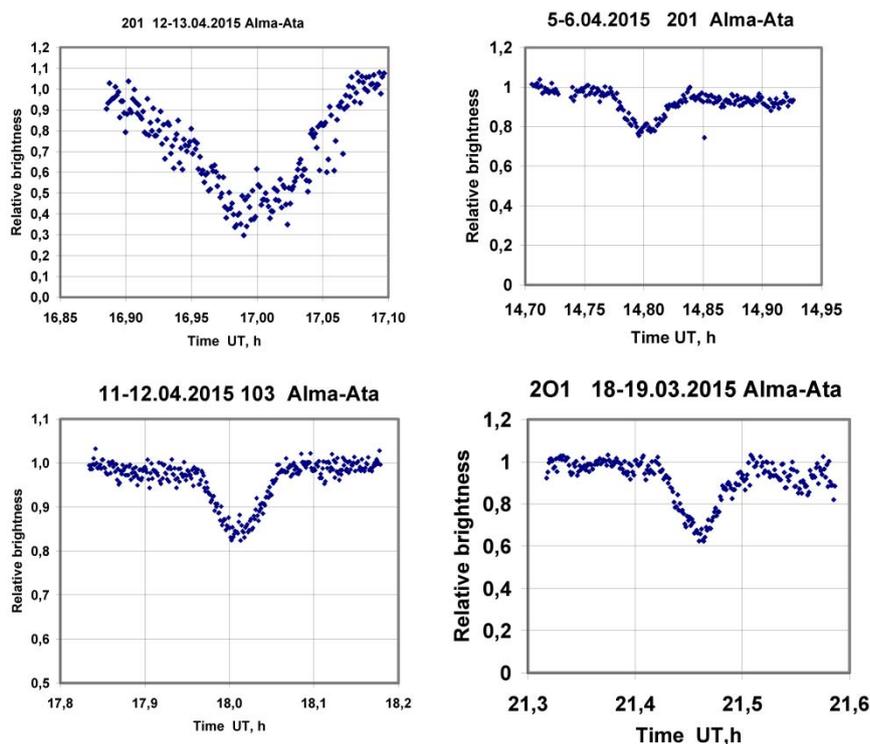


Рисунок 4 - Примеры кривых блеска спутников, полученных при наблюдениях событий с короткой продолжительностью

По полученным значениям $B_s(t)$ строятся графики изменения блеска спутников, что вместе с числовыми данными и является итогом обработки. На рисунках 3 и 4 показаны примеры полученных кривых, причем на одном представлены результаты наблюдений длительных процессов с большим числом точек, на другом – наблюдения более кратковременных по продолжительности событий. В последнем случае при одинаковой частоте съемки количество точек на графиках значительно меньше. Время на графиках указано Всемирное в часах и десятичных долях часа.

Далее уже координаторы проводят составление каталогов наблюдений разных обсерваторий, атласы кривых и последующий анализ данных уже с позиций астрометрии движения спутников (например, [11]). Итоги наблюдений, как правило, публикуются в европейском журнале *Astronomy and Astrophysics*. Отметим, что в списке литературы для этих статей не перечисляются все соавторы - участники программ РНЕМУ ввиду большого их числа (по несколько десятков).

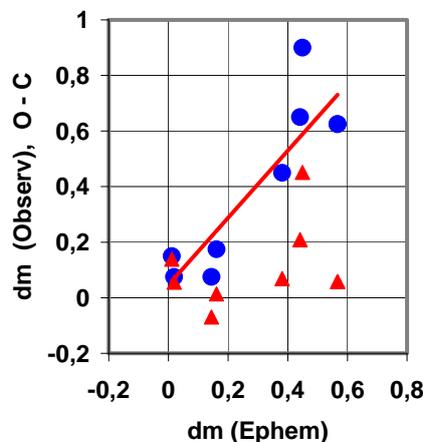


Рисунок 5 - Сравнение расчетных и наблюдавшихся амплитуд падения блеска при взаимных соединениях спутников

Заключение. В таблицах эфемерид взаимных явлений в системе спутников Юпитера приводятся расчетные значения степени перекрытия при соединении спутников и выражения в звездных величинах амплитуда падения суммарной яркости сблизившихся спутников. Мы сравнили полученные из наблюдений оценки падения блеска с расчетными. На графике (рисунок 5) кружки нанесены в координатах расчетных значений падения блеска (абсцисса) и наблюдавшиеся значения (ордината). Треугольниками показаны значения разности этих величин (О-С). Как видим, эти разности почти во всех случаях положительны, т.е. наблюдавшееся уменьшение суммарной яркости спутников превосходит расчетное. Интерпретация этих различий неоднозначна. С одной стороны, это может быть следствием несколько большего перекрытия дисков спутников.

Другой же причиной может быть неучет или недостаточный учет неравномерности распределения отражательной способности по диску закрываемого спутника. Правда, скажем, значительное потемнение к краям диска должно было бы приводить к противоположному эффекту при частичном перекрытии. По всяком случае более определенные выводы можно было бы сделать при соответствующем анализе всех наблюдений, выполненных за время кампании PHEMU-15.

Итоговая статья по всей программе PHEMU-15 [12] находится в печати.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Arlot J., et al. The PHEMU97 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2006, V. 451, No 2, P.733-737
- [2] Arlot J., et al. The PHEMU03 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2009. V.453 . P.1171-1182
- [3] Емельянов Н.В. Ценный источник научных данных – взаимные события в системах спутников планет // *Астрономический календарь на 1995 год*, Физматлит, М.,1994. С.232-236
- [4] Емельянов Н.В. Специальная программа наблюдений спутников Юпитера и Сатурна в 2009 году // *Астрон. Вестник РАН*, 2008, Т. 42, № 5, С. 477-480
- [5] Тейфель В.Г., Григорьева З.Н., Егоров Ю.А., Харитонов Г.А. Наблюдение взаимных явлений в системе спутников Юпитера. I. Взаимные покрытия в июле 1985г. // *Астрон.Циркуляр АН СССР №1444*. 1986. С.1-3
- [6] Тейфель В.Г., Григорьева З.Н., Егоров Ю.А., Харитонов Г.А. Наблюдения взаимных явлений в системе спутников Юпитера. II. Взаимные затмения в сентябре- октябре 1985г. // *Астрон.Циркуляр АН СССР, №1447*.1986. С.3-5
- [7] Тейфель В.Г., Харитонов Г.А., Глушкова Е.А. Взаимные явления в системе спутников Юпитера по наблюдениям с ПЗС-камерой в 1997 г.// *Доклады Национальной Академии наук РК*. N 3, 2000. С.54-59
- [8] Тейфель В.Г., Харитонов Г.А., Глушкова Е.А. Наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера с ПЗС-камерой в.2003 г. (Международная программа PHEMU-03) // *Известия НАН РК, Серия физико-матем.*, N 4. 2004. С.115-119.
- [9] *Satellites Galileens de Jupiter –Phenomenes et configurations pour 2009*. // *IMC.Paris*, 2009, 86 PP.
- [10] Тейфель В.Г., Синяева Н.В.. Наблюдения взаимных соединений и затмений галилеевых спутников Юпитера в международной программе PHEMU-09 // *Известия НАН РК, серия физ.-мат.*, 2010. №4, С. С.96-102
- [11] Emelyanov N.V., Gilbert R. Astrometric results of observations of mutual occultations and eclipses of the Galilean satellites of Jupiter in 2003 // *Astronomy and Astrophysics*, 2006, V. 453, P. 1141-1149/
- [12] Saquet E.; et al.The PHEMU15 catalog and astrometric results of the Jupiter’s Galilean satellite mutual occultation and eclipse observations made in 2014-2015 // *Astronomy and Astrophysics*, 2017 (in press).

REFERENCES

- [1] Arlot J., et al. The PHEMU97 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter *Astron.&Astrophysics*, 2006, V. 451, P.733-737
- [2] Arlot J., et al. The PHEMU03 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter *Astron.&Astrophysics*, 2009. V.453 . P.1171-1182
- [3] Emelyanov N.V. Tsennyiy istochnik nauchnykh dannyyh – vzaimnyie so-byitiya v sistemah sputnikov planet . *Astronomicheskiiy kalendar na 1995 god*, Fizmatlit, M.,1994. S.232-236
- [4] Emelyanov N.V. Spetsialnaya programma nablyudeniyy sputnikov Yupitera i Saturna v 2009 godu .*Astron.vestnik RAN*, 2008, T. 42, # 5, S. 477-480
- [5] Teyfel V.G., Grigoreva Z.N., Egorov Yu.A., Haritonova G.A. Na-blyudenie vzaimnyih yavleniy v sisteme sputnikov Yupitera. I. Vzaim-nyie pokryitiya v iyule 1985g. *Astron.Tsirkulyar AN SSSR #1444*. 1986. S.1-3
- [6] Teyfel V.G., Grigoreva Z.N., Egorov Yu.A., Haritonova G.A. Na-blyudeniya vzaimnyih yavleniy v sisteme sputnikov Yupitera. II. Vzaim-nyie zatmeniya v sentyabre- oktyabre 1985g. *Astron.Tsirkulyar AN SSSR, #1447*.1986. S.3-5
- [7] Teyfel V.G., Haritonova G.A., Glushkova E.A. Vzaimnyie yavleniya v sisteme sputnikov Yupitera po nablyudeniyyam s PZS-kameroy v 1997 g. *Dokladyi Natsio-nalnoy Akademii nauk RK*. N 3, 2000. S.54-59

[8] Teyfel V.G., Haritonova G.A., Glushkova E.A Nablyudeniya vzaimnyih yavleniy v sisteme galileevyih sputnikov Yupitera s PZS-kameroi v.2003 g. (Mezhduna-rodnaya programma PHEMU-03) Izvestiya NAN RK, Seriya fiziko-matem.,N 4. 2004. S.115-119.

[9] Satellites Galileens de Jupiter –Phenomenes et configurations pour 2009. IMC.Paris, 2009, 86 PP.

[10] Teyfel V.G., Sinyaeva N.V.. Nablyudeniya vzaimnyih soedineniy i zatmeniy galileevyih sputnikov Yupitera v mezhdunarodnoy programme PHEMU-09 Iz-vestiya NAN RK, seriya fiz.-mat., 2010. #4, S. S.96-102

[11] Emelyanov N.V., Gilbert R. Astrometric results of observations of mutual occul-tations and eclipses of the Galilean satellites of Jupiter in 2003

Astronomy and Astrophysics, 2006, V. 453, P. 1141-1149/

[12] Saquet1 E.; et al.The PHEMU15 catalog and astrometric results of the Jupiter's

Galilean satellite mutual occultation and eclipse observations made in 2014-2015 Astronomy and Astrophysics, 2017 (in press)

ӘОЖ: 523.45

А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.Г. Тейфель, В.А Филиппов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ЮПИТЕРДІҢ ГАЛИЛЕЙЛІК СЕРІКТЕРІНДЕГІ ӨЗАРА БІРІГУЛЕРДІ ЖӘНЕ ТҰТЫЛУДЫ ЗЕРТТЕУ(ХАЛЫҚАРАЛЫҚ БАҒДАРЛАМА РНЕМУ-15)

Аннотация. РНЕМУ-15 халықаралық кампаниясы кезеңінде Юпитердің галилейлік серіктері өзара қосылулары және тұтылуларының фотометрлік бақылаулары жүргізілді. Бақылау ЗБА-камерамен 0.6-метрлік телескопта жүргізілді. 2014-2015 жылдары бақыланған 20 оқиға бойынша бүгілген жарқыл бойынша мәліметтер алынды және үйлестіруші ұйымға жіберілді. Серіктердің әлсіз жарқылы эфемеридтік және бақыланған амплитудалар салыстырулары жүргізілді. Көптеген жағдайларда бақыланған жарқылдың төмендеуі есептелгеннен көп болды.

Түйін сөздер: Юпитер, галилейлік серіктер, жабын, тұтылу, фотометрия.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 185 – 191

UDK 523.45

**V.G.Teifel, A.M.Karimov, P.G.Lysenko,
V.A.Filippov, G.A.Kharitonova, A.P.Khozhenetz**

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

JUPITER: VARIATIONS OF THE MOLECULAR ABSORPTION AT FIVE MAIN LATITUDINAL BELTS FROM LONGTIME OBSERVATIONS

Abstract. We measured the intensity of the 645 and 787 nm NH₃ absorption bands in five latitudinal belts of Jupiter (STZ, SEB, EZ, NEB and NTZ) during almost full period of its revolution around the Sun: from 2005 to 2015. The variations in the equivalent widths of the bands were investigated. The permanently lowered intensity of the 787 nm NH₃ band in NEB is confirmed. There are also some systematic differences in latitudinal and temporal variations between the 645 and 787 nm ammonia bands. The intensity of these absorption bands is due to two factors: variations of the gaseous ammonia abundance, as indicated by observations of Jupiter's thermal radiation in the radio range of millimeter waves, and the process of multiple scattering within the ammonia clouds.

Key words: Jupiter, atmosphere, methane, ammonia, absorption bands.

УДК 523.45

**В.Г.Тейфель, А.М.Каримов, П.Г. Лысенко,
В.А. Филиппов, Г.А. Харитонов, А.П. Хоженец**

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

ЮПИТЕР: ВАРИАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ПЯТИ ОСНОВНЫХ ШИРОТНЫХ ПОЯСАХ ПО МНОГОЛЕТНИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Аннотация. Мы измерили интенсивность полос поглощения NH₃ 645 и 787 нм в пяти широтных поясах Юпитера (STZ, SEB, EZ, NEB и NTZ) в течение почти полного периода его обращения вокруг Солнца: с 2005 по 2015 год. Вариации в эквивалентных ширинах зон. Подтверждена постоянно пониженная интенсивность полосы NH₃ 787 нм в NEB. Имеются также некоторые систематические различия в широтных и временных вариациях между полосами аммиака 645 и 787 нм. Интенсивность этих полос поглощения обусловлены двумя факторами: вариациями содержания газообразного аммиака, на что указывают наблюдения теплового излучения Юпитера в радиодиапазоне миллиметровых волн, и процесс многократного рассеяния внутри аммиачных облаков.

Ключевые слова: Юпитер, атмосфера, метан, аммиак, полосы поглощения.

Введение. Полосы молекулярного поглощения метана и аммиака, наблюдаемые в видимой и ближней инфракрасной области спектра Юпитера, наиболее интересны для изучения их пространственных и временных вариаций, отражающих различия и изменения в верхней тропосфере и в облачном покрове планеты. Полосы в более далеком диапазоне инфракрасного спектра более интенсивны, но играют большую роль в переносе собственного теплового излучения из глубинных слоев атмосферы, тогда как влияние облаков на перенос этого излучения становится практически несущественным в длинах волн более 8-10 мкм. Если по исследованиям поведения полос поглощения метана на Юпитере существует довольно большое количество публикаций, то в отношении аммиачного поглощения в видимой области спектра подобного рода исследований, тем более за достаточно длительное время, весьма немного [1-4]. Дело в том, что аммиачные полосы поглощения малы по интенсивности и к тому же накладываются на полосы поглощения метана, так что

необходимо каким-то образом выделять их из суммарного профиля в спектре планеты. Более поздние наблюдения проводились в инфракрасной области спектра, где также расположен ряд интенсивных полос поглощения аммиака, хотя и там они перекрываются с полосами метана. Не много имеется и лабораторных исследований аммиачного поглощения, а в видимой области спектра [5-7].

Начиная с 2004 года, регулярные спектральные наблюдения Юпитера выполняются с помощью дифракционного спектрографа с ПЗС-камерой, что позволило получить достаточно однородный материал, на основе которого могут быть исследованы особенности поведения полос молекулярного поглощения в течение длительного времени, охватывающего полный 12-летний период обращения Юпитера вокруг Солнца. В данной работе прослеживается общий временной ход вариаций интенсивности полос поглощения метана и аммиака в 5 основных поясах Юпитера : в Южной и Северной Тропических зонах (STZ и NTZ), в Южном и Северном Экваториальных поясах (SEB и NEB) и в Экваториальной зоне (EZ).

Наблюдения и их обработка. Для измерений было отобрано и обработано 600 по спектрограммам центрального меридиана Юпитера – по 10-12 на каждый год, начиная с 2005 года. На спектрограммах (рисунок 1) выделялись и записывались в цифровом формате 5 показанных на рисунке зон спектры шириной 15 пикселей, что соответствует приблизительно 3.7 угловой секунды на диске планеты. Ц общей сложности обработано 615 зональных спектров.



Рисунок 1 – Спектрограммы центрального меридиана Юпитера с отмеченными измерявшимися поясами планеты

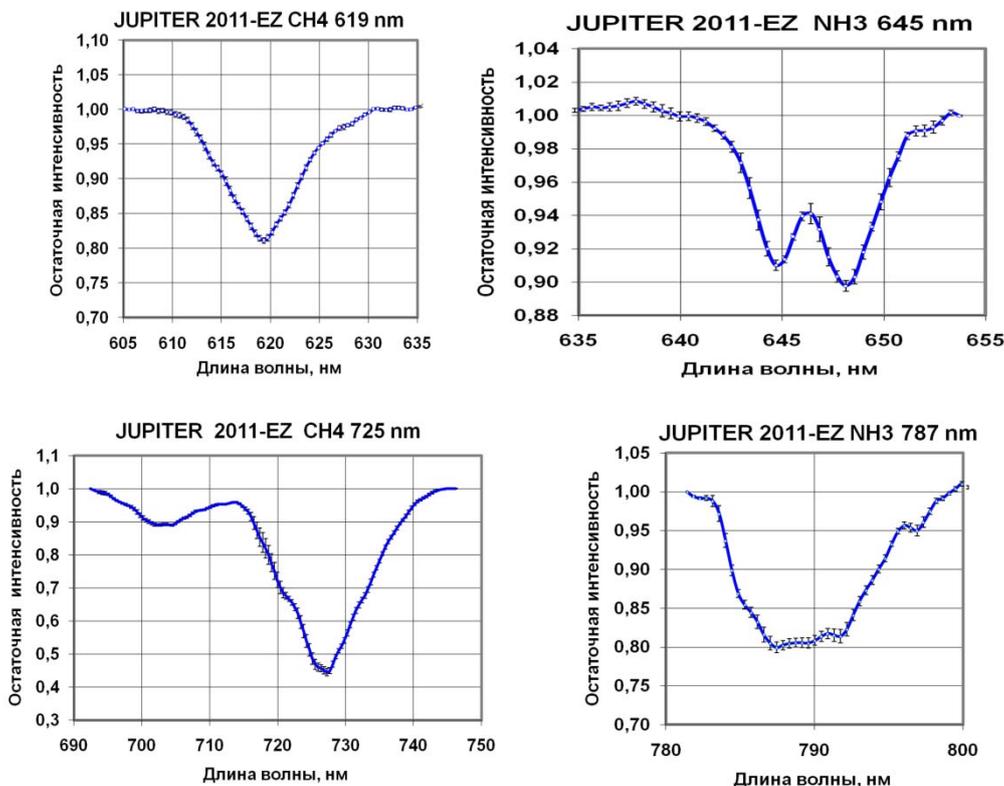


Рисунок 2 – Средние профили полос поглощения в экваториальной зоне (EZ) Юпитера за 2011 год.

Профили полос поглощения метана CH₄ 619, 702 и 725 нм выводились после вычисления отношения спектра зоны к опорному спектру кольца Сатурна, лишённому планетарных поло поглощения. То же самое делалось и для полосы аммиака NH₃ 645 нм, но дополнительно учитывалось то, что она находится в коротковолновом и относительно слабом крыле полосы метана, максимум поглощения которой приходится на длину волны около 667 нм. Полоса же аммиака NH₃ 787 нм попадает в середину более интенсивной и широкой полосы метана, поэтому для ее выделения использовалось отношение к спектру диска Сатурна. Аммиачное поглощение на Сатурне в этой полосе практически неощутимо, так что с некоторой незначительной и постоянной погрешностью можно вывести профиль полосы аммиака для исследования ее поведения на Юпитере и пространственно- временных вариаций. На рисунке 2 показаны примеры профилей полос поглощения метана и аммиака для одного года в Экваториальной зоне Юпитера.

Как обычно, в качестве характеристик интенсивности полос поглощения вычислялись их эквивалентные ширины (W) и центральные глубины (R). В конечном счете, по результатам обработки спектров составлены комплекты профилей полос поглощения по годам и зонам и гистограмм разного вида, позволяющие проследить общий характер зональных различий в интенсивности молекулярного поглощения за 12-летний период наблюдений.

Результаты. Еще в 2004 году наши спектральные наблюдения выявили странную, как тогда показалось, депрессию интенсивности полосы поглощения аммиака NH₃ 787 нм в области низких широт северного полушария Юпитера [8,9]. При дальнейших наблюдениях эта особенность подтвердилась, хотя величина депрессии не оставалась постоянной. Для каждого года и каждой полосы строились гистограммы зависимости интенсивности от принадлежности к тому или иному широтному поясу или, наоборот, для заданного пояса и полосы поглощения в зависимости от года. Примеры таких гистограмм показаны на рисунке 3.

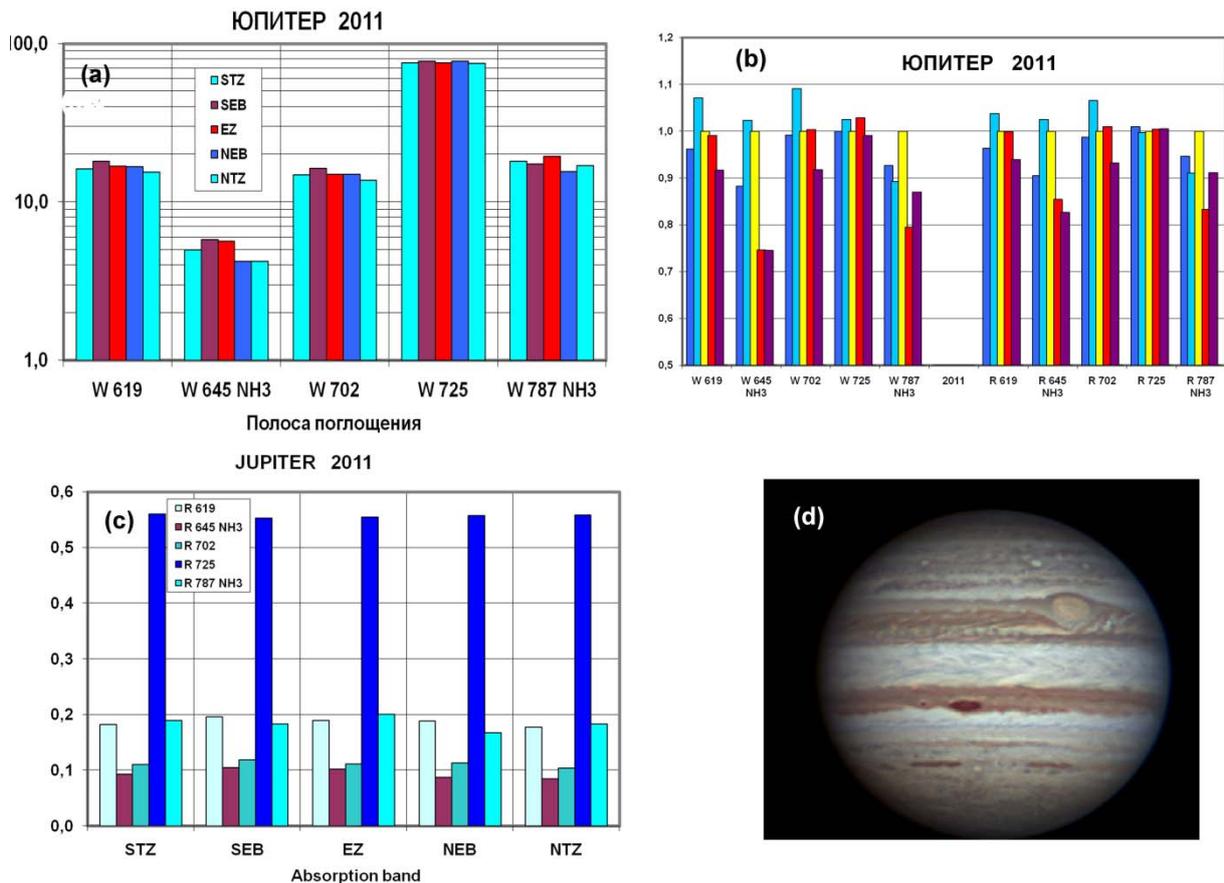


Рисунок 3 – Примеры зональных характеристик полос поглощения на Юпитере в 2011 году.
 (a) – Гистограммы зонных вариаций эквивалентных ширин полос поглощения (в логарифмическом масштабе,
 (b) - Гистограммы зонных вариаций нормированных к экваториальной зоне значений эквивалентных ширин и глубин полос поглощения, (c) - Гистограммы значений глубин полос поглощения в каждой зоне, (d)- Вид Юпитера в 2011 году

Измерения полос поглощения в 5 широтных поясах Юпитера дают возможность проследить временные изменения поглощения метана и аммиака на протяжении полного периода обращения Юпитера вокруг Солнца. Для этого по усредненным для каждого года измерениям эквивалентных ширин и глубин полос поглощения строились гистограммы, отражающие характер и амплитуду таких вариаций. На рисунке 3 показаны лишь отдельные примеры некоторых гистограмм для одного года, так как общее число их составляет более двухсот. По ним можно провести сравнение зональных различий в интенсивности полос поглощения в каждой из зон.

На рисунках 4 и 5 показаны наблюдаемые вариации центральных глубин и эквивалентных ширин полос поглощения в период с 2005 по 2015 годы. На каждом из графиков изображается временной ход для одной из полос поглощения в пяти широтных поясах. На этих графиках указываются также величины стандартного отклонения (дисперсии), определяемые при расчете средних значений.

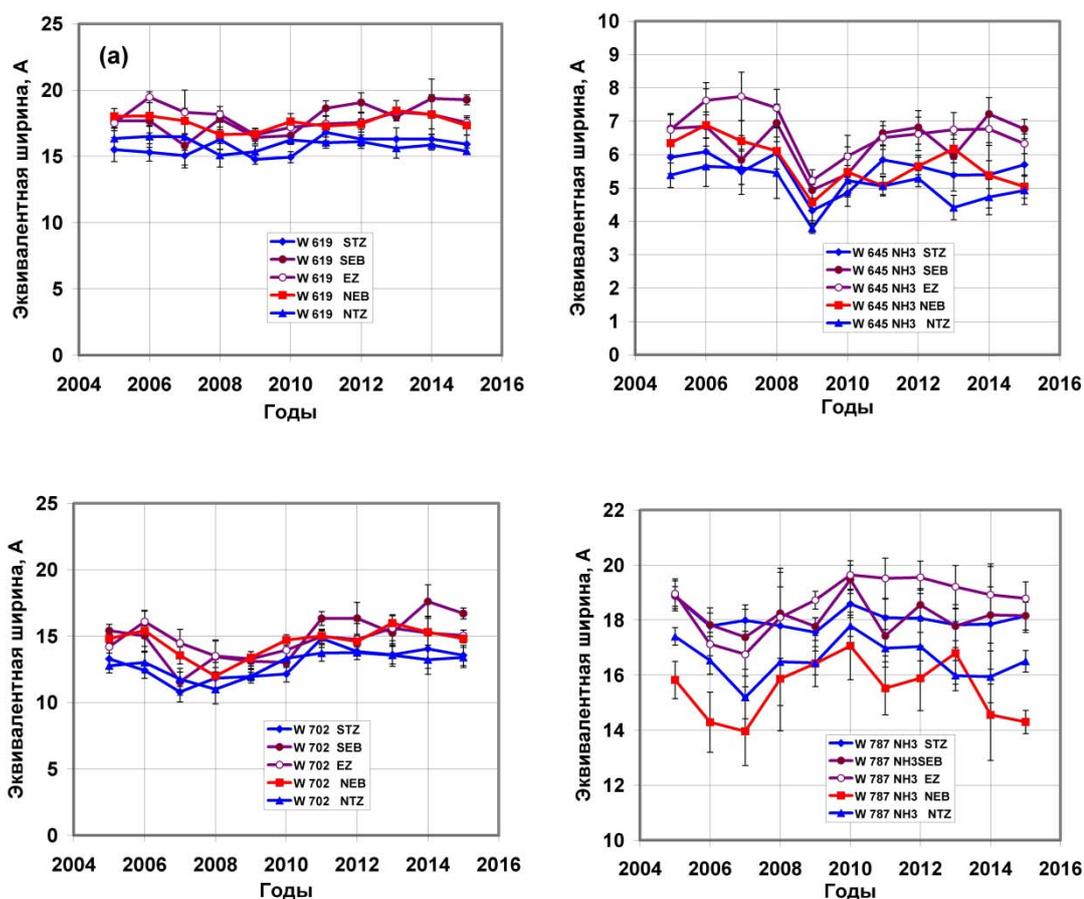


Рисунок 4 – Временные вариации эквивалентных ширин полос поглощения метана и аммиака в 5 широтных поясах Юпитера

Общий ход у полос поглощения метана CH_4 619 и 702 нм сходен у всех зон, обнаруживая небольшую депрессию в 2007-2009 годах. Аммиачное поглощение показывает некоторые особенности, причем не одинаковые у двух полос. Обращает на себя внимание понижение поглощения в полосе 645 нм в 2008-2010 годах, тогда как наименьшая интенсивность полосы 787 нм приходится на 2006-2008 годы. Систематические зональные различия в аммиачном поглощении достаточно заметны у полосы 787 нм, причем характерной особенностью является то, что эта полоса во все годы имеет хотя и переменные, но минимальные значения глубины и эквивалентной ширины в Северном экваториальном поясе (NEB) по сравнению с другими широтными поясами.

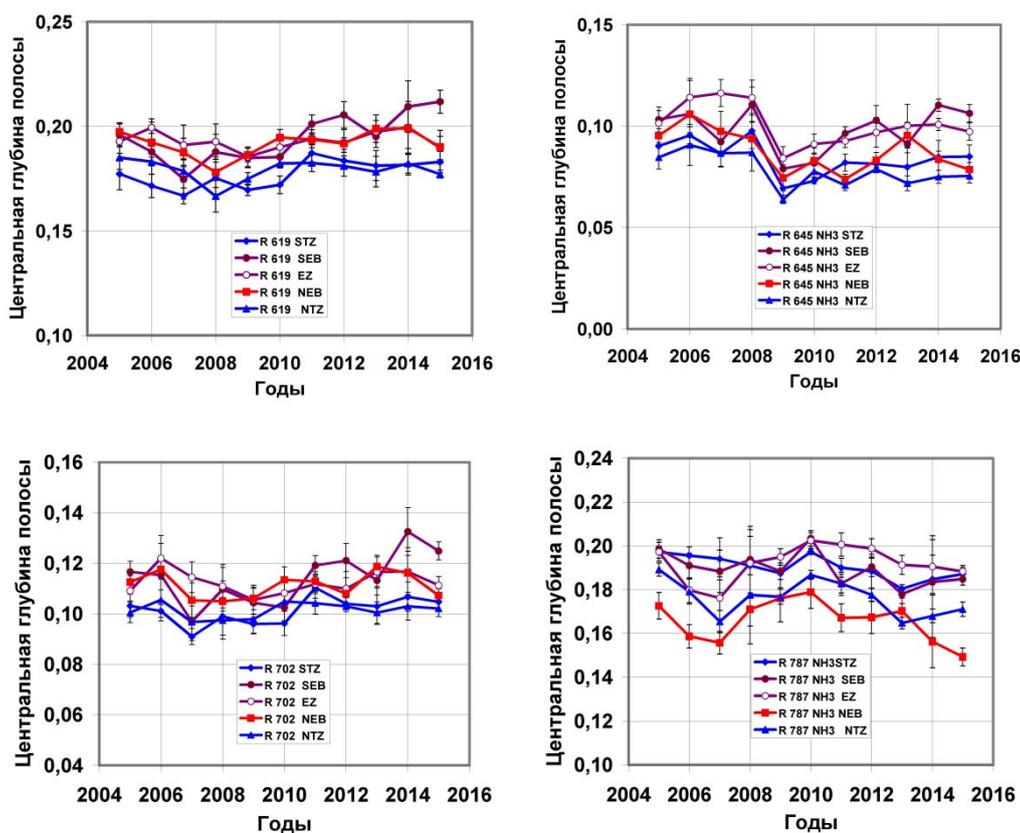


Рисунок 5 – Временные вариации центральных глубин полос поглощения метана и аммиака в 5 широтных поясах Юпитера

Обсуждение. На рисунке 6 показаны усредненные по всем годам и нормированные к EZ значения интенсивности обеих полос поглощения NH₃. Депрессия поглощения в полосе 787 нм в поясе NEB проявляется вполне отчетливо, и в среднем она достигает приблизительно 20 процентов.

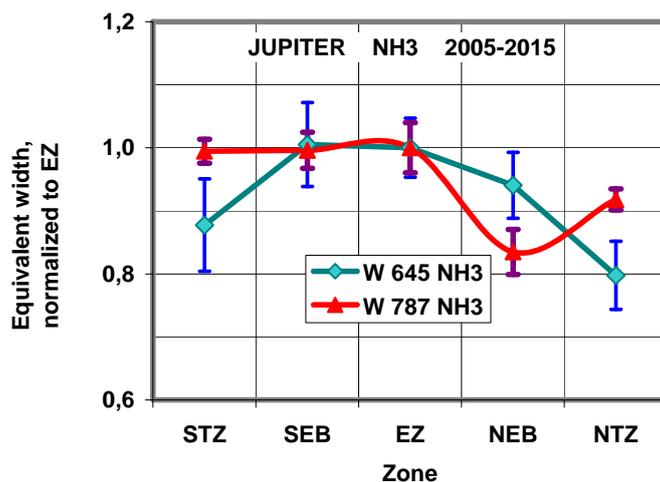


Рисунок 6 – Зональные различия усредненных по всем годам с нормировкой к EZ эквивалентных ширин полос поглощения NH₃ 645 и 787 нм

Мы пока не сделали полного анализа вариаций аммиачного поглощения по долготам, для чего требуется обработка и анализ значительно большего количества спектральных наблюдений. Такой материал

имеется и его обработка предстоит в дальнейшем. Действительно, по измерениям этих полос в разные годы широтные вариации их интенсивности обнаруживают явно переменный характер, как связанный с долготными различиями, так и носящий временную нестабильность.

В этом отношении особенно интересно сравнение с измерениями теплового инфракрасного и радиоизлучения Юпитера, выход которого из глубинных слоев атмосферы регулируется степенью непрозрачности вышележащих слоев в разных длинах волн, где находятся полосы поглощения метана и аммиака [11-13]. Как по данным о яркостных температурах в инфракрасном и радио диапазонах теплового излучения, так и по нашим наблюдениям, долготные вариации определенно существуют. Их изучение, особенно с позиций изменения содержания газообразного аммиака на разных широтах и долготам представляется весьма важным и интересным. Так что полученные результаты стимулируют постановку дальнейших более детальных исследований.

Заключение. Для нас наибольший интерес представляет то, как за эти годы наблюдений вело себя аммиачное поглощение. По ранним радионаблюдениям (например, [12]) было отмечено повышение яркостной температуры именно в поясе НЕВ. Это интерпретируется как результат пониженного содержания аммиака в тропосфере Юпитера, поскольку именно аммиачное поглощение определяет степень ее непрозрачности для выходящего теплового радиоизлучения. Недавние радионаблюдения Юпитера с высоким пространственным разрешением, выполненные с помощью системы из 25-метровых радиотелескопов (VLA –Very Large Array) [14] 65, только показали именно в этом поясе Юпитера повышенную яркостную температуру миллиметрового радиоизлучения на частотах 8-14 GHz. Составленные карты распределения интенсивности излучения по широтам и долготам обнаружили значительную переменность по долготе величин яркостных температур, в том числе и в НЕВ. Это означает, что существует и долготная переменность содержания аммиака. Данные радионаблюдений в диапазоне длин волн, где аэрозоль облаков уже практически не влияет на прохождение радиоволн, говорят именно об изменении концентрации газообразного аммиака на разных широтах и долготам Юпитера. Сравнение наших измерений широтного хода полосы поглощения 787 нм и относительной прозрачности атмосферы Юпитера по радиокarte на 8 GHz за 2014 год на близких долготам показало хорошее совпадение [15].

Пока остается не совсем понятным наблюдаемое систематическое различие в широтном ходе поглощения у двух полос аммиака NH_3 645 и 787 нм. Мы сравниваем полосы по интенсивности относятся к умеренным и слабым. Формирование молекулярных полос поглощения в облачной атмосфере Юпитера происходит довольно сложным путем, в основном при многократном рассеянии на облачных частицах, поэтому интенсивность полосы зависит не только от содержания газа в атмосфере, но и от характеристик облачной среды.

Данное исследование выполнено в рамках проекта по гранту МОН РК 0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Spinrad H., Trafton L. M. High dispersion spectra of the outer planets. I. Jupiter in the Visual and Red // *icAaus*, 1963, V.2, P. 19-28
- [2] Lutz B. L., Owen T.. The visual bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter // *Astrophysical Journal*, 1980, V. 235, P. 285-293
- [3] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter .I. // *Icarus*, 1980, V.42, P.102-110
- [4] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter .II. Temporal Variations // *Icarus*, 1983, V. 56, P.116-121
- [5] Giver L.P., Miller J.H., Boese R.W. A Laboratory Atlas of the 5 μm NH_3 Absorption Band at 6475 Å with Applications to Jupiter and Saturn // *Icarus*, 1975, V.5, P.34-48
- [6] Radak B. B., Lunine J. I., Hunten D. M., Atkinson G.H.. Line intensities in the 647.5nm ammonia band at Low temperatures determined by intracavity Laser spectroscopy // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1998, V. 1.53, P. 519-526
- [7] Bowles N., Calcutt S., Irwin P., Temple J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μm to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter // *Icarus*, 2008, V 196, P.612–624
- [8] Tejfel V.G. , Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange latitudinal variations of the ammonia absorption on Jupiter . *Bull.AAS*, 2005, V. 37, p.682
- [9] Tejfel V.G. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinjaeva N.V., Karimov A.A. Spatially resolved variation in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter // *Astron.and Astrophys.Transactions*, 2005, V . 24, P.359-63.,
- [10] Orton G.S., Martonchik J.V. The effect of ammonia ice on the outgoing thermal radiance from the atmosphere of Jupiter // *Icarus*, 1982, V.52, P.94-116
- [11] Showman A., de Pater, I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance. *Icarus*, 2005, Vol. 174, pp. 192-204
- [12] Fletcher L.N., Greathouse T.K., Orton G.S., Sinclair J.A., Giles R.S., Irwin P.G.J., Encenaz T... Mid-infrared mapping of Jupiter's temperatures, aerosol opacity and chemical distributions with IRTF/TEXES // *Icarus*, 2016, V. 278, P.128-161

- [13]. Fletcher L.N., Orton G.S., Rogers J.H., Giles R.S., Payne A.V., Irwin P.G.J., Vedovato M. Moist convection and the 2010–2011 revival of Jupiter's South Equatorial Belt // *Icarus* 2017, V.286, P. 94–117
- [14] de Pater I. Sault, R. J., Butler B, DeBoer D., Wong M.H. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging // *Science*, 2016, V. 352, P.1290-1294
- [15]. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Lysenko P.G., Kirienko G.A., Bondarenko N.N., Kharitonova G.A., Filippov V.A. Jupiter: new confirmations of the ammonia absorption depression at low northern latitudes // 7-th Moscow Solar System Symposium, 2016, 2 PP.

REFERENCES

- [1] Spinrad H., Trafton L. M. High dispersion spectra of the outer planets. I. Jupiter in the Visual and Red. *Icarus*, 1963, V.2, P. 19-28.
- [2] Lutz B. L., Owen T. The visual bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *Astrophysical Journal*, 1980, V. 235, P. 285-293.
- [3] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter I. *Icarus*, 1980, V.42, P.102-110.
- [4] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter .II. Temporal Variations. *Icarus*, 1983, V. 56, P.116-121.
- [5] Giver L.P., Miller J.H., Boese R.W. A Laboratory Atlas of the 5 μ l NH₃ Absorption Band at 6475 A with Applications to Jupiter and Saturn. *Icarus*, 1975, V.5, P.34-48.
- [6] Radak B. B., Lunine J. I., Hunten D. M., Atkinson G.H.. Line intensities in the 647.5nm ammonia band at Low temperatures determined by intracavity Laser spectroscopy. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1998, V. 153, P. 519-526
- [7]. Bowles N., Calcutt S., Irwin P., Temple J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μ m to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter. *Icarus*, 2008, V 196, P.612–624
- [8]. Tejfel V.G., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange latitudinal variations of the ammonia absorption on Jupiter. *Bull.AAS*, 2005, V. 37, p.682
- [9] Tejfel V.G. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinjaeva N.V., Karimov A.A. Spatially resolved variation in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter. *Astron.and Astrophys.Transactions*, 2005, V. 24, P.359-63.
- [10] Orton G.S., Martonchik J.V. The effect of ammonia ice on the outgoing thermal radiance from the atmosphere of Jupiter. *Icarus*, 1982, V.52, P. 94-116.
- [11] Showman A., de Pater, I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance. *Icarus*, 2005, Vol. 174, pp. 192-204
- [12]. Fletcher L.N., Greathouse T.K., Orton G.S., Sinclair J.A., Giles R.S., Irwin P.G.J., Encenaz T. Mid-infrared mapping of Jupiter's temperatures, aerosol opacity and chemical distributions with IRTF/TEXES. *Icarus*, 2016, V. 278, P.128-161
- [13]. Fletcher L.N., Orton G.S., Rogers J.H., Giles R.S., Payne A.V., Irwin P.G.J., Vedovato M. Moist convection and the 2010–2011 revival of Jupiter's South Equatorial Belt. *Icarus* 2017, V.286, P. 94–117.
- [14] de Pater I. Sault, R. J., Butler B, DeBoer D., Wong M.H. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging. *Science*, 2016, V. 352, P.1290-1294.
- [15]. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Lysenko P.G., Kirienko G.A., Bondarenko N.N., Kharitonova G.A., Filippov V.A. Jupiter: new confirmations of the ammonia absorption depression at low northern latitudes 7-th Moscow Solar System Symposium, 2016, 2 PP.

ӘОЖ: 523.45

В.Г. Тейфель, А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.А. Филиппов, Г.А. Харитонова, А.П. Хоженец

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**ЮПИТЕР: КӨПЖЫЛДЫҚ БАҚЫЛАУЛАР БОЙЫНША БЕС НЕГІЗГІ ЕНДІК БЕЛДІКТЕРІНДЕ
МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЖҰТУДЫҢ ВАРИАЦИЯСЫ**

Аннотация. Біз 2005 жылдан 2015 жылдарда Күн маңында Юпитердің айналуының толық кезеңі аралығында Юпитердің (STZ, SEB, EZ, NEB и NTZ) бес ендік белдігінде NH₃ 645 және 787 нм жұту жолақтарының қарқындылығын, аймақтардың эквиваленттік ендіктерінде вариацияларды өлшедік. NEB NH₃ 787 нм жолақтарының үнемі төмендеуі дәлелденді. 645 және 787 нм аммиак жолақтары арасында ендік және уақыттық вариацияларында да жүйелік айырмашылықтар бар. Бұл жұту жолақтарының қарқындылығы екі фактормен келісілген: газ түріндегі аммиакты құрайтын вариациялармен, бұл миллиметрлік толқындар радиодиапазонында Юпитердің жылу сәулелену бақылауын көрсетеді және аммиактық бұлттар ішінде шашыраудың бірнеше процесі.

Тірек сөздер: Юпитер, атмосфера, метан, аммиак, жұту жолақтары.

V.D. Vdovichenko*, G.A. Kirienko, P.G. Lysenko

ДТОО «V.G. Fessenkov Astrophysical Institute », Almaty, Kazakhstan

* – vdv1942@mail.ru

THE VARIATIONS OF AMMONIA AND METHANE ABSORPTION ALONG THE JOVIAN EQUATOR AND CENTRAL MERIDIAN IN 2016. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EIGHT ABSORPTION BANDS

Abstract. A large array of new observational data obtained in February-April of 2016, allowed to carry out the further study of the distribution of the ammonia (NH₃) and methane (CH₄) absorption along individual belts and zones and also along the central meridian (CM) of Jupiter in the wavelength range of 600-950 nm. In order to improve processing methods, “The color absorption map on the disk of Jupiter” program (in “Delphi”) was written. It provides information about 83 selected parameters of the absorption bands. The processing results allowed to make the atlases of latitudinal variations of the measured parameters. Primary characteristics of the investigated absorption bands by driving across the planetary disc vary between 30% and 40% that is much larger than the measurement errors. Variations of absorption intensities of all the bands have a zonal character. The properties of latitude variations of the CH₄ and NH₃ absorption band of various intensities were studied when moving along the CM. From these results the appropriate conclusions about an effect of the cloud layer and gaseous atmosphere above it on the absorption properties of the investigated gases were made. The conclusion about an absorption course by driving across the planetary disc (when the CH₄ bands are of moderate and strong intensity (725, 861, 889 nm)) to fit a two-layer model consisting of a scatter-absorbing homogeneous cloud layer and a gaseous atmosphere above it, was confirmed. For the NH₃ part, the measurements of its λ 645 and 790 nm absorption bands showed them to form in the deeper layers and carry information about the vertical distribution, density and spread of the second and third NH₃ cloud layers and its compounds’ ones.

Key words: Jupiter, methane, ammonia, absorption bands.

УДК 523.45

В.Д. Вдовиченко*, Г.А. Кириенко, П.Г. Лысенко

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

ВАРИАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА И МЕТАНА ВДОЛЬ ЭКВАТОРА И ЦЕНТРАЛЬНОГО МЕРИДИАНА ЮПИТЕРА В 2016 ГОДУ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ 8 ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ

Аннотация. Большой массив нового наблюдательного материала, полученного в феврале-апреле 2016 года, позволил провести дальнейшее исследование распределения поглощения аммиака (NH₃) и метана (CH₄) вдоль отдельных облачных слоев и вдоль центрального меридиана (ЦМ) Юпитера в интервале длин волн 600-950 нм. В целях усовершенствования методов обработки, на языке Delphi была написана программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера», которая выдает информацию о 83 выбранных параметрах полос. Результаты обработки позволили составить атласы широтных вариаций измеренных параметров. Основные характеристики поглощения исследуемых полос при движении по диску планеты меняются в пределах 30-40%, что намного превышает ошибки измерений. Общим для всех полос является зональный характер их поведения. Широтные особенности поведения полос поглощения CH₄ и NH₃ различной интенсивности исследовались при движении вдоль ЦМ. Из полученных результатов сделаны соответствующие выводы о влиянии облачного слоя и надоблачной атмосферы на поглощающие свойства исследуемых газов. Подтверждается вывод о том, что в полосах CH₄ средней и сильной интенсивности (725, 861, 889 нм) ход поглощения по диску планеты соответствует двухслойной модели, состоящей из рас-

сеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Что касается NH_3 , то из измерений его полос поглощения $\lambda 645$ и 790 нм следует, что они формируются в более глубоких слоях, т. е. несут информацию о вертикальном распределении плотности и протяженности второго и третьего ярусов облаков из NH_3 и его соединений.

Ключевые слова: Юпитер, метан, аммиак, полосы поглощения.

Введение.

Как известно, спектральный материал, получаемый астрономами-профессионалами с помощью регулярных наземных наблюдений Юпитера, весьма ценен. Такие наблюдения (а именно - мониторинг) позволяют проводить не только долгосрочное отслеживание сезонных (или относительно краткосрочных крупномасштабных) изменений на планете, но и служат своего рода поддержкой космических методов исследования планеты.

Из числа малых примесей в атмосфере Юпитера на первом месте по содержанию стоят метан (CH_4) и аммиак (NH_3). Метан не конденсируется в атмосфере Юпитера, и его содержание почти не меняется от места к месту. В отличие от него, на больших высотах газообразный аммиак конденсируется, образуя облака. Можно упомянуть, например, один из случаев наблюдений Юпитера в ИК области спектра, когда в районе SEB (Южный экваториальный пояс) были обнаружены ледяные аммиачные облака [1]. Они были обнаружены космическим аппаратом Galileo на широтах формирования т. н. plumes, относящихся к SEB, в местах расположения которых, как показывают исследования, аммиак способен конденсироваться (на высотах, близких к стратосфере), и вероятность возникновения облаков там очень велика. Поэтому спектрально обнаруженные Galileo облачные образования были идентифицированы как облака из свежего аммиачного льда. Уровень их формирования оценен как ~ 800 мбар, а радиус ледяных частиц - ~ 10 мкм.

Вследствие конденсации не только содержание NH_3 сильно меняется от глубины и широты места наблюдения, но в силу этой его особенности он (NH_3) еще и существенно влияет на динамические процессы в атмосфере Юпитера, а также на тепловое и метеорологическое состояние планеты.

В спектре Юпитера в области длин волн 500 - 1000 нм присутствуют полосы поглощения газообразного NH_3 разной интенсивности. Несмотря на то, что большинство из них полностью или частично блендируются полосами поглощения метана, и их «выделение» требует дополнительных методологических приемов, проблемы, связанные со спектральными исследованиями NH_3 в целях получения информации о вертикальном распределении аэрозольной непрозрачности, температуры, состава, динамических свойствах атмосферы Юпитера, и пр., постоянно находятся в поле зрения ученых, тем более, что пока еще однозначного решения этих проблем нет [2-7].

Полосы поглощения CH_4 в ближней ИК области спектра (например, CH_4 λ 619 нм, 727 нм, 889 нм) широко используются для зондирования атмосферы Юпитера. А именно - в зависимости от их интенсивности, они проникают на различную глубину, что позволяет из их изучения извлекать информацию о вертикальной структуре атмосферы на соответствующих уровнях. Например, по поглощению в полосе λ 889 нм можно судить о региональных вариациях высоты верхней части надоблачной дымки. Более мелкие полосы, как предполагается, зондируют глубины ~ 2 - 15 бар, т. е. несут информацию об этих слоях. Здесь следует упомянуть, например, о том, что в процессе обсуждения причин «обесцвечивания» SEB в период 2009 - 2010 годов, именно наблюдения полосы CH_4 λ $0,89$ мкм в 2010 г. [8] указали на то, что изменения в SEB, скорее всего, связаны с изменениями в конвективной зоне ($p > 300$ мбар), а не в районе верхней тропосферной дымки (100 - 200 мбар), которая, по наблюдениям CH_4 λ 889 мкм, не претерпела никаких изменений.

Соответствующие исследования отношений полос метана и аммиака (сравнимых по интенсивности и по расположению их в спектре) могут быть использованы и для определения относительных содержаний этих газов на планете. В работе [9], в результате подобных исследований, было показано, что аммиак в атмосфере Юпитера имеет неоднородное распределение. Наблюдаемые вариации отношения смеси метана к аммиаку (CH_4/NH_3) интерпретировались авторами как очевидное доказательство зависимости содержания газообразного аммиака от высоты в атмосфере, а именно: газовая фаза аммиака уменьшается с высотой.

Подводя итог сказанному, еще раз подчеркнем, что, несмотря на многочисленные исследования абсорбционных полос CH_4 и NH_3 , интерес к ним не ослабевает, поскольку их изучение дает исследователям огромную возможность проникнуть внутрь атмосферы еще далеко не изученной планеты и получить информацию о явлениях, в ней происходящих. Этим и мотивируются задачи, поставленные в предлагаемой работе.

Результаты исследования

Для комплексного представления распределения поглощения аммиака и метана вдоль отдельных облачных слоев и вдоль центрального меридиана (ЦМ) Юпитера в интервале длин волн 600-950 нм на языке Delphi была написана программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера».

С помощью данной программы обработан большой массив нового наблюдательного материала, полученного в феврале-апреле 2016 года. Наблюдения, в частности, проводились в момент противостояния Юпитера 3-5 марта 2016 года с помощью дифракционного спектрографа SGS с ПЗС-камерой ST-7XE, установленного на 0.6-м телескопе РЦ-600.

Для всех исследуемых полос поглощения определялись их профили, меридиональные или зональные распределения абсолютных и нормированных к центру диска остаточных интенсивностей в центрах полос, центральных глубин, эквивалентных ширин, логарифмов остаточных интенсивностей и корреляционных связей между определяемыми величинами.

В итоге, при обработке каждой спектрограммы программа выдает информацию по всем данным в количестве 83 параметров, которые выводятся в графическом и текстовом виде в отдельные файлы.

Были исследованы распределения яркости вдоль пяти основных облачных поясов и зон на Юпитере (EZ, SEB, NEB, STrZ, NTrZ), вдоль ЦМ планеты и вдоль STrZ в момент прохождения по нему Большого Красного Пятна. Для 8 полос поглощения метана и аммиака были определены вариации по диску центральных глубин (R), эквивалентных ширин (W), остаточных интенсивностей (B_{ost}) [10-12].

Ввиду большого перепада в интенсивностях исследуемых абсорбционных полос трудно сравнивать между собой вариации как их глубин, так и эквивалентных ширин. Поэтому эти величины представлялись как в абсолютном виде, так и в нормированном, когда их значения относились к соответствующему значению в центре диска.

Остаточные интенсивности центров полос поглощения B_0 , можно представить в виде

$$B_0 = I_0 / I_c \sim \exp(-\tau^*)$$

где I_0 – интенсивность полосы в ее центре, I_c – ее значение в непрерывном спектре, τ^* можно рассматривать как некую функцию длины волны, которая в рамках выбранной модели представляет величину, пропорциональную усредненному количеству молекул поглощающего газа в толще атмосферы исследуемого участка планеты.

Логарифмируя остаточные интенсивности и строя их распределение по диску планеты, мы получим вариации хода τ_M^* для метана или τ_A^* для аммиака в разных полосах поглощения.

$$\tau^* \sim (\ln B_{\text{ost}} / \ln B_{\text{ost}0}),$$

где B_{ost} – остаточная интенсивность исследуемой полосы поглощения вдоль облачного слоя или центрального меридиана, $B_{\text{ost}0}$ – ее значение в центре диска Юпитера,

Подобная методика, как мы считаем, дает более наглядную в сравнительном плане информацию о вариациях содержания поглощающего газа по диску планеты во всех исследуемых полосах поглощения (рисунок 1).

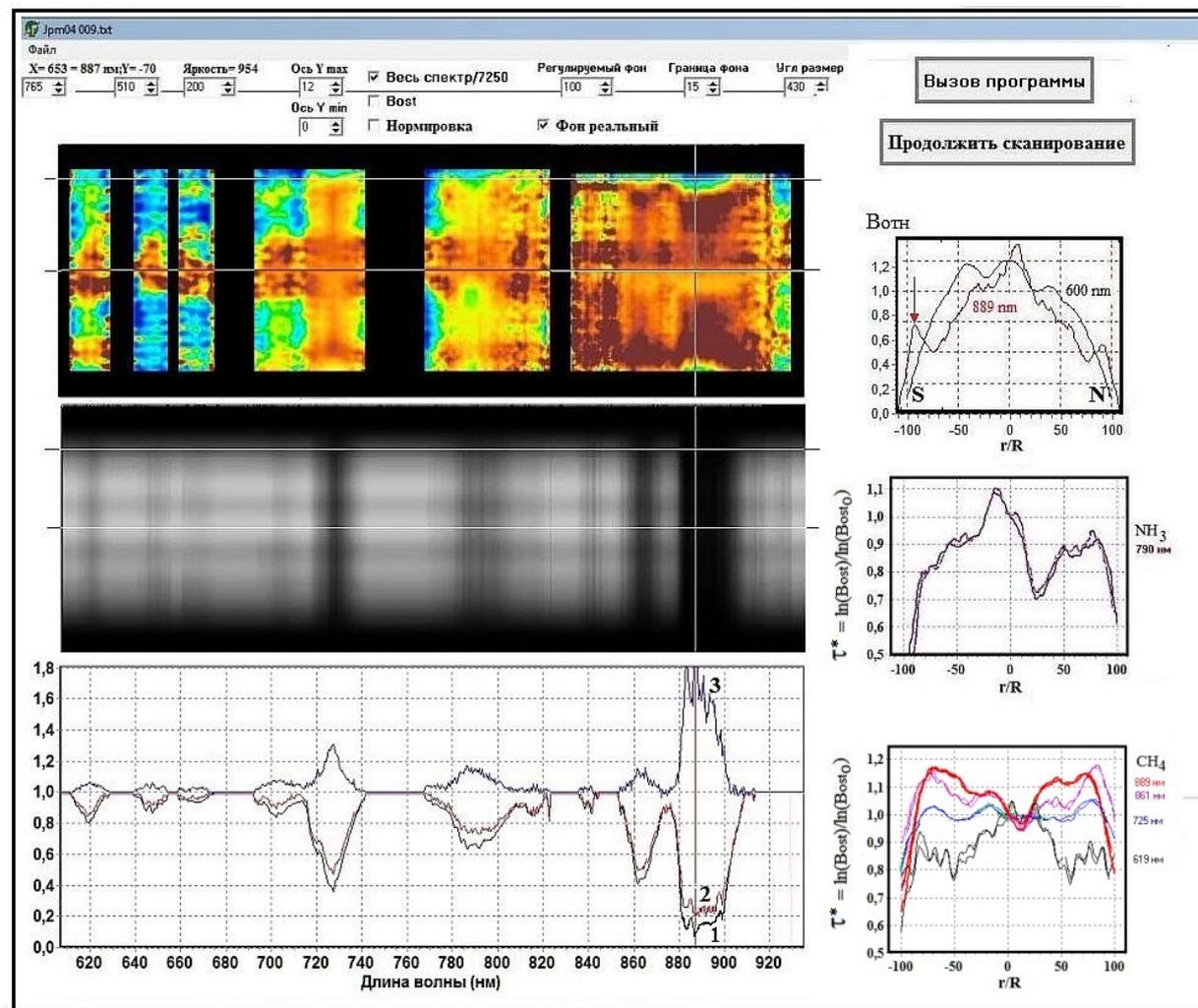


Рисунок 1 – Скриншот программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» вдоль ЦМ планеты в 2016 году

На рисунке 1 слева сверху – вариации интенсивностей полос поглощения метана и аммиака вдоль ЦМ, представленные в цветовой гамме. Слева посередине – исходная спектрограмма ЦМ Юпитера в области 600-950 нм. Слева внизу – профили полос поглощения метана и аммиака:

- 1 – центральной части диска Юпитера,
- 2 – спектр Южной полярной зоны,
- 3 – отношение спектра Южной полярной зоны к спектру центра диска.

Справа сверху – меридиональные профили яркости в непрерывном спектре (630 нм) и в центре сильной полосы поглощения метана 889 нм.

Справа посередине – вариации τ^* вдоль ЦМ в полосе аммиака 790 нм; справа внизу – то же для полос метана 725, 800, 861, и 889 нм.

На рисунке 2 представлены сводные графики вариации интенсивности поглощения аммиака и метана вдоль ЦМ Юпитера в 2016 году в 7 соответствующих полосах поглощения, выраженные в τ^* .

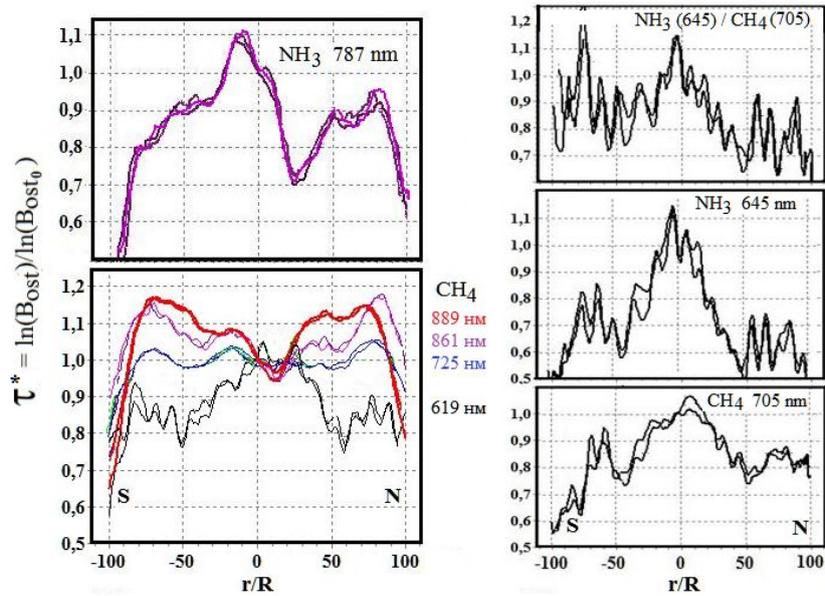


Рисунок 2 – Сравнение хода интенсивности поглощения метана и аммиака вдоль ЦМ Юпитера в 7 полосах поглощения

Согласно рисункам 1 и 2, для сильных и умеренных полос поглощения метана, как и в прошлые годы, характерным является почти симметричное усиление поглощения в умеренных широтах и резкий спад вблизи полюсов. Особенно хорошо это прослеживается в Южной полярной области (рис 3). На рисунке 3 представлены: а) – фрагмент спектрограммы в области спектра 830-950 нм, б) – меридиональный разрез в непрерывном спектре 830 нм и в центре полосы поглощения метана 884 нм, с) – профили полосы поглощения CH_4 в центре диска (1), в полярной области (2) и их отношение (3)=(2)/(1).

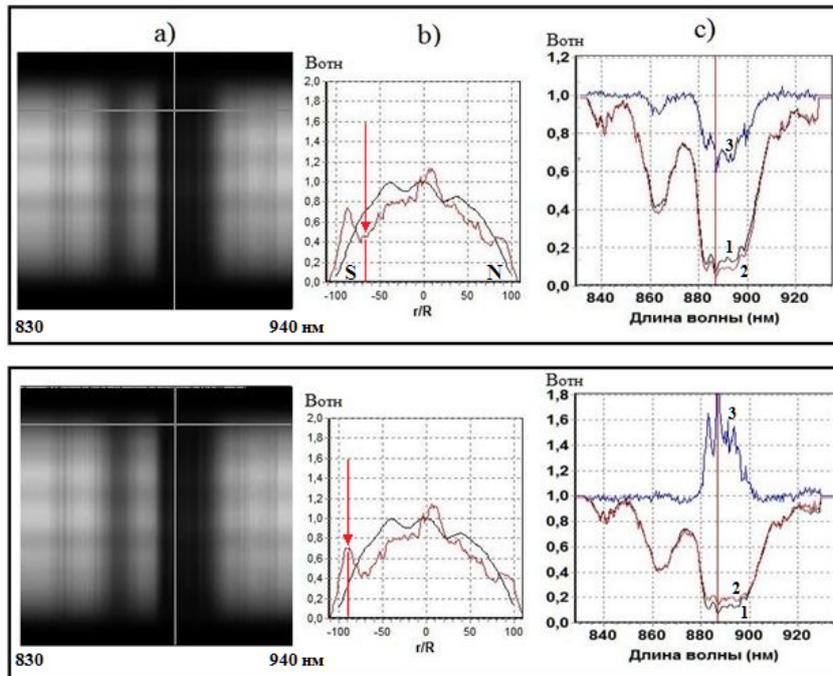


Рисунок 3 – Изменение интенсивности поглощения в полосе метана 889 нм вблизи Южной полярной области при изменении относительного радиуса r/R вдоль центрального меридиана от 0.7 (вверху) до 0.9 (внизу).

Для всех полос поглощения общим является зональный характер поглощения и смещение абсорбционного минимума относительно центра диска в сторону границы между светлой EZ и темным Северным экваториальным поясом (NEB). Особенно хорошо глубокий минимум в области NEB и резкий спад поглощения в полярных областях проявляется у полосы аммиака 790 нм.

Надо заметить, что NEB является одним из наиболее активных поясов планеты. Особенность, отмеченная нами выше, возможно, этим и объясняется. Действительно, NEB характеризуется наличием антициклонов («белые овалы») и циклонов («коричневые овалы»), причём, антициклоны обычно образуются севернее. Как и SEB, NEB иногда «пропадает» и «возрождается». Это происходит приблизительно раз в четверть века. В светлой EZ, вблизи границы с NEB, исследователи часто замечают голубые пятна, от которых нередко отходят темные диагональные полосы, носящие названия фестонов. Они выглядят самыми яркими в сухих областях планеты и особенно хорошо видны в ИК области спектра, поскольку позволяют уловить излучение, поднимающееся из очень глубоких слоёв атмосферы Юпитера (в 1995 году космический аппарат Galileo отправил зонд в одно из таких пятен). Иногда они на определенное время исчезают, как это случилось в 2010-2011 годах. Затем, в июне 2012 года, они появились снова.

Кроме того, переходная область между светлой EZ и NEB считается самой неустойчивой в динамическом отношении.

Вертикальная структура облаков, их оптическая плотность и положение верхней границы облачного покрова на разных широтах планеты оказывают влияние на поведение полос поглощения метана (различной интенсивности) вдоль ЦМ (рисунок 2).

Но если говорить об аммиаке, то интенсивность его абсорбционных полос зависит от локального содержания газообразного аммиака на разных широтах планеты. Поглощение определяется радиационно-конвективным режимом атмосферы и равновесием между газовой и сконденсированной фазами, но поведение поглощения в зависимости от различных факторов и его пространственно-временные вариации изучены еще очень слабо.

Обращает на себя внимание сходство поведения самых мелких полос поглощения метана 705 нм и аммиака 645 нм (рисунок 2 справа), формирующихся на большой глубине порядка 10-20 бар и их кардинальное отличие от поведения более сильных полос поглощения.

Исходя из сказанного выше, из спектров планеты можно получить информацию о содержании поглощающего газа, в частности, – аммиака. Действительно, спектры Юпитера, полученные с высоким пространственным разрешением с помощью Voyager IRIS, позволили оценить содержание аммиака на уровне облаков (680 мб) с точностью до 6% и определить его среднезональные значения. Конденсация аммиака в верхней тропосфере и, как следствие, резкое уменьшение его количества в газовой фазе, влияет на распределение аммиака в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Результаты обработки большого количества спектрограмм, представленные в графическом виде, послужили основой составления атласов широтных вариаций этих параметров.

Фрагменты атласа для 8 полос поглощения представлены на рисунках 4-11. Слева – вдоль EZ, справа – вдоль ЦМ Юпитера. На каждом рисунке показаны профили полос поглощения метана или аммиака в соответствии с указанным интервалом длин волн, справа от них – по оси ординат - вариации центральных глубин R , эквивалентных ширин W , остаточных интенсивностей B_{ost} и логарифмы остаточных интенсивностей $\ln(B_{ost})$ в зависимости от положения на диске (r/R – относительный радиус).

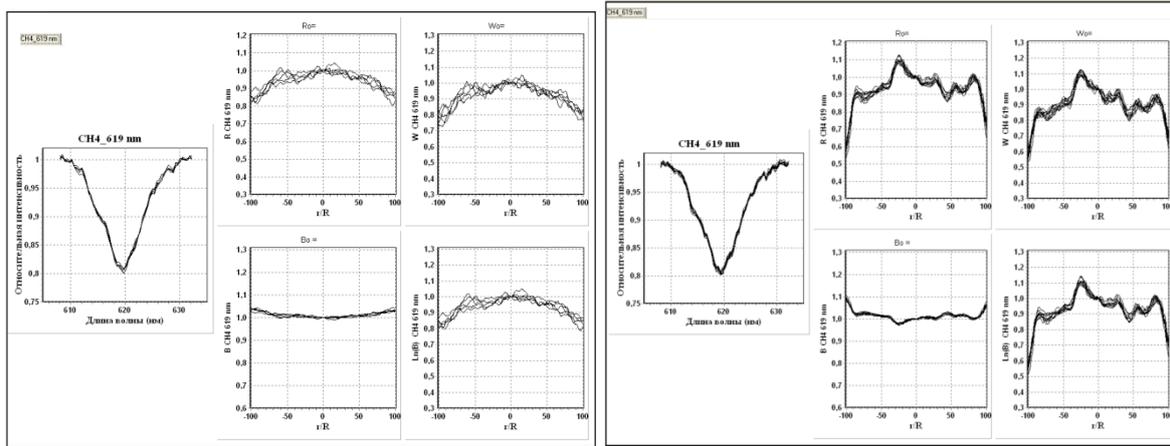


Рисунок 4– Вариации поглощения в полосе метана 619 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

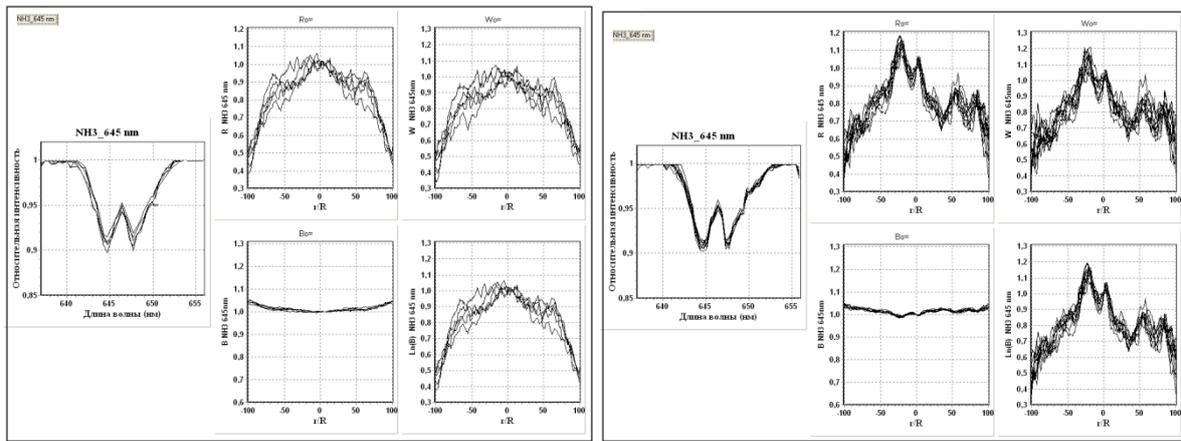


Рисунок 5 – Вариации поглощения в полосе аммиака 645 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

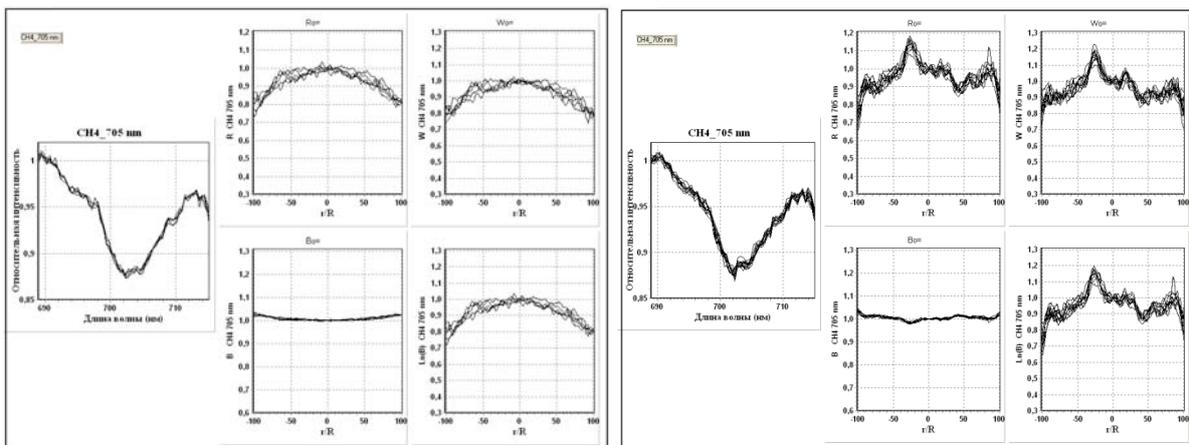


Рисунок 6 – Вариации поглощения в полосе метана 705 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

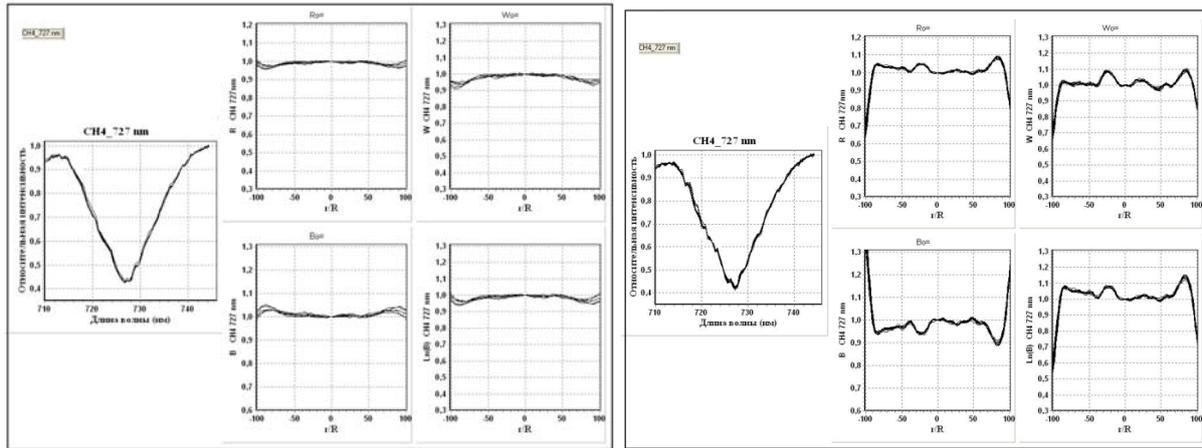


Рисунок 7 – Вариации поглощения в полосе метана 727 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

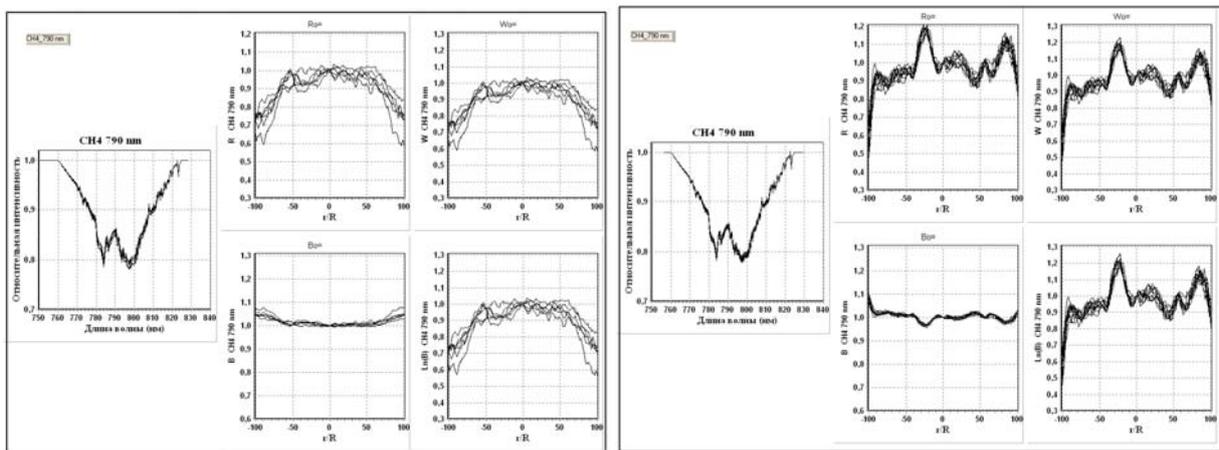


Рисунок 8 – Вариации поглощения в полосе метана 800 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

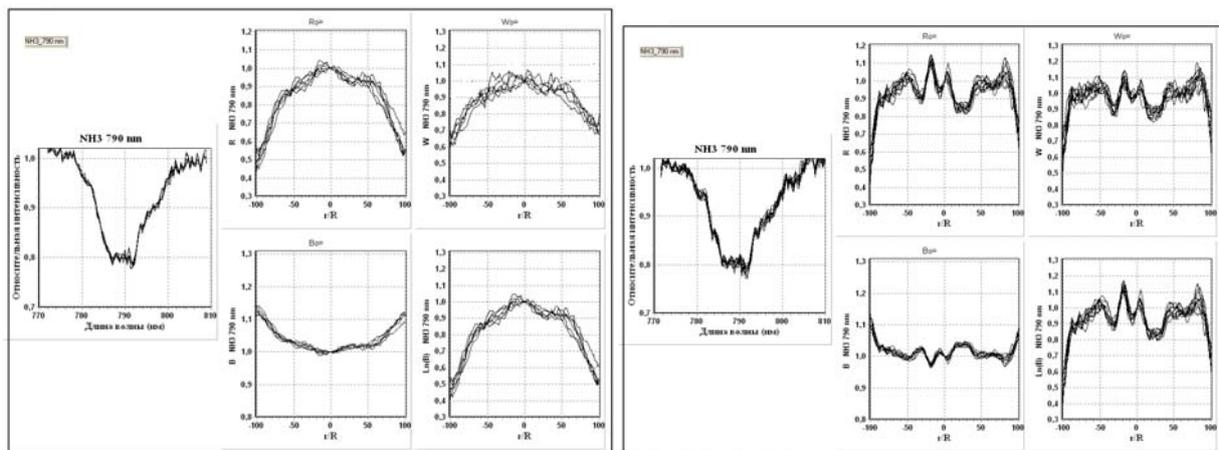


Рисунок 9 – Вариации поглощения в полосе аммиака 790 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

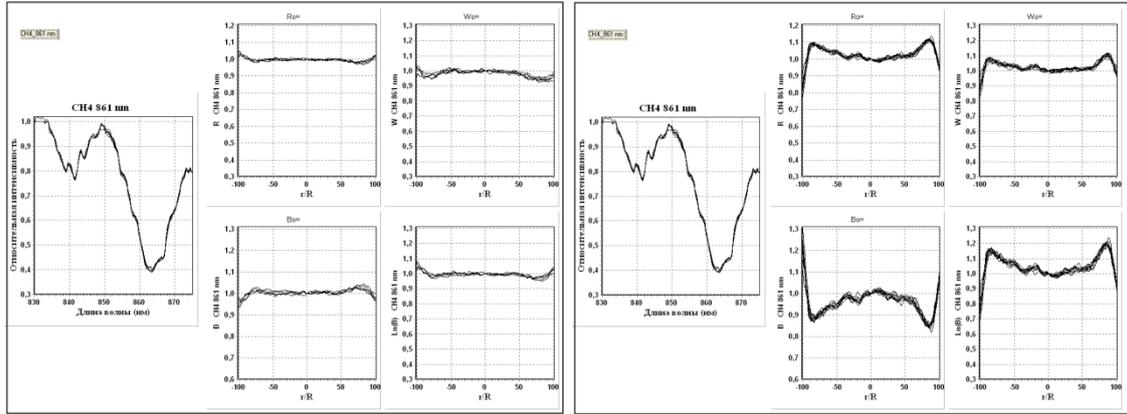


Рисунок 10 – Вариации поглощения в полосе метана 861 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

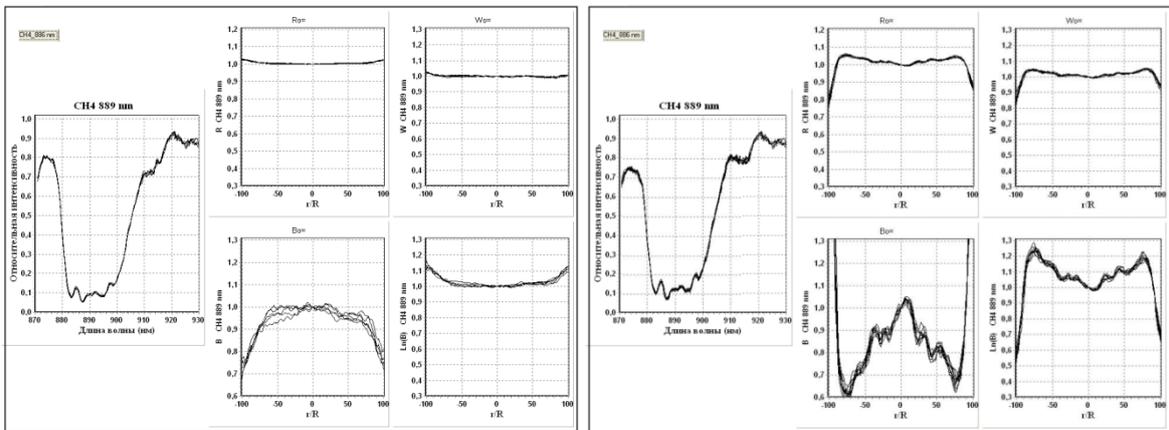


Рисунок 11 – Вариации поглощения в полосе метана 886 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

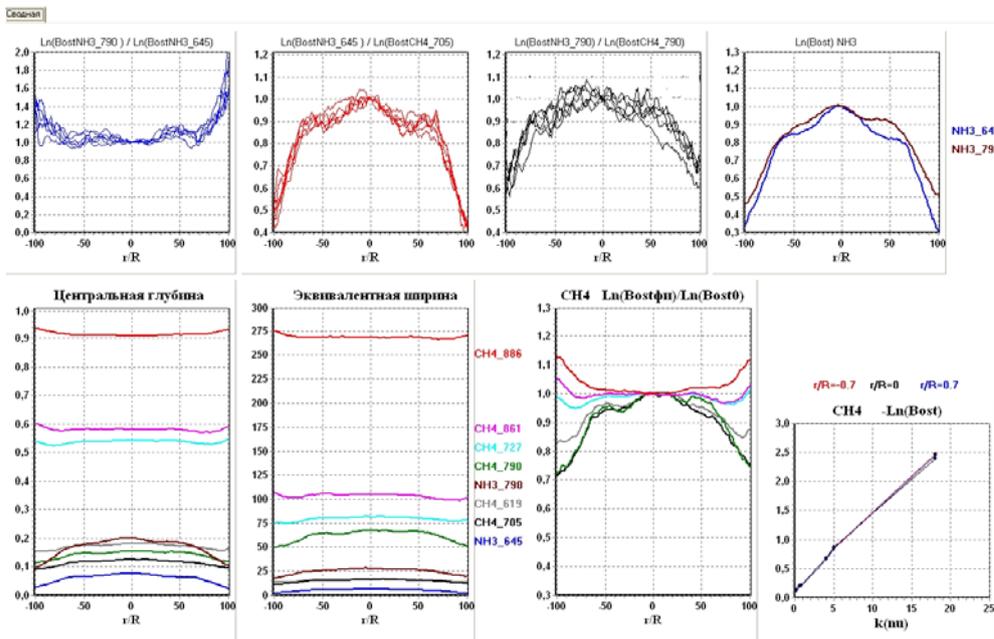


Рисунок 12 – Сводные данные вариаций поглощения вдоль экватора Юпитера в 7 полосах поглощения аммиака и метана различной интенсивности

На сводных графиках программа выводит в графическом виде абсолютные значения центральных глубин и эквивалентных ширин для всех исследуемых 8 полос поглощения метана и аммиака, относительное распределение по диску отношения аммиака к метану и зависимость логарифма остаточной интенсивности $\tau^* = \text{Ln}(\text{Bost})$ от лабораторного коэффициента поглощения k_0 (рисунки 12-13).

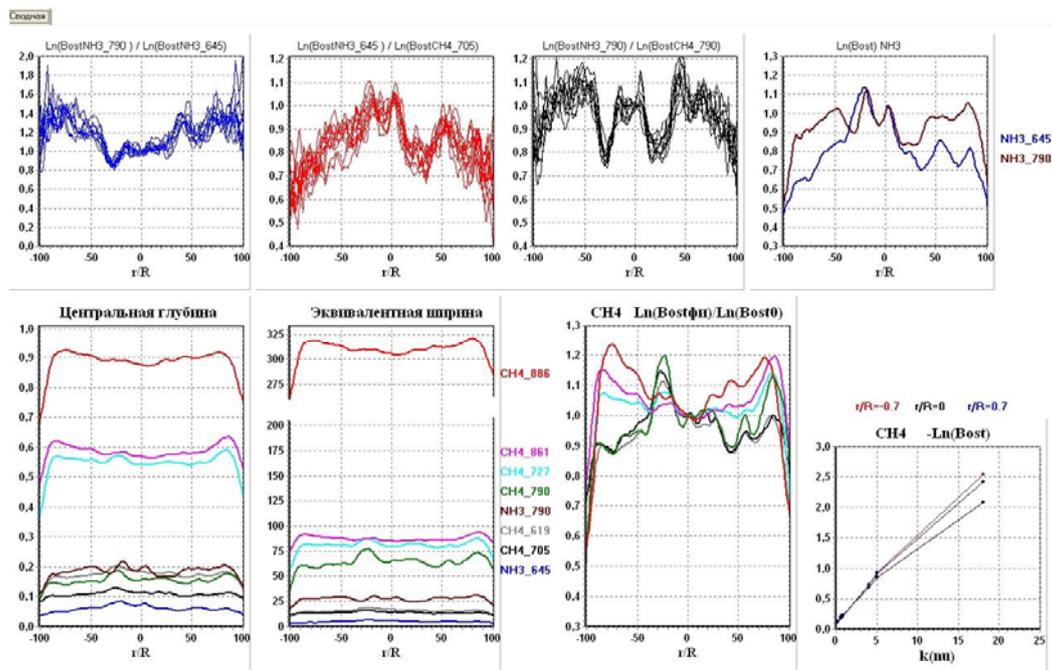


Рисунок 13 – Сводные данные вариаций поглощения вдоль ЦМ Юпитера в 7 полосах поглощения аммиака и метана различной интенсивности

Значения центральных глубин R для разных полос поглощения достигают следующих величин: CH_4 705 нм – 0.12, 790 нм – 0.16, 619 нм – 0.18, 727 нм – 0.55, 861 нм – 0.59, 886 нм – 0.91, NH_3 645 нм – 0.08, 790 нм – 0.21.

Значения эквивалентных ширин W для разных полос поглощения достигают следующих величин: NH_3 645 нм – 8А, 790 нм – 26А, CH_4 705 нм – 18А, 790 нм – 26А, 619 нм – 18А, 727 нм – 85А, 861 нм – 105А, 886 нм – 275-325А,

Вариации центральных глубин полос R и эквивалентных ширин W по диску планеты достигают 30-40%, намного превышая ошибки измерений.

В полосах метана средней и сильной интенсивности (725, 861, 889 нм) ход поглощения по диску Юпитера качественно хорошо укладывается в рамки двухслойной модели, состоящей из рассеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Измерения в этих полосах указывают на усиление поглощения к краям диска за счет ощутимого влияния надоблачной атмосферы, эквивалентный путь через которую к краю диска увеличивается за счет косинус-эффекта. В умеренных полосах метана 790 и 619 нм роль надоблачной атмосферы практически неощутима, проявляясь только у самого лимба, и поглощение, в основном, обусловлено рассеивающе-поглощающими свойствами аммиачного облачного слоя.

Что касается хода поглощения аммиака вдоль характерных зон и поясов Юпитера в течение ряда лет, то их анализ по нашим спектрограммам показывает его сильное, довольно монотонное, уменьшение к краям диска, вплоть до самого лимба, что, скорее всего, целиком определяется рассеивающими свойствами аэрозоля. Как и следовало ожидать, роль надоблачной атмосферы в абсорбционных полосах аммиака практически сводится к нулю, вследствие его вымерзания на этих высотах. Наблюдения вблизи противостояния, когда режимы освещения и наблюдения симметричны относительно центра диска, показывают небольшую восточно-западную асимметрию хода поглощения аммиака, что, по-видимому, связано с вертикальной неоднородностью

слоистообразной облачности в атмосфере Юпитера или различиями в плотности облачных структур на утреннем и вечернем лимбах.

В отличие от метана, ход поглощения в полосах аммиака NH₃ 645 и 790 нм нельзя описать просто рассеивающе-поглощающим слоем с параметром вытянутости индикатрисы $0 \leq g \leq 0.75$. Сильный спад к краям указывает на то, что эти полосы формируются в более глубоких слоях, предоставляя информацию о вертикальном расположении, плотности и протяженности второго и третьего ярусов облаков из аммиака и его соединений. Не исключено, что между ними расположена разреженная диффузная дымка со сферической индикатрисой рассеяния или протяженная чисто газовая прослойка, рассеивающая по закону Релея.

По распределению яркости в EZ в непрерывном спектре (830 нм) и в полосе поглощения метана 889 нм определены параметры рассеивающе-поглощающего слоя в этой области:

ρ_0 – нормальный коэффициент яркости центра диска Юпитера; k – миннаертовский коэффициент потемнения к краю; g – параметр вытянутости индикатрисы Хенли-Гринштейна; ω – вероятность выживания кванта; τ – толщина надоблачной атмосферы.

Таблица 1 - Параметры облачного слоя экваториальной зоны

	ρ_0	k	g	ω	τ
830 нм	0.75	1.06	0.50	0.995	
889 нм	0.075	1.07	0.50	0.720	0.16
435 нм	0.56	1.00	0.45	0.978	

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Baines K. H., Carlson R. W., Kamp L. W. *Icarus* 159 (2002), 74–94.
- [2] Fletcher L.N., Orton G.S., Yanamandra-Fisher P., et al. Retrievals of atmospheric variables on the gas giants from ground-based mid-infrared imaging // *Icarus* 200 (2009), 154–175.
- [3] de Pater I., Dunn D., Zahnle K., Romani P.N. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter // *Icarus* 49 (2001). Issue 1. P. 66–78.
- [4] Achterberg R.K., Conrath B.J., Gierasch P.J. Cassini CIRS retrievals of ammonia in Jupiter's upper troposphere // *Icarus* 182 (2006), 169–180.
- [5] Fletcher, L.N., et al.: The aftermath of the July 2009 impact on Jupiter: Ammonia, temperatures and particulates from Gemini thermal infrared spectroscopy. *Icarus* 211 (2011), 568–586
- [6] Ordonez-Etxeberria, R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos I. Spatial distribution of jovian clouds, hazes and colors from Cassini ISS multi-spectral images *Icarus* 267 (2016), 34–50.
- [7] Edgington S. G. and S. K. Atreya, L. M. Trafton, J. J. Caldwell, R. F. Beebe and A. A. Simon, and R. A. West. Ammonia and eddy mixing variations in the upper troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph observations. *Icarus* 142 (1999), 342–356.
- [8] Mousis O., R. Hueso et al. Instrumental methods for professional and amateur collaborations in planetary astronomy. *Exp Astron* (2014) 38:91–191 DOI 10.1007/s10686-014-9379-0 (A. Sánchez-Lavega, персональное сообщение).
- [9] Lutz B.L., Owen T.. The visible bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *The Astroph. Journal*, **235**: 285-293, 1980 Jan. 1.
- [10] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 104-110.
- [11] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. II. Широтные вариации // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 5. С. 110-118.
- [12] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года III. Большое Красное Пятно (БКП) // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 118-124.

REFERENCES

- [1] Baines K. H., Carlson R. W., Kamp L. W. *Icarus*, **2002**, 159, p.74–94. (in Eng.).
- [2] Fletcher L.N., Orton G.S., Yanamandra-Fisher P., et al. Retrievals of atmospheric variables on the gas giants from ground-based mid-infrared imaging. *Icarus*, **2009**, 200, p. 154–175. (in Eng.).
- [3] de Pater I., Dunn D., Zahnle K., Romani P.N. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter. *Icarus* **2001**. 49, Issue 1. P. 66–78. (in Eng.).

- [4] Achterberg R.K., Conrath B.J., Gierasch P.J. Cassini CIRS retrievals of ammonia in Jupiter's upper troposphere. *Icarus* **2006**, 182, 169-180. (in Eng.).
- [5] Fletcher, L.N., et al.: The aftermath of the July 2009 impact on Jupiter: Ammonia, temperatures and particulates from Gemini thermal infrared spectroscopy. *Icarus*, **2011**, 211, p. 568–586 (in Eng.).
- [6] Ordóñez-Etxebarria, R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos I. Spatial distribution of jovian clouds, hazes and colors from Cassini ISS multi-spectral images. *Icarus*, **2016**, 267, 34–50. (in Eng.).
- [7] Edgington S. G. and S. K. Atreya, L. M. Trafton, J. J. Caldwell, R. F. Beebe and A. A. Simon, and R. A. West. Ammonia and eddy mixing variations in the upper troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph observations. *Icarus* **1999**, 142, 342–356. (in Eng.).
- [8] Mousis O., R. Hueso et al. Instrumental methods for professional and amateur collaborations in planetary astronomy. *Exp Astron*, **2014**, 38:91–191 DOI 10.1007/s10686-014-9379-0 (A. Sánchez-Lavega, персональное сообщение). (in Eng.).
- [9] Lutz B.L., Owen T.. The visible bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *The Astroph. Journal*, **1980** Jan. 1. **235**: p. 285-293. (in Eng.).
- [10] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. I. Equatorial region. *Izvestiya NAN RK. The mathematics series*. **2016**. No. 5 p. 104-110. (in Russ.).
- [11] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. II. Latitudinal variations. *Izvestiya NAN RK. The mathematics series*. **2016**. No. 5 p. 110-118. (in Russ.).
- [12] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. The study of molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. III. Great Red Spot (GRS). *Izvestiya NAN RK. The mathematics series*. **2016**. No. 5 p. 118-124 (in Russ.).

ӘОЖ: 523.45

В.Д. Вдовиченко, Г.А. Кириенко, П.Г. Лысенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

**2016 ЖЫЛЫ ЭКВАТОР БОЙЫНДА ЖӘНЕ ЮПИТЕРДІҢ ОРТАЛЫҚ МЕРИДИАНЫНДА
АММИАК ЖӘНЕ МЕТАННЫҢ ЖҰТУ ВАРИАЦИЯСЫ. 8 ЖҰТУ ЖОЛАҒЫ ҮШІН
САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

Аннотация. 2016 жылдың ақпан-сәуірінде алынған жаңа бақылау материалдарының үлкен ауқымы жекелеген бұлт қабаттарында және 600-950 нм толқындар ұзындығы интервалында Юпитердің орталық меридианы (ОМ) бойында аммиак (NH_3) және метанның (CH_4) жұтылуының таралуының ары қарайғы зерттеуін жүргізуге мүмкіндік берді. Өңдеу әдістерін жетілдіру мақсатында 83 таңдалған жолақ параметрлері жөнінде ақпарат беретін Delphi тілінде «Юпитер дискісі бойынша жұтудың түсті картасы» бағдарламасы жазылды. Өңдеудің нәтижелері өлшенген параметрлердің ендік вариациясының атласын құруға мүмкіндік берді. Планета дискісі бойынша қозғалыс кезінде зерттелген жолақтардың жұтылуының негізгі сипаттамалары 30-40% шамасында өзгереді, өлшем қателігінен анағұрлым артады. Барлық жолақтар үшін олардың беталысы аймақтық сипаттама болып табылады. CH_4 және NH_3 жұту жолақтарының беталысы ендік ерекшеліктері әртүрлі қарқындылықта ОМ бойында қозғалысы кезінде зерттелді. Алынған нәтижелерден зерттеліп отырған газдардың жұту қасиеттеріне бұлт қабаты және бұлт үстіндегі атмосфераның әсері жөнінде сәйкес шешімдер жасалды. Орташа және күшті қарқындылықта CH_4 (725, 861, 889 нм) жолақтарында жұту жолы планета дискісі бойынша шашыраңқы-жұту біртекті бұлт қабатынан және олардың үстіндегі таза газды атмосферадан тұратын екіқабатты үлгілерге сәйкес келетіні жөніндегі шешім дәлелденді. NH_3 қатысты оның 645 және 790 нм жұту жолақтары өлшемінен олар өте терең қабаттарда қалыптасатыны яғни, тығыздықтың тік орналасуы жөнінде және NH_3 және оның қосылуынан екінші және үшінші бұлт қабаттары бойлығы жөнінде ақпаратты алып жүретіндігі шығады.

Түйін сөздер: Юпитер, метан, аммиак, жұту жолақтары.

V.D. Vdovichenko*, G.A. Kirienko, P.G. Lysenko

ДТОО «V.G. Fessenkov Astrophysical Institute », Almaty, Kazakhstan

* – vdv1942@mail.ru

**MUTUAL CORRELATIONS OF THE PARAMETERS
OF THE METHANE AND AMMONIA ABSORPTION SPATIAL-TEMPORAL
VARIATIONS OVER JOVIAN DISK AND THEIR CONNECTIONS
WITH THE SOLAR ACTIVITY INDEX**

Abstract. As a result of the processing Jovian spectrograms (taken from 2004-2016 observations) using "The absorption colored map of the disk of Jupiter" program, mutual correlations of the basic parameters of the methane (CH_4) and ammonia (NH_3) absorption bands during their spatial-temporal variations, were obtained. These parameters are: the central depths (R), equivalent widths (W) and residual intensities (B_{ost}). The dependences of R-W, W-W, $B_{\text{ost}}-B_{\text{ost}}$ are considered. They are presented as the graphs. There is given some analysis. An attempt to detect an influence of changes in solar activity, which took place in 2004-2016 (the period of observations), on the correlations obtained, was undertaken. A certain similarity between the variations of the CH_4 790 nm absolute equivalent widths (W) and variations in solar activity was observed. A more detailed examination of variations of the equivalent widths (W), normalized to the Ws obtained in 2013, showed that in the CH_4 619 nm and NH_3 645 nm bands also there were some good qualitative similarities with variations in solar activity. Investigations are continuing.

Key words: Jupiter, methane, ammonia, absorption bands.

В.Д. Вдовиченко*, Г.А. Кириенко, П.Г. Лысенко

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ АММИАЧНОГО
И МЕТАНОВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПО ДИСКУ ЮПИТЕРА
И ИХ СВЯЗЬ С ИНДЕКСОМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Аннотация. В результате обработки спектрограмм Юпитера (наблюдения 2004-2016 годов) с помощью программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» в графическом виде получены корреляционные взаимосвязи основных параметров исследуемых полос поглощения метана (CH_4) и аммиака (NH_3), а именно - центральных глубин (R), эквивалентных ширин (W) и остаточных интенсивностей ($B_{\text{ост}}$), в процессе их пространственно-временных вариаций. Рассматриваются зависимости R-W, W-W, $B_{\text{ост}}-B_{\text{ост}}$. Делается попытка обнаружения влияния изменений солнечной активности, имевших место в период 2004-2016 годов (время получения наблюдательного материала), на полученные корреляционные связи. Отмечается некоторое подобие между вариациями абсолютных значений эквивалентной ширины W в полосе CH_4 790 нм и вариациями солнечной активности. При более детальном рассмотрении вариаций эквивалентных ширин (W), нормированных на значения W, полученные в 2013 году, намечается также их неплохое качественное сходство с вариациями солнечной активности и в полосе метана CH_4 619 нм, и в полосе аммиака NH_3 645 нм. Исследования продолжаются.

Ключевые слова: Юпитер, метан, аммиак, полосы поглощения.

Введение

В предыдущих статьях [1-5] на основе наблюдений 2004-2016 годов мы описали вариации поглощения аммиака и метана вдоль экватора и центрального меридиана Юпитера, провели сравнительный анализ для 8

абсорбционных полос и исследовали явно выраженную асимметрию в ходе аммиачного поглощения в северном и южном полушариях Юпитера. Представляется интересным проследить, существует ли корреляционная связь между отдельными параметрами пространственно-временных вариаций аммиачного и метанового поглощения по диску Юпитера и если да, то связана ли она каким-либо образом с индексом солнечной активности.

Результаты исследования

Программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» [1-2] в конце обработки спектрограмм Юпитера выводит в графическом виде корреляционные связи различных исследуемых параметров полос поглощения (рис. 1-3). В качестве основных параметров были выбраны центральные глубины (R), эквивалентные ширины (W) и остаточные интенсивности (Bost). Рассматривалось наличие корреляционной связи между R (абсцисса) и W (ордината) для каждой отдельной полосы поглощения; между R (абсцисса) и W (ордината) для всех исследуемых полос (рис. 3), между W_i и W_j и между $Bost_i$ и $Bost_j$ (i, j – индексы полос поглощения различной интенсивности) - для всех полос (рис. 2 и 3, соответственно). Для различия северного и южного полушарий (или запад-восток) используются точки разного цвета.

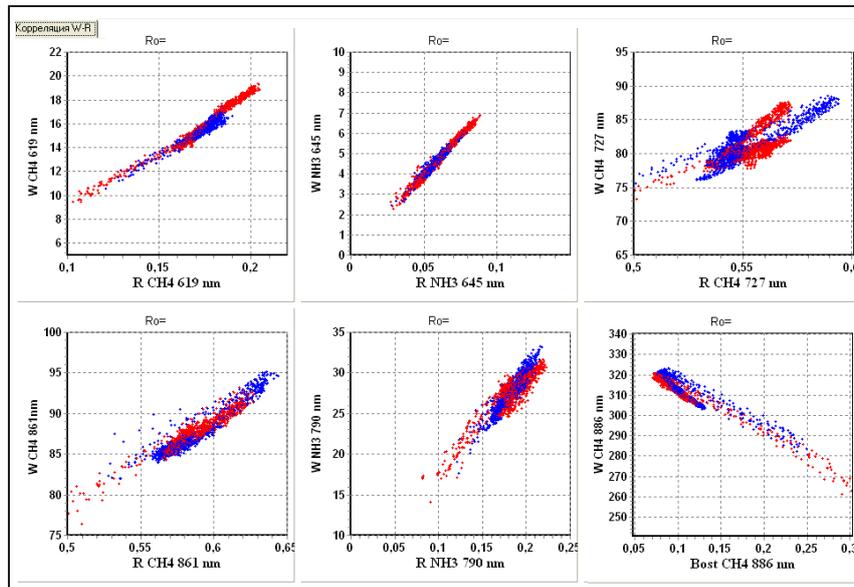


Рисунок 1 – Пример корреляционных связей R-W исследуемых полос поглощения

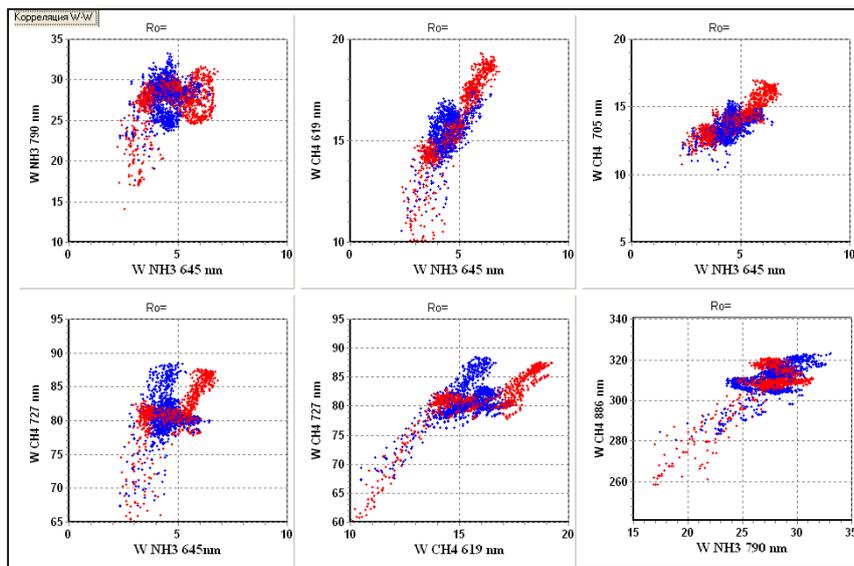


Рисунок 2 – Пример корреляционных связей W-W исследуемых полос поглощения

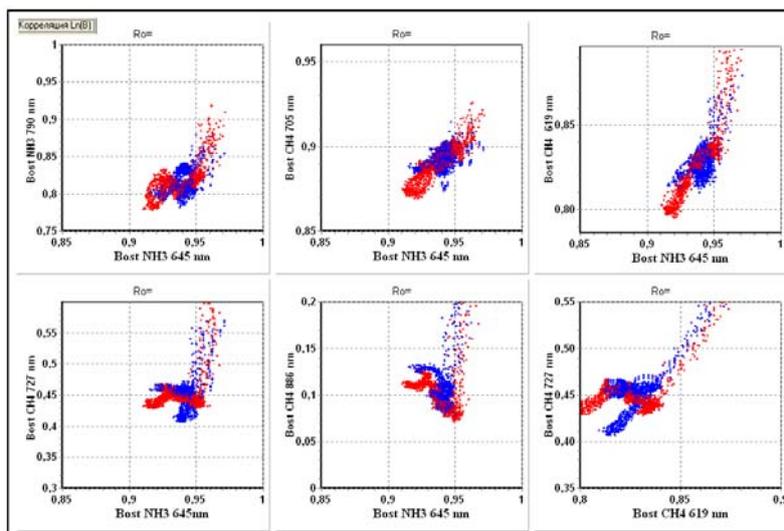


Рисунок 3 – Пример корреляционных связей остаточных интенсивностей исследуемых полос поглощения

Как следует из рисунков, некоторые корреляционные связи между основными параметрами полос поглощения (например, R–W), можно описать несложными уравнениями, остальные же зависимости носят очень сложный характер и нуждаются в дополнительном анализе. Подобная картина свойственна всему периоду наблюдений 2004-2016 годов.

Указанный временной период (2004-2016 гг.) рассматривается как цикл затянувшегося минимума и следующего за ним пониженного максимума солнечной активности. Чтобы проследить возможное влияние изменения солнечной активности на состояние атмосферы Юпитера, необходимо выбрать какие-то характеристики (в данном случае - индексы), описывающие рассматриваемый физический процесс, в нашем случае - процесс изменения солнечной активности.

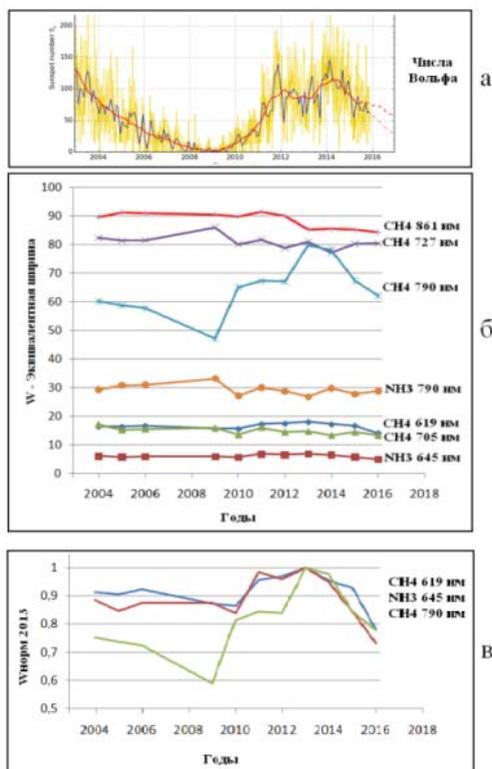


Рисунок 4 – Сопоставление вариаций индекса солнечной активности (а) с вариациями эквивалентных ширин полос поглощения метана и аммиака на Юпитере (б, в) за период 2004-2016 годов

Для Солнца такими общепризнанными индексами являются числа Вольфа, характеризующие общее количество и площадь солнечных пятен на диске Солнца в данный момент. Для планет, исследуемых дистанционными методами наблюдения, могут быть использованы такие индексы, как интегральное альbedo и параметры, характеризующие изменение морфологической структуры облачного покрова. Например, для Юпитера - это ширина и чередование светлых поясов и зон. Также можно использовать интенсивность полос поглощения атмосферных газов (метана и аммиака), формирующихся в аэрозольно-газовой среде этих поясов и зон, и несущих информацию об их переменных оптико-физических характеристиках как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Однако фактором, значительно затрудняющим интерпретацию, или образно говоря - «путаящим все карты», является не контролируемый и поэтому трудно учитываемый поток внутреннего тепла из недр планеты, который примерно в два раза превышает приток солнечной энергии.

На первом этапе мы попытались сопоставить временные изменения параметров солнечной активности с вариациями эквивалентных ширин полос поглощения метана и аммиака на Юпитере за период 2004-2016 гг., соответствующий полному обороту Юпитера вокруг Солнца (Рисунок 4).

На первый взгляд, судя по графику (б) на рисунке 4, только вариации абсолютных значений эквивалентной ширины W в полосе CH_4 790 нм слегка подобны вариациям солнечной активности. Но при более детальном рассмотрении вариаций эквивалентных ширин, нормированных на значения в 2013 году, можно заметить также неплохое качественное сходство с вариациями солнечной активности и в полосе метана CH_4 619 нм, и в полосе аммиака NH_3 645 нм (рисунок 4в). Тем не менее, выводы делать еще рано, поскольку они требуют детального анализа полученных результатов.

Однако в заключение полагаем, что предложенное читателю исследование заслуживает внимания и, разумеется, - дальнейшего продолжения.

Работа выполнена согласно плану работ по программе № 0073/ПЦФ-15-МОН «Астрофизические исследования звездных и планетных систем».

ЛИТЕРАТУРА

[1] Вдовиченко В.Д., Г.А. Кириенко, П.Г. Лысенко. Вариации поглощения аммиака и метана вдоль экватора и центрального меридиана Юпитера в 2016 году. Сравнительный анализ для 8 полос поглощения. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2017. - №5. - Настоящий сборник

[2] Вдовиченко В.Д., Г.А. Кириенко. Исследование асимметрии в ходе поглощения аммиака в северном и южном полушариях Юпитера в 2004-2016 годах. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2017. - №5. - Настоящий сборник

[3] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 104-110.

[4] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. II. Широтные вариации // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - № 5 - С. 110-118.

[5] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года III. Большое Красное Пятно (БКП) // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 118-124.

REFERENCES

[1] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G. Variations in the absorption of ammonia and methane along the equator and the central meridian of Jupiter in 2016. Comparative analysis for the eight absorption bands. *News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, 2017, N 5. - P. ____ (in Russ)

[2] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Ammonia absorption asymmetry along the altitudes of the northern and southern hemispheres of Jupiter from the 2004-2016 observations. *News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, 2017, N 5, P. ____ (in Russ)

[3] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G. The molecular absorption studying on Jupiter in the 2016 visibility season. I. Equatorial region. *News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, 2016, N 5, P. 104-110. (in Russ)

[4] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G. The molecular absorption studying on Jupiter in the 2016 visibility season. II. Latitudinal variations. *News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, 2016, N 5, P. 110-118. (in Russ)

[5] Vdovichenko V.D. , Kirienko G.A, Lysenko P.G. The study of molecular absorption on the disk of Jupiter in season appearances in 2016 III. The Great Red Spot (OPF). *News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. A physical and mathematical series*, 2016, N 5, P. 118-124. (in Russ)

В.Д. Вдовиченко, Г.А. Кириенко, П.Г. Лысенко.

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ЮПИТЕР ДИСКІСІ БОЙЫНША АММИАКТЫ ЖӘНЕ МЕТАНДЫ ЖҰТУДЫҢ КЕҢІСТІКТИ-УАҚЫТТЫҚ ВАРИАЦИЯСЫ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КҮН ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ ИНДЕКСІМЕН БАЙЛАНЫСЫ

Аннотация. «Юпитер дискісі бойынша жұтудың түсті картасы» бағдарламасы көмегімен Юпитер спектрограммдарын өңдеу нәтижесінде (2004-2016 жылдардың бақылаулары) графикалық түрде зерттеліп отырған метан (CH_4) және аммиак (NH_3) жұту жолақтары негізгі параметрлерінің, нақтырақ айтқанда – орталық ауқымдылығы (R), эквиваленттік ені (W) және олардың кеңістіктік-уақыттық вариациясы процесінде қалдық қарқындылықтың (V_{ost}) корреляциялық өзара байланысы алынды. R - W , W - W , V_{ost} - V_{ost} тәуелділіктер қарастырылуда. Алынған корреляциялық өзара байланыстарға 2004-2016 жылдары кезеңінде орын алған (бақылау материалдарын алу уақыты) күн белсенділігі өзгерістері әсерін табуға талпыныстар жасалды. CH_4 790 нм жолағында W эквиваленттік ені абсолюттік мәнінің вариациялары және күн белсенділігі вариациялары арасындағы біраз ұқсастар белгіленеді. 2013 жылы алынған W мәнінде нормаланған эквиваленттік ені (W) вариацияларын жете қарастыру кезінде күн белсенділігі вариациялары және CH_4 619 нм метан жолағында және NH_3 645 нм аммиак жолағында сондай ақ олардың жаман емес сапалы ұқсастықтары белгіленді. Зерттеу жалғасуда.

Тірек сөздер: Юпитер, метан, аммиак, жұту жолақтары.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 209 – 214

UDC 523.62

A. Serebryanskiy, L. Usoltseva, A. Komarov, I. Reva

Fesenkov Astrophysical Institute, Observatory 23, Almaty, Republic of Kazakhstan
alex@aphi.kz, komarov@aphi.kz, usoltseva@aphi.kz, reva@aphi.kz

THE TRASFORMATION COEFFICIENTS AND INSTANTANEOUS VALUES OF ATMOSPHERIC EXTINCTION

Abstract. We describe the process to determine the transformation coefficients from instrumental photometric system into standard Johnson-Cousines (BVR) photometric system as well as instantaneous values of atmospheric transparency coefficients. These results were obtained for Zeiss-1000 telescope equipped with Apogee Alta U9000D9 CCD camera. The process of PSF photometry using IRAF package is also described and obtained magnitudes and color indexes were compared with catalog values.

Key words: astronomical observations, UBVR photometry, standard stars

УДК 523.62

А. В. Серебрянский, Л. А. Усольцева, А. А. Комаров, И. В. Рева

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

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА И МГНОВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЭКСТИНЦИИ

Аннотация. Дается детальное описание процесса определения переходных коэффициентов из инструментальной фотометрической системы в стандартную фотометрическую систему Джонсона-Коузина (BVR), а также определения мгновенных значений коэффициента атмосферной экстинкции. Результаты получены для телескопа ``Цейсс-1000`` обсерватории Тянь-Шань, оснащенного ПЗС камерой Apogee Alta U9000D9. Описан процесс фотометрии звезд в пакете IRAF методами апертурной и PSF-фотометрии. Дано сравнение полученных значений звездных величин и показателей цвета с каталожными значениями.

Ключевые слова: астрономические наблюдения, UBVR фотометрия, стандартные звезды.

Введение

Одной из основных задач при наблюдениях ГСС является точная оценка его яркости в разных спектральных диапазонах, что позволяет оценить его физические размеры, форму, состав и состояние его поверхности, а также размер солнечных панелей, что позволяет проводить оценку его энергопотребления и, следовательно, делать выводы о его возможном назначении. Вариации блеска ГСС дают нам информацию о динамике объекта, например, о его вращении. Задачей данной работы была отработка методики оценки изменения атмосферной экстинкции в течении одной ночи, а также определение коэффициентов перехода от инструментальной к стандартной фотометрической системе BVR для телескопа ``Цейсс-1000`` обсерватории Тянь-Шань. Методика, применяемая в данной работе, взята из работы по стандартизации АЗТ-22 обсерватории Майданак (Узбекистан) [1].

Внеатмосферное значение звездной величины в инструментальной системе можно записать в виде:

$$m_{0,\lambda} = m_{\lambda} - (k_{1,\lambda} - k_{2,\lambda} \cdot C_0) \cdot X \quad (1)$$

где, λ - центральная длина волны соответствующего фильтра (B, V, R), m_{λ} - видимая звездная величина в данном фильтре, C_0 - показатель цвета в стандартной системе, то есть $(B-V)_0$ или $(V-R)_0$. Тогда значение звездной величины в стандартной системе можно представить в виде:

$$M_{\lambda} = m_{0,\lambda} + \eta_{\lambda} \cdot C_0 + \alpha_{\lambda} \cdot \widehat{UT} + \zeta_{\lambda} \quad (2)$$

В этих выражениях зависимость атмосферной экстинкции от воздушной массы предполагается линейной и определяется коэффициентом $k_{1,\lambda}$. Зависимость от показателя цвета также предполагается линейной и определяется коэффициентом $k_{2,\lambda}$. Коэффициент ζ_{λ} определяет постоянную часть нуль-пункта фотометрической системы в данном фильтре. Зависимость изменения нуль-пункта в течение времени наблюдений определяется параметром α_{λ} . Параметр \widehat{UT} - временной промежуток относительно некоторого выбранного начального момента времени (обычно берется полночь).

Задачу определения всех коэффициентов и параметров в выражении (2) можно разделить на две подзадачи: 1) определить зависимость нуль-пункта от времени, а также исправить инструментальные звездные величины за атмосферную прозрачность и 2) определить коэффициенты пересчета в стандартную фотометрическую систему. Подставляя (1) в (2), получим:

$$M_{\lambda} = m_{\lambda} - k_{1,\lambda} \cdot X + k_{2,\lambda} \cdot C_0 \cdot X + \eta_{\lambda} \cdot C_0 + \alpha_{\lambda} \cdot \widehat{UT} + \zeta_{\lambda} \quad (3)$$

Для оценки всех параметров в выражении (3) необходимо выбрать определенные стандартные площадки и соответствующим образом выстроить процесс наблюдений.

Таблица 1 - Список стандартных площадок и параметры наблюдений

Название площадки	$\alpha_{(J2000)}$	$\delta_{(J2000)}$	Фильтры	Экспозиция в сек. (кол-во кадров)
Galadi 1	00 ^h 00 ^m 00 ^s	+30°22'30"	B,V,R	20(10),20(10),20(10)
Galadi 2	01 ^h 53 ^m 15 ^s	+00°22'30"	B,V,R	40(9),40(9),40(9)
Galadi 3	03 ^h 52 ^m 39 ^s	-00°01'30"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
Galadi 11	22 ^h 41 ^m 42 ^s	+01°13'30"	B,V,R	20(12),20(12),20(12)
GD 2	00 ^h 07 ^m 34 ^s	+33°18'51"	B,V,R	40(9),40(9),40(9)
GD 8	00 ^h 39 ^m 45 ^s	+31°34'46"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
GD 277	01 ^h 29 ^m 27 ^s	+51°08'41"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
GD 391	20 ^h 29 ^m 50 ^s	+39°15'53"	B,V,R	20(3),20(3),20(3)
GD 405	23 ^h 16 ^m 44 ^s	+47°27'08"	B,V,R	40(12),40(12),40,20(12)
GD 421	01 ^h 51 ^m 00 ^s	+67°41'51"	B,V,R	40(9),40(9),20(9)
SA23 SF3	03 ^h 45 ^m 21 ^s	+45°27'28"	B,V,R	40(6),40(6),40(6)
SA 41	21 ^h 53 ^m 52 ^s	+45°25'46"	B,V,R	20(6),20(6),20(6)

Описание наблюдений и анализ данных

Наблюдения проводились на телескопе «Цейсс-1000» Тянь-Шаньской обсерватории. Диаметр главного зеркала $D=1000$ мм, относительное фокусное расстояние $f_{\text{отн}} = 6580$ мм. Телескоп оборудован ПЗС камерой Apogee Alta U9000D9, позволяющая получать поле зрения (FOV) размером $19'.5 \times 19'.5$ с масштабом $0''.38/\text{пиксель}$. Для многоцветной фотометрии используется набор фильтров B, V, R компании «Astrodon». Стандартные площадки наблюдались 23 августа 2016 года. Список площадок и параметры наблюдений приведены в Таблице 1. Данные взяты из работ [2, 3].

Предварительная обработка ПЗС кадров и последующая фотометрия звезд проводилась в пакете IRAF. В процесс этой обработки входит вычитание из каждого изображения темного тока, с последующим делением на откалиброванные значения плоского поля. Следующим шагом является получение оценки наблюдаемой звездной величины каждой стандартной звезды в каждом фильтре и каждом изображении методом апертурной фотометрии. Для этого используются процедура phot из библиотеки noao.digiphot.daophot пакета IRAF. После получения соответствующих апертурных значений наблюдаемых звездных величин строится PSF профиль звезд (PSF – Point Spread Function) с последующей процедурой PSF-фотометрии [4]. Для этого использовались процедуры pstselect, psf, allstar пакета IRAF из библиотеки noao.digiphot.daophot. Поскольку PSF-значения инструментальной звездной величины получены по оценкам ограниченной апертуры на последнем шаге необходимо определить апертурную коррекцию. Данная процедура выполняется также в IRAF процедурами photcal.mkapfile, mkimsets, mkobsfile.

Определение коэффициентов $k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_{\lambda}$. Мы начнем с определения цветовых коэффициентов пересчета в стандартную систему $k_{2,\lambda}$ и η_{λ} . Чтобы определить эти коэффициенты, мы

анализируем отдельные стандартные площадки ($term2_{i,j}$) на Рисунке 1. На площадке должно быть достаточное количество стандартных звезд в как можно более широком диапазоне показателей цвета C_0 .

Перегруппировка членов уравнения (3) дает:

$$M_\lambda - m_\lambda = \underbrace{-k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot UT + \zeta_\lambda}_{term\ 1} + \underbrace{(k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda)}_{term\ 2} \cdot C_0 \tag{4}$$



Для отдельно взятой стандартной площадки в определенный момент времени UT можно предположить, что X есть величина постоянная и следовательно постоянной является сумма членов $-k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot UT + \zeta_\lambda$ которую мы обозначим как $Const_1$. Следовательно, наше уравнение (4)

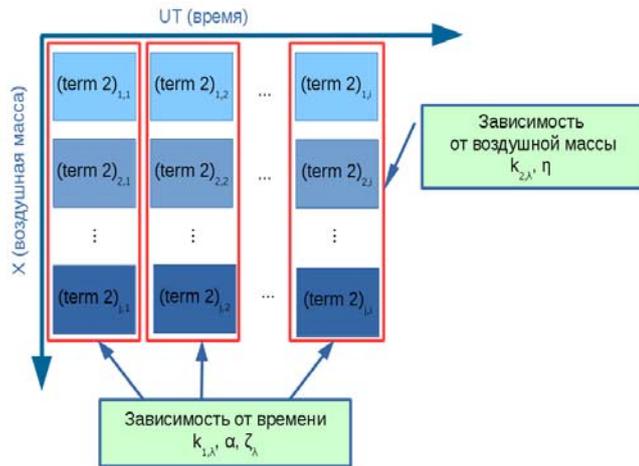


Рисунок 1 - План проведения наблюдений для определения коэффициентов пересчета в стандартную фотометрическую систему и коэффициента атмосферной экстинкции

примет вид:

$$M_\lambda - m_\lambda = (k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda) \cdot C_0 + Const_1 \tag{5}$$

То есть для некоторой i -той стандартной площадки при некотором значении воздушной массы X_i будем иметь

$$y_i(X_i) = A_{1,i}(X_i) \cdot C_0 + Const_{1,i} \tag{6}$$

где $A_{1,i}(X_i) = k_{2,\lambda} \cdot X_i + \eta_\lambda$. Следовательно, строя зависимость $y_i(X_i)$ от C_0 и аппроксимируя ее линейной зависимостью, мы можем определить $A_{1,i}(X_i)$ и $Const_{1,i}$. Пример построения таких зависимостей и линейной аппроксимации показан на Рисунке 2. Отметим, что мы считаем коэффициент $k_{1,\lambda}(UT)$ зависящим от момента наблюдения, то есть меняющимся в течении ночи.

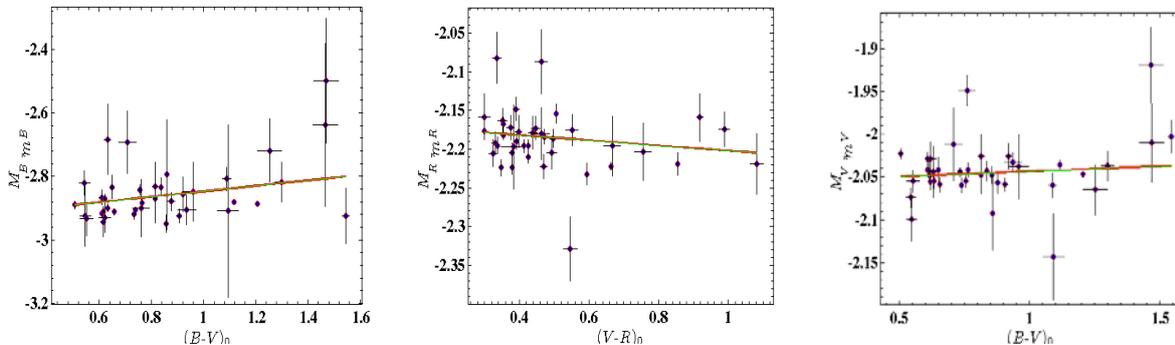


Рисунок 2 - Зависимость разности звездных величин $M_\lambda - m_\lambda$ от показателя цвета C_0 . Красной линией показаны результаты линейной аппроксимации.

Определение коэффициентов $k_{2,\lambda}$ и η_λ

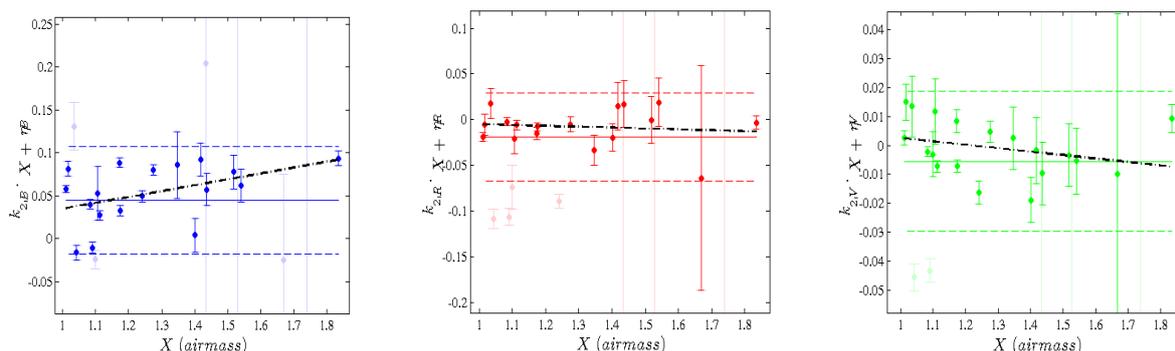


Рисунок 3 - Зависимость $k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda$ от воздушной массы X в разных фильтрах (слева сверху – фильтр В, справа сверху – фильтр V, внизу – фильтр R).

Если коэффициент $k_{2,\lambda}$ принять постоянным в течение одной ночи, так же как и коэффициент η_λ (что должно достаточно точно выполняться), то исследуя зависимость параметра $A_{1,i}(X_i)$ от X из линейной аппроксимации можно определить в отдельности коэффициенты $k_{2,\lambda}$ и η_λ (см. Рисунок 3). В принципе, из предположения постоянства коэффициента $k_{1,\lambda}$ в течение одной ночи из значений $Const_{1,i}$ и линейной аппроксимации зависимости от воздушной массы X можно определить как само среднее для данной ночи наблюдений значение $k_{1,\lambda}$ так и значение параметра $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$, то есть нуль-пункт фотометрической системы с учетом его изменения в течении ночи.

Полученные значения параметра $k_{1,\lambda}$ и соответствующие ошибки, а также значения параметра $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$ с соответствующей ошибкой можно использовать как первые приближения и как накладываемые ограничения на диапазон их возможных значений для последующего уточнения и определения этих параметров для отдельно взятого момента времени. Полученные нами средние значения таковы: $k_{2,B} = 0.0485 \pm 0.0066$, $\eta_B = -0.00384 \pm 0.0084$, $k_{2,V} = -0.0057 \pm 0.0064$, $\eta_V = 0.0152 \pm 0.0083$, $k_{2,R} = 0.0432 \pm 0.0084$, $\eta_V = -0.0575 \pm 0.0106$. Кроме того, можно оценить усредненные за всю ночь значения коэффициентов экстинкции и нуль-пункта фотометрической системы ζ_λ . Медианные значения, в нашем случае, получились следующими: $\zeta_B = -2.749 \pm 0.0016$, $\zeta_V = -2.175 \pm 0.0008$, $\zeta_R = -2.177 \pm 0.0010$. Значения этих же параметров, полученные из линейной аппроксимации, таковы: $k_{1,B} = 0.244 \pm 0.014$, $\zeta_B = -2.384 \pm 0.017$, $k_{1,V} = 0.022 \pm 0.008$, $\zeta_V = -2.073 \pm 0.010$, $k_{1,R} = 0.139 \pm 0.008$, $\zeta_R = -1.829 \pm 0.010$.

Вычисление коэффициентов $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$

По результатам первого шага мы оценили значения параметров $k_{2,\lambda}$ и η_λ . После этого мы можем переходить к определению квази-мгновенных значений $k_{1,\lambda}$ и $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$ из следующей зависимости

$$y(X_i) = A_{2,i} + Const_{2,i} \quad (7),$$

где

$$y(X_i) = M_\lambda - m_\lambda - (k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda) \cdot C_0 \quad (8),$$

и

$$Const_{2,i} = \alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda \quad (9)$$

Здесь под термином «квази-мгновенность» мы подразумеваем то факт, что несколько стандартных площадок на разных воздушных массах сняты в разных фильтрах почти в одно и тоже время. На практике с одним инструментом это осуществить довольно сложно. Во-первых, время экспозиции в каждом фильтре конечно. Во-вторых, обычно необходимо снимать по несколько кадров в каждом фильтре, для уменьшения вкладов различных случайных шумов. В-третьих, для наведения телескопа с одной площадки на другую тоже затрачивается определенное время. Фактически, учитывая все перечисленные факторы «квази-мгновенность» подразумевает определение значения экстинкции в течении приблизительно одного часа.

Таблица 2 - Значения параметра $k_{1,\lambda}$ в разные моменты времени наблюдения в течении одной ночи

Время (JD-2400000)	$k_{1,B}$	$\sigma_{k_{1,B}}$	$k_{1,V}$	$\sigma_{k_{1,V}}$	$k_{1,R}$	$\sigma_{k_{1,R}}$
57624.18632	1.352	0.015	1.373	0.009	1.540	0.009
57624.25082	0.622	0.023	0.740	0.015	0.930	0.016
57624.30702	0.283	0.025	0.371	0.017	0.519	0.018
57624.36522	0.226	0.021	0.149	0.015	0.197	0.018
57624.41764	0.227	0.013	0.084	0.010	0.000	0.011

Таблица 3 - Значения параметра $Const_{2,i} = \alpha_\lambda \cdot \overline{UT} + \zeta_\lambda$ в разные моменты времени наблюдения в течение одной ночи

Время (JD-2400000)	$Const_{2,B}$	$\sigma_{Const_{2,B}}$	$Const_{2,V}$	$\sigma_{Const_{2,V}}$	$Const_{2,R}$	$\sigma_{Const_{2,R}}$
57624.18632	1.297	0.020	1.723	0.012	1.871	0.012
57624.25082	0.484	0.032	1.007	0.021	1.175	0.022
57624.30702	0.094	0.034	0.554	0.023	0.651	0.025
57624.36522	-0.001	0.030	0.231	0.021	0.170	0.023
57624.41764	0.0004	0.021	0.063	0.015	-0.212	0.017

Результаты определения коэффициента $k_{1,\lambda}$ и $\alpha_\lambda \cdot \overline{UT} + \zeta_\lambda$ для разных моментов времени наблюдений показаны в Таблице 2 и Таблице 3, соответственно. Пример аппроксимации линейной зависимости $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \overline{UT} + \zeta_\lambda$ от воздушной массы показан на Рисунке 4.

Сравнение с каталогом

После того, как мы определили коэффициент экстинкции $k_{1,\lambda}$ и нуля-пункта фотометрической системы с коэффициентом его изменения в течение ночи $\alpha_\lambda \cdot \overline{UT} + \zeta_\lambda$, мы можем использовать эти значения для расчетов значений M_λ для их с каталожными значениями. Результаты сравнений показаны на Рисунке 5.

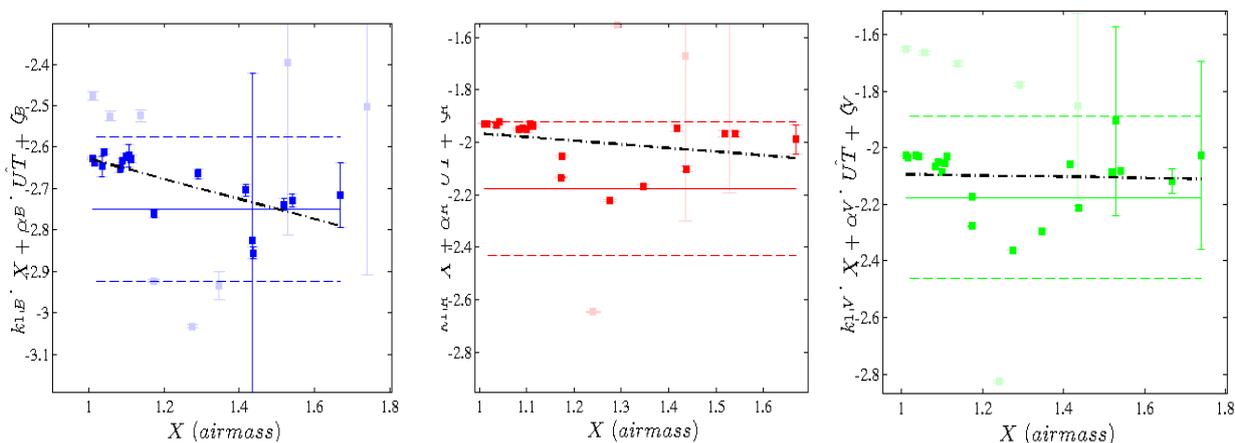


Рисунок 4 - Зависимости $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \overline{UT} + \zeta_\lambda$ от воздушной массы X. Красным цветом показана зависимость для фильтра R, зеленым для фильтра V и синим для фильтра B. Пунктирными линиями того же цвета показаны диапазоны 3σ отклонений от среднего (показаны сплошной линией соответствующего цвета). Черной пунктирной линией показаны результаты линейной аппроксимации

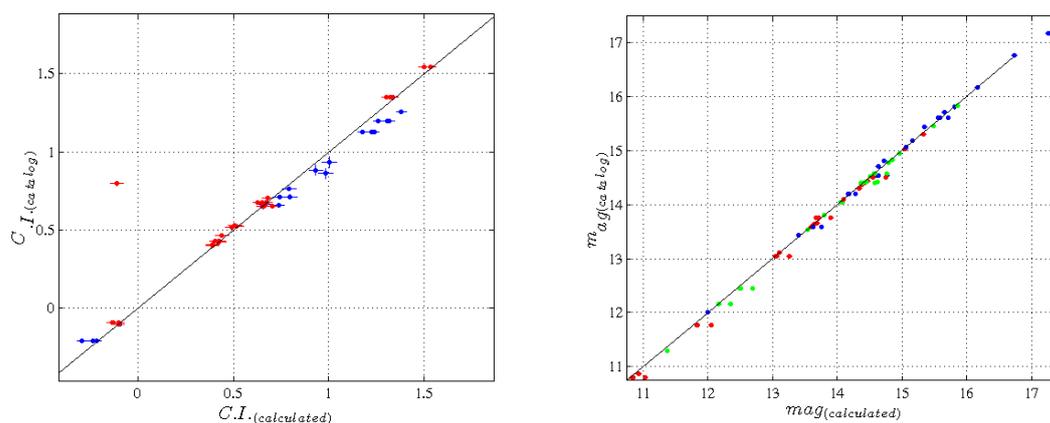


Рисунок 5 - Слева: зависимость вычисленных значений звездных величин M_d , обозначенные как $mag_{calculated}$, от каталожных значений звездных величин $mag_{catalog}$ (значение цветов: красный-фильтр R, синий-фильтр B, зеленый-фильтр V). Справа: зависимость вычисленных значений показателя цвета $C.I._{calculated}$ от каталожных значений показателя цвета $C.I._{catalog}$ (значение цветов: красный - (V-R), синий - (B-V)).

Работа проделана в рамках проектов №0073-1/ПЦФ-15-МОН и №0069/ГФ4 Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lim, B., Sung, H., Bessell, M. S., Karimov, R. Irahimov, M. CCD Photometry of Standard Stars at Maidanak Astronomical Observatory in Uzbekstan: Transformations and Comparisons // Journal of Korean Astronomical Society 2009. - V.42. - pp.161-174 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009JKAS...42..161L>
- [2] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars around the Sky at +50 deg Declination // The Astronomical Journal 2013. - V.146. - p.131 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AJ....146..131L>
- [3] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions // The Astronomical Journal 2009. - V.137. - pp.4186-4269 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009AJ....137.4186L>
- [4] Stetson P.B. DAOPHOT – A computer program for crowded-field stellar photometry // Astronomical Society of the Pacific 1987. – V. 99. – pp.191-222

REFERENCES

- [1] Lim, B., Sung, H., Bessell, M. S., Karimov, R. Irahimov, M. CCD Photometry of Standard Stars at Maidanak Astronomical Observatory in Uzbekstan: Transformations and Comparisons // Journal of Korean Astronomical Society 2009, V.42, pp. 161-174 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009JKAS...42..161L>
- [2] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars around the Sky at +50 deg Declination // The Astronomical Journal 2013, V.146, p.131 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AJ....146..131L>
- [3] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions // The Astronomical Journal 2009, V.137, p.p. 4186-4269 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009AJ....137.4186L>
- [4] Stetson P.B. DAOPHOT – A computer program for crowded-field stellar photometry // Astronomical Society of the Pacific 1987. – v. 99. – pp.191-222 <http://adsabs.harvard.edu/abs/1987PASP...99..191S>

ӘОЖ: 523.62

А.В. Серебрянский, Л.А. Усольцева, А.А. Комаров, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы қ., Қазақстан

АТМОСФЕРАЛЫҚ ЭКСТИНКЦИЯНЫҢ ЛЕЗДІК МӘНДЕРІ ЖӘНЕ АУЫСУЫ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІ

Аннотация. Бұл аспаптық фотометриялық жүйесінің стандартты фотометриялық Джонсон-Коузина жүйесіне ауыстыру (БВР) коэффициенттерін анықтау процесінің толық сипаттамасын және атмосфералық экстинкцияның лездік мәндерін анықталады. Тянь-Шань обсерватория телескопы “Zeiss-1000” үшін алынған нәтижелер, ол CCD Argee Alta U9000D9 камерасымен жабдықталған. IRAF пакеттің апертура мен PSF-фотометрия әдісімен жұлдызды фотометрия процесін сипаттайды. Жұлдыздық шамаларды салыстыру каталогы мәндері мен түс көрсеткіштері алынған.

Тірек сөздер: астрономиялық бақылау, UBVRI фотометрия, стандартты жұлдыздар.

Анықтама 1. Егер $y(x) \in D(L_\varepsilon)$ және ол (1) теңдеудің шешімі болса, онда оны (1)-(2) есебінің тұрлаулы (регулярное) шешімі дейік.

Енді $f(x) \in L^2(0,1)$ болсын делік, мұндай функциялар $[0,1]$ кесіндісінің барлық нүктелерінде, дерлік, анықталған, яғни оның сыр-сыйпаты нөл мөлшерлі жыйында беймәлім, сондықтан мұндай функциялар үшін алдыңғы анықтаманың жарамсыздығы айдан анық.

Анықтама 2. Егер, мынадай, $\{y_k(x)\} \in D(L_\varepsilon), k = 1, 2, \dots$ тізбек табылып, ол $L^2(0,1)$ кеңістігінде, мына, $y_k(x) \rightarrow y(x), Ly_k \rightarrow f(x)$ шарттарды қанағаттандырса, онда $y(x) \in L^2(0,1)$ функциясын (1)-(2) есебінің әлді (күшті) шешімі дейік. Егер кезкелген $f(x) \in L^2(0,1)$ үшін осындай әлді шешім бар болса, онда (1)-(2) есепті әлді шешіледі дейміз.

Біз енді (1)-(2) есептің әлді шешілетінін көрсетейік

Лемма 1. Егер $a(x) \in C[0,1]$ және, мына,

$$a(x) \geq \alpha > 0, \forall x \in [0,1] \quad (3)$$

теңсіздік орындалса, онда кезкелген $u(x) \in D(L_\varepsilon)$ – функциясы үшін, мынадай,

$$\|L_\varepsilon u\| \geq \alpha \times \|u\|, \|L_\varepsilon u\| \alpha \times \|u\|$$

алдын-ала бағалаулар орынды.

Дәлелі. Жоғарыдағы (1) теңдеудің екі жағын-да $y(x)$ – ка скаляр көбейтсек, онда, мынадай,

$$(L_\varepsilon y, y) = \varepsilon (y', y) + (ay, y) = (f, y)$$

теңдік аламыз, мұнан

$$\varepsilon (y', y) = \varepsilon \times \int_0^1 y' y dx = \varepsilon \int_0^1 y dy = \frac{\varepsilon y^2(1)}{2} /_0^1 = \frac{\varepsilon \times y^2(1)}{2} \geq 0;$$

$$(ay, y) \leq (f, y) \leq \|f\| \times \|y\|$$

Енді, $a(x) \geq \alpha > 0$, екенін ескерсек, онда, мынадай,

$$\alpha \times \|y\|^2 \leq (ay, y) \leq \|f\| \times \|y\|, \rightarrow \alpha \|y\| \leq \|f\| = \|L_\varepsilon y\|$$

теңсіздіктер аламыз, бізге керегі-де осы еді.

Лемма 2. Егер $a(x)$ – үзкіс функциясы кезкелген $x \in [0,1]$ үшін, мына

$$a(x) \geq \alpha > 0, \forall x \in [0,1] \quad (3)$$

теңсіздікті қанағаттандырса, онда жоғарыдағы Кошидің (1)-(2) есебі әлді шешіледі.

Дәлелі. Егер $f(x)$ – функциясы $[0,1]$ кесіндісінде үзкіс болса, онда, мына,

$$y(x, \varepsilon, f) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt \quad (4)$$

функция Коши есебінің шешімі болады, мұндағы $e(x)$ – дегеніміз сәйкес біртекті теңдеудің фундамен тәлді шешімі, яғни

$$\varepsilon \times e'(x) + a(x)e(x) = 0, e(0) = 1$$

Шынында-да,

$$\begin{aligned} y'(x, \varepsilon, f) &= \frac{f(x)}{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt, \varepsilon y'(x, \varepsilon, f) = f(x) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{\varepsilon e'(x)}{e(t)} f(t) dt \\ &= f(x) - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{a(x)e(x)}{e(t)} f(t) dt = f(x) - a(x) \times \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt = \\ &= f(x) - a(x) y(x, \varepsilon, f), \rightarrow \varepsilon y'(x, \varepsilon, f) + a(x)y(x, \varepsilon, f) = f(x). \end{aligned}$$

Егер (4) формулада $x = 0$ болсын делік, онда $y(x, \varepsilon, f) /_{x=0} = 0$ болады.

Мына,

$$\varepsilon z' + a(x)z = 0, z(0) = 0$$

есептің елеулі шешімі жоқ, сондықтан табылған (4) шешімі бірегей.

Соныменен, L_ε оператора $D(L_\varepsilon)$ – жыйынын $R(L_\varepsilon) = C[0,1]$ жыйынына өзара бірмәнді етіп аударады, яғни $D(L_\varepsilon)$ – жыйынының әрбір элементіне $R(L_\varepsilon) = C[0,1]$ жыйынының тек бір ғана элементіне сәйкес келеді және керісінше-де солай, демек кері L_ε^{-1} операторы бар, ал, былай, $L_\varepsilon^{-1}: R(L_\varepsilon) \rightarrow D(L_\varepsilon)$ анықталған.

Әлгі L_ε^{-1} операторының $L^2(0,1)$ кеңістігінде шектеулі екенін көрсетейік, айтпақшы,

$$e(x) = e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(t) dt}$$

екенін байқау онша қыйын шаруа емес, мұнан,

$$\left| \frac{e(x)}{e(t)} \right| = e^{-\int_t^x a(t) dt} \leq 1.$$

Кері L_ε^{-1} операторымыздың түрі, мынадай,

$$y(x, \varepsilon, f) = L_\varepsilon^{-1} f(x) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^1 \theta(x-t) \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt,$$

мұндағы $\theta(x)$ – Хевисайдтың функциясы, яғни

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & \text{егер } x \geq 0, \\ 0, & \text{егер } x < 0; \end{cases}$$

сондықтан,

$$\begin{aligned} |L_\varepsilon^{-1} f| &\leq \frac{1}{\varepsilon} \int_0^1 \frac{e(x)}{e(t)} |f(t)| dt \leq \frac{1}{\varepsilon} \left(\int_0^1 \left| \frac{e(x)}{e(t)} \right|^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \|f\| \leq \frac{1}{\varepsilon} \|f\|, \rightarrow \\ \|L_\varepsilon^{-1} f\|^2 &\leq \frac{\|f\|^2}{\varepsilon^2}, \|L_\varepsilon^{-1} f\| \leq \frac{\|f\|}{\varepsilon}, \|L_\varepsilon^{-1}\| \leq \frac{1}{\varepsilon}. \end{aligned}$$

Үздіксіз функциялардың сызықтық көпсаласы $L^2(0,1)$ кеңістігінде тығыз, сондықтан сызықтық операторларды кең жыйынға тарату теоремасы бойынша L_ε^{-1} операторын бүткіл $L^2(0,1)$ кеңістігіне шектеулі оператор етіп таратуға болады. Бұл сәтте, алынған $\overline{L_\varepsilon^{-1}}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде анықталған. Енді, мына, [1,] лемманы пайдаланайық.

Лемма 3. Егер сызықтық A операторы тығыз анықталса, қабынатын әрі қайтымды болса, онда оған кері A^{-1} операторы да қабынады және, мына, $\overline{A^{-1}} = (\overline{A})^{-1}$ теңдік орындалады.

Біздің жағдайда L_ε операторының сыңарласы $L_\varepsilon^+ z = -\varepsilon z'(x) + a(x)z(x)$, $D(L_\varepsilon^+) = \{z(x) \in C^1(0,1) \cap C[0,1] : z(1) = 0\}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде тығыз $C_0^\infty(0,1)$ сызықтық көпсаласында анықталған. Енді $L_\varepsilon^+ C L_\varepsilon^*$ қатыстығын ескерсек, онда сыңар L_ε^* операторы да $L^2(0,1)$ –кеңістігінде тығыз анықталған, демек L_ε қабынатын оператор. Жоғарыда айтылған себеп бойынша L_ε операторы да тығыз анықталған, сол себепті, мына, $(\overline{L_\varepsilon})^{-1} = \overline{L_\varepsilon^{-1}}$ формуласы орынды, яғни L_ε операторының қабындысы шектеулі қайтымды. Демек жоғарыдағы (1)-(2) есеп әлді шешіледі.

Шынында-да, егер $f(x)$ функциясы $L^2(0,1)$ кеңістігінің кезкелген элементі болса, онда үздіксіз $\{f_n(x)\}, n = 1, 2, \dots$ функциялардың тізбегі табылып, $f_n(x) \rightarrow f(x)$ шарты $L^2(0,1)$ кеңістігінде орындалады. Бұл функцияларға, мынадай,

$$y_n(x, \varepsilon, f) = \frac{1}{2} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f_n(t) dt \quad (5)$$

функциялар сәйкес келеді, және олар, мынадай,

$$L_\varepsilon y_n = f_n(x), n = 1, 2, \dots$$

Коши есептерінің тұрлаулы шешімдері болады. Алдын-ала алынған бағалаулар бойынша

$$\|y_n - y_m\| \leq \frac{1}{\alpha} \|L_\varepsilon y_n - L_\varepsilon y_m\| \leq \frac{\|f_n - f_m\|}{\alpha},$$

яғни $\{y_n\}$ – тізбегі $L^2(0,1)$ кеңістігінде фундаменталді, сондықтан, $y(x) \in L^2(0,1)$ функциясы табылсын $L_\varepsilon y_n \rightarrow f, y_n \rightarrow y$ ушарттары орындалады. Бұнан басқаша тұрғыдан карасақ, онда, мұнымыз, $y(x) \in D(\overline{L_\varepsilon})$ және $\overline{L_\varepsilon} y = f(x)$ дегенді білдіреді, ал $\overline{L_\varepsilon}$ операторының қайтымды екенін ескерсек, онда басқа шешім жоқ. Соныменен 2. толық дәлелденді.

Салдар 1. Мына,

$$\overline{L_\varepsilon^{-1}} f(x) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x \frac{e(x)}{e(t)} f(t) dt \quad (6)$$

формула, кезкелген $(\forall f(x) \in L^2(0, 1)) f(x) \in L^2(0, 1)$ үшін орынды.

Дәлелі. Жоғарыдағы (5) формулада $n \rightarrow \infty$ деп шекке көшсек (6) формуланы аламыз, себебі бұл сәтте интеграл асты шекке көшу туралы Лебегтің теоремасының барлық шарттары орындалып тұр.

Лемма 4. Егер

- 1) $a(1-x) = a(x)$;
- 2) $Su(x) = u(1-x), \forall x \in [0, 1]$

болса, онда SL_ε операторы симметриялы.

Дәлелі. Ә дегенде, $u(x), v(x) \in D(L_\varepsilon)$ болсын делік, онда

$$\begin{aligned} (SL_\varepsilon u, v) &= \int_0^1 L_\varepsilon u \times Sv \, dx = \int_0^1 [\varepsilon u'(x) + a(x)]v(1-x) \, dx = \\ &= \varepsilon \int_0^1 v(1-x) \, du + \int_0^1 a(x)u(x)v(1-x) \, dx = \\ &= \varepsilon v(1-x)u(x) \Big|_0^1 + \varepsilon \times \int_0^1 u(x)v'(1-x) \, dx + \int_0^1 u(x)a(x)v(1-x) \, dx = \\ &= |a(x) = a(1-x)| = \varepsilon \left(u, S \frac{d}{dx} v \right) + (u, Sav) = \\ &= \left(u, \varepsilon S \frac{d}{dx} v + Sav \right) = (u, SL_\varepsilon v). \end{aligned}$$

Салдар 2. $(SL_\varepsilon)^{-1}$ операторы симметриялы.

Дәлелі. Әу дегенде, $u = (SL_\varepsilon)^{-1}f, v = (SL_\varepsilon)^{-1}g$ болсын, делік, сонда

$$((SL_\varepsilon)^{-1}f, g) = (u, SL_\varepsilon v) = (SL_\varepsilon u, v) = (f, (SL_\varepsilon)^{-1}g).$$

Салдар 3. $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде жалқы оператор.

Дәлелі. Кезкелген $f_n, g_n \in D(SL_\varepsilon)^{-1}$ үшін, мына, $((SL_\varepsilon)^{-1}f_n, g_n) = (f_n(SL_\varepsilon)^{-1}g_n)$ теңдік орындалады. Егер $f(x)$ және $g(x) \in D(\overline{SL_\varepsilon})$ болса, онда $\{f_n\} \in D(SL_\varepsilon)^{-1}$ және $\{g_n\} \in D(SL_\varepsilon)^{-1}$ тізбектері табылып, $f_n \rightarrow f, (SL_\varepsilon)^{-1}f_n \rightarrow \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}f, g_n \rightarrow g, (SL_\varepsilon)^{-1}g_n \rightarrow \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}g$ шарттары орындалады. Жоғарыдағы формулада $n \rightarrow \infty$ деп шекке көшсек $((SL_\varepsilon)^{-1}f, g) = (f, \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}g)$ деген теңдік аламыз, яғни $(SL_\varepsilon)^{-1}$ операторы симметриясы. Демек, мына,

$$\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}} \subset \left[(SL_\varepsilon)^{-1} \right]^*$$

катыстық орынды, енді $D(\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}) = L^2(0,1)$ екенін ескерсек, онда $D(\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}) = D\left[\left((SL_\varepsilon)^{-1} \right)^* \right]^*$, керегі-де осы еді.

Салдар 4. Мына $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде әсіре үзкіс.

Дәлелі.

$$\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}} = \overline{L_\varepsilon^{-1}S^{-1}} = \overline{L_\varepsilon^{-1}S} = \overline{L_\varepsilon^{-1}} \times S.$$

$\overline{L_\varepsilon^{-1}}$ –операторының ядросы

$$K(a, t) = \frac{\theta(x-t)e(x)}{\varepsilon \times e(t)} = \frac{\theta(x-t)e^{-\int_t^x a(\xi)d\xi}}{\varepsilon}$$

функциясы мына $\Omega = [0,1] \times [0,1]$ жыйынды шектеулі, сондықтан $\overline{L_\varepsilon^{-1}}$ –операторын Гилберт пен Шмидтікі, демек $\overline{L_\varepsilon^{-1}}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде әсіре үзкіс. Әсіре үзкіс оператормен шектеулі оператордың көбейтіндісі әсіре үзкіс, сондықтан $\overline{L_\varepsilon^{-1}}S$ –операторы әсіре үзкіс, сонымен $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторының әсіре үзкісдігі дәлелденді.

Теорема 1. Мына, $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторы $L^2(0,1)$ кеңістігінде әсіре үзкіс және жалқы.

Теорема 2. Егер $a(x)$ –үзкіс нақты функция болса, және ол, мына,

- 1) $a(x) \geq \alpha > 0, \forall x \in [0,1]$;
- 2) $a(x) = a(1-x), \forall x \in [0,1]$

шарттарға сай болса, онда

(а) Кошидің (1)-(2) есебі әлді шешіледі;

(б) Кошидің (1)-(2) есебінің кезкелген әлді шешімі, мына,

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Sf, \varphi_n)}{\lambda_n} \varphi_n(x)$$

формула арқылы анықталады, мұндағы $\{\varphi_n(x)\}$ –дегеніміз $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторының меншікті векторларынан құралған ортанормаланған базис.

Дәлелі.

Гилберт пен Шмидтің теоремасы бойынша

$$\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}f} = \sum_{n=1}^{\infty} (\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}f}, \varphi_n) \times \varphi_n = \sum_{n=1}^{\infty} (f, \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}\varphi_n}) \varphi_n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(f, \varphi_n)}{\lambda_n} \varphi_n,$$

мұндағы λ_n^{-1} – дегеніміз $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторының меншікті мәндері, ал φ_n – соларға сәйкес меншікті векторлар. Осы теңдіктің екі жағын-да $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторымен әсер етсек, онда, мынадай,

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} (f, \varphi_n) \times \varphi_n(x)$$

Формула аламыз, яғни $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторының ортанормаланған векторлары $L^2(0,1)$ кеңістігінде ортанормаланған базис құрайды.

Біз енді өзіміздің Коши есебіне оралайық, оның операторлық түрі, мынадай,

$$\overline{L_\varepsilon}y = f$$

болады. Осы теңдіктің екі жағына-да S операторымен әсер етсек, онда

$$S\overline{L_\varepsilon}y = S \text{ немесе } \overline{SL_\varepsilon}y = Sf,$$

демек,

$$y(x, \varepsilon, f) = \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}Sf} = \overline{(SL_\varepsilon)^{-1}Sf} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Sf, \varphi_n)}{\lambda_n} \times \varphi_n.$$

Лемма 5. Егер $\varphi_n(x)$ – дегеніміз $\overline{(SL_\varepsilon)^{-1}}$ операторының меншікті векторлары, ал λ_n^{-1} меншікті мәндері болса, онда, мына,

$$(e, \varphi_n) = \varepsilon - \frac{\varphi_n(1)}{\lambda_n}, n = 1, 2, \dots$$

формула орынды, мұндағы $e(x)$ – дегеніміз сәйкес босмүшесіз теңдеудің шешімі

Дәлелі.

$$\begin{aligned} (Sae, \varphi_n) &= \left(Sae, \frac{\lambda_n S \varphi_n - \varepsilon \varphi_n'}{a} \right) = (Se, \lambda_n S \varphi_n - \varepsilon \varphi_n') = \\ &= (Se, \lambda_n S \varphi_n) - \varepsilon (Se, \varphi_n'); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Se, \varphi_n) &= \int_0^1 Sed \varphi_n = Se \times \varphi_n(x) \Big|_0^1 - \int_0^1 (Se)' \varphi_n(x) dx - \\ &= \varphi_n(1) + \int_0^1 Se' \times \varphi_n(x) dx = \varphi_n(1) + (Se', \varphi_n); \end{aligned}$$

Демек,

$$\begin{aligned} (Sae, \varphi_n) &= \lambda_n (e, \varphi_n) - \varepsilon \varphi_n(1) - \varepsilon (Se', \varphi_n) = |-\varepsilon e' = ae| = \\ &= \lambda_n (e, \varphi_n) - \varepsilon \varphi_n(1) + (Sea, \varphi_n), \end{aligned}$$

сондықтан

$$\lambda_n (e, \varphi_n) = \varepsilon \times \varphi_n(1), (e, \varphi_n) = \frac{\varepsilon \varphi_n(1)}{\lambda_n}.$$

3. Негізгі нәтижелер**Теорема 3.** Егер

- 1) $a(x) \in C^n[0,1]$ – нақты функция;
- 2) $\forall x \in [0,1]$ үшін $a(x) \geq \alpha > 0$;
- 3) $a(1-x) = a(x)$;
- 4) $f(x) \in W_2^n[0,1]$;

болса онда Кошидің (1)-(2) есебінің шешімі, мынадай,

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k \left[\frac{J^k f(x)}{a(x)} - \frac{J^k f(0)}{a(0)} e(x) \right] \varepsilon^k + (-1)^n \varepsilon^n L_\varepsilon^{-1} J^n f,$$

болады, мұндағы $J^0 = I, Jf = \frac{d}{dx} \left(\frac{f}{a} \right),$

$$\varepsilon e'(x) + a(x)e(x) = 0, e(0) = 1$$

$$\|L_\varepsilon^{-1} J^n f\| \leq \frac{\|J^n f\|}{\alpha}.$$

Дәлелі.

$$\begin{aligned} (Sf, \varphi_n) &= |\varepsilon \varphi_n' + a \varphi_n = \lambda_n S \varphi_n| = \left(Sf, \frac{\lambda_n S \varphi_n}{a} - \frac{\varepsilon}{a} \varphi_n' \right) = \\ &= \lambda_n \left(Sf, \frac{S \varphi_n}{a} \right) - \varepsilon \left(Sf, \frac{\varphi_n'}{a} \right) = |Sa = a(1-x) = a(x)| = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \lambda_n \left(S \frac{f}{a}, S \varphi_n \right) - \varepsilon \left(S \frac{f}{a}, \varphi_n' \right) = \lambda_n \left(\frac{f}{a}, \varphi_n \right) - \varepsilon \left(S \frac{f}{a}, \varphi_n' \right); \\
 \left(S \frac{f}{a}, \varphi_n' \right) &= \int_0^1 S \frac{f}{a} d \varphi_n = \varphi_n(x) S \frac{f}{a} / 0 - \int_0^1 \left(S \frac{d}{dx} \right)' \varphi_n(x) dx = \\
 &= \varphi_n(1) \frac{f(0)}{a(0)} + \int_0^1 S \left(\frac{f}{a} \right)' \varphi_n(x) dx = \varphi_n(1) \frac{f(0)}{a(0)} + \left(S \left(\frac{f}{a} \right)', \varphi_n \right), \\
 (Sf, \varphi_n) &= \lambda_n \left(\frac{f}{a}, \varphi_n \right) - \frac{f(0)}{a(0)} \varepsilon \varphi_n(1) - \varepsilon \left(S \left(\frac{f}{a} \right)', \varphi_n \right).
 \end{aligned}$$

Демек,

$$\begin{aligned}
 y(x, \varepsilon, f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Sf, \varphi_n)}{\lambda_n} \varphi_n(x) = \frac{f(x)}{a} - \frac{f(0)}{a(0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varepsilon \varphi_n(1)}{\lambda_n} \varphi_n(x) - \\
 &- \varepsilon y \left(x, \varepsilon, \frac{d}{dx} \frac{f}{a} \right) = \frac{f(x)}{a(x)} - \frac{f(0)}{a(0)} e(x) - \varepsilon y \left(x, \varepsilon, \frac{d}{dx} \frac{f}{a} \right).
 \end{aligned}$$

Әрі қарай, математикалық индукция әдісі бойынша

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k \left[\frac{J^k f(x)}{a(x)} - \frac{J^k f(0)}{a(0)} e(x) \right] \varepsilon^k + (-1)^n \varepsilon^n L_{\varepsilon}^{-1} J^n f(x),$$

мұндағы, $J^0 = I, Jf(x) = \frac{d}{dx} \frac{f}{a}$, бізге керегі-де осы еді.

4.Талқысы

Келесі,

$$L_{\varepsilon} y = \varepsilon y' + \frac{2}{1+x^2} y = \frac{2 \arctg^2 x + 6}{1+x^2},$$

$$y(0) = 0;$$

мысал әдістің дәлдігін көрсетіп тұр.

Бұл сәтте,

$$\begin{aligned}
 a(x) &= \frac{2}{1+x^2} \geq 2 > 0, f(x) = \frac{2 \arctg^2 x + 6}{1+x^2}; \\
 Df(x) &= \frac{d}{dx} \left(\frac{f}{a} \right), \rightarrow Df(x) = (\arctg^2 x + 3)' = \frac{2 \times \arctg x}{1+x^2}, \\
 D^2 f(x) &= \frac{d}{dx} (\arctg x)' = \frac{1}{1+x^2}, \\
 D^3 f(x) &= \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} \right)' = 0, \rightarrow \\
 y(x, \varepsilon, f) &= \frac{D^0 f(x)}{a(x)} - \frac{D^0 f(0)}{a(0)} e(x) - \left[\frac{Df(x)}{a(x)} - \frac{Df(0)}{a(0)} e(x) \right] \varepsilon + \\
 &+ \left[\frac{D^2 f(x)}{a(x)} - \frac{D^2 f(0)}{a(0)} e(x) \right] \varepsilon^2 + 0,
 \end{aligned}$$

мұнан,

$$\begin{aligned}
 y(x, \varepsilon, f) &= \arctg^2 x + 3 - 3e^{-\frac{2 \arctg x}{\varepsilon}} - 3 \arctg x + \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-\frac{2 \arctg x}{\varepsilon}} \right] \varepsilon^2 = \\
 &= \arctg^2 x + 3 - 3 \times e^{-\frac{2 \arctg x}{\varepsilon}} - \varepsilon \arctg x + \frac{\varepsilon^2}{2} - \frac{\varepsilon^2}{2} \times e^{-\frac{\arctg x}{\varepsilon}} = \\
 &= 3 + \arctg^2 x - \varepsilon \arctg x + \frac{\varepsilon^2}{2} - \left(3 + \frac{\varepsilon^2}{2} \right) e^{-\frac{2 \arctg x}{\varepsilon}}.
 \end{aligned}$$

5.Қорытынды

Спектралді теорияның әдістерін сингуляр әсерленген сызықтық есептерге табысты қолдануға болады, және бұл сәтте есептің бұрын соңды байқалмаған қасиеттері көрінеді екен.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений.-М.: Высш. шк. 1990.-200с.
- [2] Вишик М.И., Люстерник А.А. Регулярное вырождение и пограничный слой для линейных дифференциальных уравнений с малым параметром // Успехи математических наук, 1957. №5. с.3-122.
- [3] A. N. Tikhonov, Mat. Sbornik 27, 147-156 (1950), (in Russian).
- [4] M. I. Imanaliev, Asymptotical Methods in the Theory of Singularly Perturbed Integro-Differential Systems, Ilim, Bishkek,
- [5] S. Lomov, Introduction to the General Theory of Singular Perturbations, American Mathematical Society, Providence, RI, 1992.
- [6] V. Butuzov, Comput. Math. Math. Phys. 12, 14-34 (1972).
- [7] A. Vasil'eva, and V. Tupchiev, Soviet Math. Dokl. 9, 179-183 (1968).
- [8] V. Trenogin, Russian Math. Surveys 25, 119-156 (1970).
- [9] T. Sh. Kal'menov, S. T. Akhmetova, and A. Sh. Shaldanbaev, Mat. Zh. Almaty 4, 41-48 (2004), (in Russian).
- [10] T. Sh. Kal'menov, and U. A. Iskakova, Doklady Mathematics 45, 1460-1466 (2009).
- [11] T. Sh. Kal'menov, and A. Sh. Shaldanbaev, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems 18, 352-369 (2010).
- [12] A. Kopzhassarova, and A. Sarsenbi, Abstract and Applied Analysis 2012, 1-6 (2012), (Article ID 576843).
- [13] Orazov I., Shaldanbaev A., Shomanbayeva M. About the nature of the spectrum of the periodic problem for the heat equation with a deviating argument. // Abstract and Applied Analysis. Volume 2013(2013). Article ID 128363, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/128363>.
- [14] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, Isabek Orazov, Solution of a singularly perturbed Cauchy problem using a method of a deviating argument, AIP Conference Proceedings 1676, 020072 (2015); doi: 10.1063/1.4930498
- [15] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, and Asylzat Kopzhassarova,
- [16] Solution of a singularly perturbed Cauchy problem for linear systems of ordinary differential equations by the method of spectral decomposition, AIP Conference Proceedings 1759, 020090 (2016); doi: 10.1063/1.4959704.
- [17] Ахиезер Н.Н., Глазман Н.М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве.-М.: Наука, 1966.,-544с.
- [18] Рид М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Т.1-2. – М.: Мир, 1977.

REFERENCES

- [1] Vasil'eva A.B., Butuzov V.F. Asimtoticheskie metody v teorii singularnykh vozmushhenij.-M.: Vyssh. shk. 1990.-200s.
- [2] Vishik M.I., Ljusternik A.A. Reguljarnoe vyrozhdzenie i pogranslojnyj sloj dlja linejnykh differencial'nyh uravnenij s malym parametrom // Uspеhi matematicheskikh nauk, 1957. №5. s.3-122.
- [3] A. N. Tikhonov, Mat. Sbornik 27, 147-156 (1950), (in Russian).
- [4] M. I. Imanaliev, Asymptotical Methods in the Theory of Singularly Perturbed Integro-Differential Systems, Ilim, Bishkek,
- [5] S. Lomov, Introduction to the General Theory of Singular Perturbations, American Mathematical Society, Providence, RI, 1992.
- [6] V. Butuzov, Comput. Math. Math. Phys. 12, 14-34 (1972).
- [7] A. Vasil'eva, and V. Tupchiev, Soviet Math. Dokl. 9, 179-183 (1968).
- [8] V. Trenogin, Russian Math. Surveys 25, 119-156 (1970).
- [9] T. Sh. Kal'menov, S. T. Akhmetova, and A. Sh. Shaldanbaev, Mat. Zh. Almaty 4, 41-48 (2004), (in Russian).
- [10] T. Sh. Kal'menov, and U. A. Iskakova, Doklady Mathematics 45, 1460-1466 (2009).
- [11] T. Sh. Kal'menov, and A. Sh. Shaldanbaev, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems 18, 352-369 (2010).
- [12] A. Kopzhassarova, and A. Sarsenbi, Abstract and Applied Analysis 2012, 1-6 (2012), (Article ID 576843).
- [13] Orazov I., Shaldanbaev A., Shomanbayeva M. About the nature of the spectrum of the periodic problem for the heat equation with a deviating argument. // Abstract and Applied Analysis. Volume 2013(2013). Article ID 128363, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/128363>.
- [14] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, Isabek Orazov, Solution of a singularly perturbed Cauchy problem using a method of a deviating argument, AIP Conference Proceedings 1676, 020072 (2015); doi: 10.1063/1.4930498
- [15] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, and Asylzat Kopzhassarova,
- [16] Solution of a singularly perturbed Cauchy problem for linear systems of ordinary differential equations by the method of spectral decomposition, AIP Conference Proceedings 1759, 020090 (2016); doi: 10.1063/1.4959704.
- [17] Ahiezer N.N., Glazman N.M. Teorija linejnykh operatorov v gil'bertovom prostranstve.-M.: Nauka, 1966.,-544s.
- [18] Rid M., Sajmon B. Metody sovremennoj matematicheskoy fiziki. T.1-2. – М.: Mir, 1977.

М.И. Акылбаев,¹ Г.А. Бесбаев², А.Ш. Шалданбаев²

**РЕШЕНИЕ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ПЕРЕМЕННЫМ
КОЭФФИЦИЕНТОМ, МЕТОДОМ ОТКЛОНЯЮЩЕГОСЯ АРГУМЕНТА**

Казахстанский инженерно-педагогический университет Дружбы народов, г.Шымкент
Южно-Казахстанский государственный университет, г.Шымкент

Ключевые слова: полнота, самосопряженный оператор, вполне непрерывный оператор, теорема Гилберта – Шмидта, вольтеровые операторы, индефинитная метрика, разложение Шмидта, ортонормированный базис.

Аннотация. В данной работе получено спектральное разложение решения задачи Коши в пространстве с индефинитной метрикой, и с помощью этого разложения выведено погранслоное разложение решения сингулярно возмущенной задачи Коши, для модельного уравнения первого порядка $\varepsilon y' + a(x)y(x) = f(x)$, $y(0) = 0$, $a(x) > 0$, $f(x) \in W_2^n[0,1]$, $a(x) \in C^n[0,1]$.

Сведения об авторах:

Бесбаев Г.А. к.ф.-м.н., и.о. доцента кафедры «Автоматики и телекоммуникации» Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова, г. Шымкент.

Акылбаев М.И. к.т.н., доцент кафедры «Информатики и математики» Южно-Казахстанского педагогического университета, г. Шымкент.

Шалданбаев А.Ш. – д.ф.-м.н., профессор кафедры «Математические методы и моделирование» Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова, г. Шымкент.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 223 – 229

UDC 538.95

**A.D. Kudaibergen, K.B. Baigisova, K.U. Zhetpisbayev,
G.T. Aldzhambekova, B.D. Sarsembayeva**

K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

EFFECT OF NANOSTRUCTURES ON HTSC PROPERTIES

Abstract. The given work represents a review of scientific papers devoted to the study of pinning centers, which can be used for a significant increase of critical current density J_c . The pinning centers in HTSC are created by embedding the nanoscale additives as various forms of metallic oxides and carbides. It is found that the dependence of normalized critical current on the volume concentration of these dopants is described, as a rule, with a single universal curve. It is shown a range of optimal volume concentrations and sizes of additives, which leads to maximal increase of J_c .

Keywords: HTSC, pinning centers, defects, nanosized additives.

УДК 538.95

**А.Д. Кудайберген, К.Б. Байгисова, К.У. Жетписбаев,
Г.Т. Алджамбекова, Б.Д. Сарсембаева**

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА ВТСП

Аннотация. В данной работе проведен обзор научных работ, посвященных исследованию пиннинг-центров, которые могут быть использованы для значительного увеличения критической плотности тока J_c . Пиннинг-центры в ВТСП создаются внедрением наноразмерных добавок в виде различных металлоксидов и карбидов. Установлено, что зависимость нормированного критического тока от объемной концентрации указанных легирующих добавок описывается, как правило, одной универсальной кривой. Показан диапазон оптимальных объемных концентраций и размеров добавок, приводящий к максимальному повышению J_c .

Ключевые слова: ВТСП, пиннинг-центры, дефекты, наноразмерные добавки.

Введение

Основная доля научных работ последних лет в области исследований свойств высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) концентрируется в поиске способов улучшения их характеристик: критической температуры T_c до максимального уровня вплоть до комнатной температуры, устойчивости к внешним магнитным воздействиям, и самое главное, критической плотности тока J_c .

Для качественного объяснения факта роста J_c при увеличении концентрации дефектов в ВТСП материале следует обратиться к общепринятому подходу, согласно которому по магнитным свойствам все сверхпроводники делятся на два класса – сверхпроводники I рода и сверхпроводники II рода. В сверхпроводниках I рода Мейсснеровское (диамагнитное) состояние разрушается вместе со сверхпроводимостью при достижении некоторого магнитного поля H_c , которое называется термодинамическим критическим полем. Поэтому магнитное поле практически не проникает (выталкивается – т.е. проявляет свойство идеального диамагнетика). В сверхпроводниках II рода магнитное поле проникает. Во внешнем магнитном поле они могут находиться в смешанном состоянии, когда магнитный поток частично проникает в сверхпроводник в виде так называемых абрикосовских вихрей. Повышение устойчивости этой вихревой

решетки, как правило, достигается путем создания дополнительных центров пиннинга – микрообластей, характеризующихся различной величиной энергии захвата и фиксации абрикосовских вихрей. Считается, что каждый такой центр должен представлять собой некоторое нарушение структуры сверхпроводника, которое по размерам сопоставимо с длиной когерентности. Поскольку практическое использование ВТСП в сильноточковой технике требует не только больших значений плотности критического тока, а также их высокую устойчивость во внешних магнитных полях, но реализация этих параметров оказывается принципиально невозможной без создания эффективных центров пиннинга.

При протекании тока через сверхпроводник на систему вихрей со стороны тока действует сила Лоренца, которая вызывает движение вихрей. При движении вихрей происходит диссипация энергии и это приводит к появлению напряжения на сверхпроводнике. Если в сверхпроводнике имеются дефекты, то вихри закрепляются (пиннингуются) на них и диссипация энергии не происходит. Критический ток J_c при прочих равных условиях увеличивается. Таким образом, одним из следствий вихревой теории является то, что увеличение количества центров пиннинга приводит к увеличению J_c . Наиболее эффективными центрами пиннинга являются нормальные области, имеющие размер, сравнимый с длиной когерентности сверхпроводника. Для ВТСП этот размер имеет порядок несколько нанометров. То есть, можно ожидать, что структурные дефекты такого масштаба, а к ним относятся, в частности, как наноразмерные добавки и включения, так и радиационные дефекты, могут играть роль эффективных центров пиннинга, приводящих к повышению критического тока.

Увеличение концентрации дефектов сначала приводит к повышению критического тока, затем наступает его быстрое падение вплоть до нулевых значений (см. качественный график на рисунке 1). Ниже рассматриваются литературные данные по влиянию добавок, примесей и радиационных воздействий на критический ток высокотемпературных сверхпроводников [1-2].

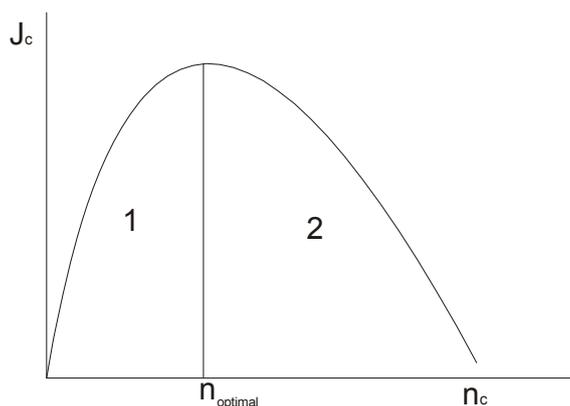


Рисунок 1– Качественная зависимость критического тока от концентрации дефектов для сверхпроводников II рода. 1 - область повышения критического тока, 2 - область падения критического тока

Методы и результаты исследования

Существует три основных метода создания искусственных центров пиннинга в высокотемпературных сверхпроводящих материалах:

- введение примесей и добавок, в том числе выпадение второй фазы в процессе синтеза;
- радиационные воздействия;
- создание искусственной планарной (в том числе упорядоченной) структуры дефектов.

Внедрение примесей и добавок в сверхпроводящую матрицу с целью создания центров пиннинга осуществляется многочисленными способами. Например, производится добавление к прекурсорам отдельных элементов, которые в процессе реакции образуют несверхпроводящие соединения, которые выпадают в виде точечных, двумерных или трехмерных образований. Так, добавки Zr, Ce, Hf при синтезе Y_{123} приводят к формированию цирконатов, цератов, гафнатов бария [3-5]. Введение примесей отдельных элементов может также приводить к созданию точечных дефектов за счет встраивания примесных атомов в кристаллическую структуру ВТСП материала. Другой распространенный способ введения примесей – добавка на этапе синтеза химически нейтральных тугоплавких соединений оксидов, нитридов, карбидов и т.п. [1, 19, 20].

Создание искусственных центров пиннинга с помощью радиационных воздействий основано на образовании в сверхпроводящем материале радиационных дефектов, тип, характерный размер и концентрация которых зависит от вида облучения (нейтронное, ионное, электронное) и энергии частиц. Это достаточно удобный способ создания центров пиннинга, используемый в многочисленных экспериментах [1, 19, 20]

Для усиления пиннинга пленочных структур также используется метод, в котором система центров пиннинга образуется на поверхности сверхпроводящей пленки (или подложки перед напылением пленки) путем нанесения металлического слоя и последующего литографирования для создания требуемых в эксперименте размеров и конфигурации центров пиннинга. В том числе, могут получаться различные упорядоченные структуры дефектов с наличием определенной симметрии [6].

Главной проблемой в увеличении J_c является формирование высокой концентрации эффективных центров пиннинга в структуре ВТСП материала без уменьшения значения критической температуры [7-9]. То есть, за счет поиска благоприятных примесей, их концентрации и дисперсности должен быть установлен компромисс между увеличением J_c и снижением T_c . Следовательно, представляет интерес стратегия увеличения силы пиннинга вихрей, включающая поиск и опробование различных видов химических добавок (прежде всего тугоплавких соединений металлов), способных создавать наноразмерные дефекты в ВТСП.

В отличие от радиационных дефектов [1-2], в случае введения химических добавок нет простой зависимости сверхпроводящих свойств от содержания добавки (концентрации центров пиннинга). Поведение свойств ВТСП материала с добавками намного сложнее и разнообразнее в своих проявлениях. Существуют две важные закономерности при внедрении наноразмерных частиц добавки. При некоторых малых, довольно узких концентрациях, добавки могут оказывать положительное влияние на критические характеристики сверхпроводника. При дальнейшем увеличении концентрации добавки, как правило, происходит подавление сверхпроводимости. Например, может наблюдаться разложение ВТСП на вторые фазы, либо задержка роста необходимой фазы и происходит рост вторичных несверхпроводящих фаз [9, 10]. Если добавки даже при малых концентрациях ухудшают сверхпроводящие характеристики ВТСП материала, тогда дальнейшее увеличение их содержания еще более негативно отражается на сверхпроводящих характеристиках [11]. Иллюстраций вышеописанных эффектов приведены в работе [9], в которой проводилось исследование влияния добавки Ag_2O на BSCCO фазы 2223 (Bi-2223) в концентрациях от 0 - 45 масс.%, а также работа [10] по изучению внедрения Ag_2O (0-20 масс.%) в керамику NBCO. В работе [11] установлен выраженный эффект подавления сверхпроводящих свойств независимо от концентрации добавки и их этапов внедрения. В фазу Bi-2223 внедрялась добавка SnCa, которая даже при минимальном содержании полностью подавляет сверхпроводимость в ВТСП материале. Такое поведение вызывается тем, что $S_{1.1}O_2$ реагирует с Ca и образует соединение $Ca_2Sn_{0.4}$, которое стабильно в течение всего процесса синтеза. По этой причине содержание Bi-2223 резко сокращается.

Анализ данных показывает, что все дефекты замещения (для которых измерялось J_c) увеличивают плотность критического тока. Однако только LiF и Mo при этом увеличивают величину T_c . Для всех образцов (у которых измерялись механические свойства) при внедрении примеси улучшались механические характеристики, а также происходило либо увеличение содержания фазы, либо ее стабилизация.

Достаточно интересна работа [12] в которой наблюдалось одновременное замещение и выпадение «вторых» фаз в матрице ВТСП. Исследовалось влияние концентрации Zr и Ce на транспортные свойства лент второго поколения (Gd,Y)BaCuO (фаза 123 изготавливались по методу Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD). Концентрации варьировались для Zr-0-15 моль %, для Ce-0-10 моль %. Показано, что при увеличении концентрации Zr(BaZrOs) до 7,5 моль % происходит увеличение J_c до $0,98 \text{ MA/cm}^2$ при 77 К. Это больше чем на 70 % относительного нелегированного образца. При этом уменьшение T_c составило всего 1 К и стало 88,8 К. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к уменьшению критического тока. Влияние добавки Ce двойко: если выпадает вторая фаза – происходит подавление плотности критического тока; если происходит замещение Ba – происходит увеличение J_c до 4 MA/cm^2 вплоть до достижения 10 моль %, т.о. в зависимости от методики изготовления может проявляться то или иное свойство.

В отличие от работы [18] в которой В частично замещал Cu, здесь В в процессе синтеза образует различные фазы, которые равномерно распределены в объеме сверхпроводника в виде кластеров. Эти кластеры являются дополнительными центрами пиннинга. Отнесение в данном случае В к добавкам внедрения вызвано тем, что основным видом увеличения J_c является внедрение (хотя происходит и частичное замещение В атомов Cu) В в виде кластеров в структуру ВТСП материала.

Исследовано влияние добавки MgO в интервале концентрацией 3, 9, 10 масс.% на свойства Bi-2212 [7]. Из экспериментов видно, что при внедрении MgO сверхпроводящий переход становится более резким относительно нелегированного Bi-2212 и увеличивается плотность (уменьшается пористость) образцов. Зерна легированного Bi-2212 уменьшаются в размерах на порядок. Анализ микроструктуры показывает, что частицы MgO проникают в зерна и находятся в них как в виде отдельных частиц, так и в виде агломераций частиц с размерами 30-300 нм. Добавки MgO улучшают механические и токопроводящие свойства сверхпроводника. Однако T_c при этом незначительно уменьшается (~2-3 К).

Также интересна работа [13] по внедрению добавки MgO в пленочные образцы с характерными размерами 3x30 мм и толщиной 10-90 мкм, выполненная в направлении оценки не только влияния добавки, но и методики изготовления пленки. В работе рассматривалось четыре варианта внедрения MgO в Bi-2212.

Содержание добавки во всех случаях составляло 4 масс. %. Все варианты изготовления показали, что добавка увеличивает плотность критического тока при росте, как температуры, так и магнитного поля. В зависимости от методики внедрения значение J_c увеличивалось в максимуме на порядок. Например, для $T=5$ К $J_c(H)$ увеличивалось в 5-8 раз, а для $H=1000$ мТл $J_c(T)$ увеличивалось в 3-40 раз в зависимости от метода изготовления, причем максимальные величины прироста достигались при больших полях и температурах. Абсолютное значение J_c было в диапазоне 2500-15000 А/см².

В работах [14, 15] рассматривалось влияние карбида ниобия и TaC на характеристики Bi-2223. Показана возможность повышения критической плотности тока керамики Bi-2223 при 77 К в два раза за счет внедрения микродобавок TaC (0,1 масс. %) и термообработки при 840 С⁰ в течение 30-40 часов. Показано, что микродобавки TaC (0,05 - 0,1 масс.%) не оказывают существенного влияния на фазовый состав и кристаллографические параметры керамики. При увеличении содержания TaC до 0,2 масс. % и выше становятся заметными микроструктурные изменения, которые приводят к понижению сверхпроводящих свойств легированной керамики по сравнению с нелегированной. Малые концентрации TaC способствуют уменьшению ширины сверхпроводящего перехода обоих сверхпроводящих фаз (Bi-2223 и Bi-2212) и некоторому повышению T_c . Также положительные эффекты внедрения добавок наблюдались в работах [16, 17].

Для определения влияния искусственных нанодобавок на свойства Bi-2223 авторами [1-2] были проведены работы, где исходное висмутсодержащее соединение Bi-2223 приготовлено методом совместного напыления карбонатов. Порошок синтезированного соединения преимущественно состоит из фазы 2223 (90 об. %), 2212 (5÷10 об. %), 2201 (2÷3 %) и PbCaO₄. Для создания искусственных центров пиннинга применены мелкодисперсные порошки NbN, TaC, NbC (с характерным размером гранул 10÷30 нм). Весовые концентрации добавок составляли от 0.05 до 0.2 %. Смесь порошков фазы 2223 и наноразмерных частиц перемешивали во вращающемся контейнере в течение 30 часов и затем проводили холодное прессование в таблетки диаметром 8 мм и толщиной 2 мм. Давление прессования во всех компактируемых таблетках было одинаковым и равнялось 100 кг/см². Последующее высокотемпературное спекание таблеток разного состава, в том числе и образца без добавок, проводилось одновременно. Спекание осуществлялось при температуре 840°С в течение 10 часов.

Для оптимизации концентрации добавок, приводящей к максимальному росту J_c , необходимо проанализировать зависимости J_c от объемной концентрации структурных дефектов n , т.е. от числа центров пиннинга в единице объема сверхпроводника. Несмотря на то, что массовая концентрация различных добавок варьировалась в одинаковых пределах от 0.05 до 0.2 масс. %, объемная концентрация примесей существенно различается, так как различны плотности легирующих добавок при одинаковом среднем поперечном размере наноразмерных частиц. Объемная концентрация частиц была рассчитана, исходя из характерного поперечного размера частицы в 20 нм и плотностей легирующих веществ NbN: $\rho \approx 8.4$ г/см³; NbC: $\rho \approx 8.0$ г/см³; TaC: $\rho \approx 14.4$ г/см³. На рисунке 2 представлена зависимость критического тока при $T=4.2$ К, нормированного на максимальную величину, от концентрации добавок (центров пиннинга) различных легирующих веществ. Кривая имеет универсальный куполообразный характер с максимумом в диапазоне $n \approx 6 \div 7 \cdot 10^{13}$ частиц/см³. Таким образом, в результате проведенных исследований намагниченности образцов Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ при различных содержаниях наноразмерных добавок карбида тантала, карбида ниобия и нитрида ниобия, впервые обнаружено, что наноразмерные добавки приводят к резкому увеличению намагниченности. Это, в свою очередь, означает повышение критической плотности тока. Наиболее заметное повышение критической плотности тока зарегистрировано при внедрении TaC. В нулевом поле повышение J_c составило 120% при $T=4,2$ К и 100 % при $T=77$ К. Максимальное повышение критической плотности тока на 290 % отмечено при $T=77$ К в магнитном поле 40 мТл. Анализ зависимостей нормированной критической плотности тока от объемной концентрации частиц указывает на существование универсальной кривой $J_c(n)$, имеющей экстремум в области оптимальной концентрации наноразмерных добавок $n_{\text{опт}} \approx 6 \div 7 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Использование универсальной кривой $J_c(n)$ открывает путь к прогнозированию оптимальных весовых концентраций наноразмерных добавок иных материалов, исходя из плотности используемого вещества и его дисперсности.

Аналогичные исследовательские работы авторами проводились в работах [19, 20], было исследовано влияние различных наноразмерных Co₃O₄ (10, 30 и 50 нм) добавок на сверхпроводник Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀(Co₃O₄)_x с $x = 0-0.05$ масс. % к его свойствам. С помощью рентгеновского дифрактометра и сканирующей электронной микроскопии проводились измерения критической температуры и критической плотности тока. Образцы были изготовлены обычным способом твердофазной реакции. Образцы с $x=0,01$ масс. % Co₃O₄ (10нм) показали самую высокую T_{c-zero} при 102 К. Наибольшее J_c наблюдалось при $x=0,03$ масс. % Co₃O₄ (10 нм) и $x=0,02$ масс. % Co₃O₄ (30нм) образцов. При 77 К плотность тока проводимости J_c для образцов 10 нм и 30 нм Co₃O₄ соответственно увеличивается в 6 и 13 раз больше, чем у образцов без добавок, соответственно.

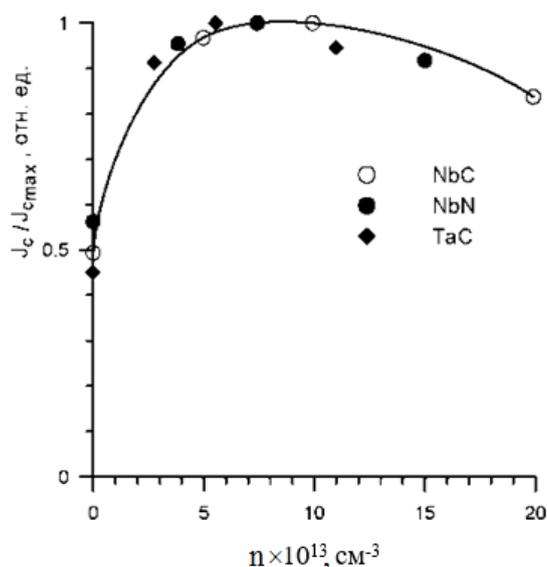


Рисунок 2 – Зависимость нормированной плотности критического тока от объемной концентрации различных легирующих добавок

При малых внедрениях образцов наночастиц Co_3O_4 в $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (Bi-2223) повышается критическая плотность тока и формирование фаз. При больших добавках наночастиц (50 нм) Co_3O_4 наблюдается изменение фазы сверхпроводимости Bi-2223 (таблица 1).

Соответственно, по результатам авторов работ можно предположить, что оптимальные размеры нанодобавок не превышает 50 нм, также оптимальное процентное соотношение нанодобавок составляет 0.01-0.05 масс. %.

Таблица 1 - Зависимости критических характеристик сверхпроводников от размеров нанодобавок

x (масс %)		Процентная доля состава		T_{c-zero} ($\pm 1\text{K}$)	J_c при 30K (mA/cm^2)	J_c при 77K (mA/cm^2)
		Bi-2223(%)	Bi-2212(%)			
10нм	0	51	49	100	371	26
	0.01	61	39	102	412	108
	0.02	61	39	101	590	122
	0.03	72	28	97	1232	358
	0.04	63	37	99	725	342
	0.05	51	49	95	986	82
30нм	0	51	49	100	371	26
	0.01	72	28	97	1389	923
	0.02	44	56	97	1018	609
	0.03	48	52	96	1262	508
	0.04	53	47	98	1025	731
	0.05	47	53	94	440	236
50нм	0	51	49	100	371	26
	0.01	72	28	97	1389	923
	0.02	44	56	97	1018	609
	0.03	48	52	96	1262	508
	0.04	37	63	95	755	250
	0.05	37	63	93	428	170

Выводы

Таким образом, краткий обзор экспериментальных работ, посвященных исследованию пиннингговых центров, показывает, что есть возможность определения оптимальной концентрации наноразмерных добавок, в которой плотность тока дает максимальное значение. Литературные данные по данному направлению показывают, что на повышение критических характеристик исследуемого материала наряду с оптимальной концентрации самих нанодобавок влияет также их размеры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И.А. Руднев, М.А. Осипов. Локальные магнитооптические исследования магнитных структур в высокотемпературных сверхпроводящих композитах. Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т.77(3). С. 369-372.
- [2] И. А. Руднев. Эффекты влияния нанодобавок и радиационных воздействий на транспортные и магнитные характеристики перспективных сверхпроводящих материалов. 2014. С. 258
- [3] M. Miura, B. Mayorov, S.A. Baily, N. Haberkorn, J.O. Willis, K. Marken, T. Izumi, Y. Shiohara, and L. Civale. Mixed pinning landscape in nanoparticles-introduced YgdBa₂Cu₃O_y films grown by metal organic deposition. Physical Review B. 2011. 83. 184519 (1-8).
- [4] Kaname Matsumoto and Paolo Mele. Artificial pinning center technology to enhance vortex pinning in YBCO coated conductors. Supercond Sci. Technol. 2010. 23. 014001 (1-12).
- [5] T. Aytug, M. Paranthaman, E.D. Specht, Y. Zhang, K. Kim, Y.L. Zuev, C. Cantoni, A. Goyal, D.K. Christen, V.A. Maroni, Y. Chen and V. Selvamanickam. Enhanced flux pinning in MOCVD-YBCO films through Zr additions: systematic feasibility studies. Supercond. Sci. Technol. 2010. 23. P. 014005 (1-7).
- [6] J.E. Villegas, E.M. Gonzalez, Z. Sefrioui, J. Santamaria, J.L. Vicent. Vortex phases in superconducting Nb thin films with periodic pinning. Physical Review B. 2005. 72. P. 174512 (1-6).
- [7] K. Christova, A. Manov, J. Nyhus, U. Thisted, O. Herstad, S. E. Foss, K. N. Haugen, K. Fosshem, Bi₂Sr₂CaCu₂O_x bulk superconductor with MgO particles embedded. Journal of Alloys and Compounds, 2002. 340. P. 1-5.
- [8] M. T. Gonzales, N. Hari-Babu, D. A. Cardwell, Enhancement of J_c under magnetic field by Zn doping in melt-textured Y-Ba-Cu-O superconductors. Superconductor Science and Technology, 2002.15. P. 1372-1376.
- [9] I. Karaca, S. Celebi, A. Varilci, A. I. Malik, Effect of Ag₂O addition on the intergranular properties of the superconducting Bi-(Pb)-Sr-Ca-Cu-O system. Superconductor Science and Technology. 2003.16. P. 100-104.
- [10] M. Matsui, N. Sakai, M. Murakami, Effect of Ag₂O addition on trapped field and mechanical properties of Nd-Ba-Cu-O bulk superconductors. Superconductor Science and Technology, 2002.15. 10921098.
- [11] V. Garnier, S. Marinel, G. Desgardin, Influence of the addition of SnO₂ nano-particles on Bi-2223 phase formation. Journal of Materials Science. 2002.37. P. 1785-1788.
- [12] V. Selvamanickam, Y. Chen, J. Xie, Y. Zhang, A. Guevara, I. Kesgin, G. Majkic, M. Martchevsky, Influence of Zr and Ce Doping on Electromagnetic Properties of (Gd,Y)-Ba-Cu-O Superconducting Tapes Fabricated by Metal Organic Chemical Vapor Deposition. Physica C. 2009. V. 469. P. 2037.
- [13] Igor E. Agranovski, Alexander Y. Ilyushechkin and others, Methods of introduction of MgO nanoparticles into Bi-2212/Ag tapes. Physica C. 2006. 434. P. 115-120.
- [14] А.Г. Колмаков, Б.П. Михайлов, П.Е. Казин, И.В. Апалькина, Оптимизация микроколичеств карбида ниобия в сверхпроводящей керамике (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+x} с использованием подхода мультифрактального формализма. Неорганические материалы. 2003. Т.39(4). С.495-504.
- [15] Б.П. Михайлов, Г.С. Бурханов, П.Е. Казин, В.В. Ленников, С.В. Шавкин, Г.В. Ласкова, А.А. Титов, Микроструктура и сверхпроводящие свойства керамики Bi-2223, легированной карбидом тантала. Неорганические материалы. 2001. Т.37 (11). С.1402-1408.
- [16] M.Zouaoui, A.Ghattas, M.Annabi et al., Magneto-resistance analysis of nanometer Al₂O₃ added Bi-2223 polycrystalline superconductors. Journal of Physics Conference Series. 2009.150. 052292.
- [17] H.Abbasi, J.Taghipour, H.Sedghi, The effect of MgCO₃ addition on the superconducting properties of Bi-2223 superconductors // Journal of Alloys and Compounds, 2009. 482, P. 552-555.
- [18] D. Sykorova, O. Smrckova, K. Rubesova, K. Knizek, Influens of B, Al, Ga, In on the composition of Bi(Pb)SrCaCuO system // Physica B, 2002. 321. P. 295-297.
- [19] **Nur Jannah Azman, Huda Abdullah, and Roslan Abd-Shukor**, Transport Critical Current Density of (Bi₁₆Pb₀₄)Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ Ceramic Superconductor with Different Nanosized Co₃O₄. Addition; *School of Applied Physics, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia*, 2014.
- [20] Nabil A. A. Yahya and R. Abd-Shukor, Electrical Transport Properties of (Bi₁₆Pb₀₄Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀)/Ag Tapes with Different Nanosized MgO. *School of Applied Physics, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia*, 2013.

REFERENCES

- [1] I.A. Rudnev, M.A. Osipov. Lokalnie magnitoopticheskie issledovaniya magnitnykh struktur v vysokotemperaturnykh sverchprovodyashich kompositach // Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. 2013. T.77(3). S.369-372. (In Russian)
- [2] I.A. Rudnev. Effekty vliyaniya nanodobavok i radiacionnykh vozdeystvii na transportnyie i magnitnyie charakteristiki perspektivnykh sverchprovodyashich materialov. 2014. S. 258. (In Russian)
- [3] M. Miura, B. Mayorov, S.A. Baily, N. Haberkorn, J.O. Willis, K. Marken, T. Izumi, Y. Shiohara, and L. Civale. Mixed pinning landscape in nanoparticles-introduced YgdBa₂Cu₃O_y films grown by metal organic deposition. Physical Review B. 2011. 83. 184519 (1-8).
- [4] Kaname Matsumoto and Paolo Mele. Artificial pinning center technology to enhance vortex pinning in YBCO coated conductors. Supercond Sci. Technol. 2010. 23. 014001 (1-12).
- [5] T. Aytug, M. Paranthaman, E.D. Specht, Y. Zhang, K. Kim, Y.L. Zuev, C. Cantoni, A. Goyal, D.K. Christen, V.A. Maroni, Y. Chen and V. Selvamanickam. Enhanced flux pinning in MOCVD-YBCO films through Zr additions: systematic feasibility studies. Supercond. Sci. Technol. 2010. 23. P. 014005 (1-7).
- [6] J.E. Villegas, E.M. Gonzalez, Z. Sefrioui, J. Santamaria, J.L. Vicent. Vortex phases in superconducting Nb thin films with periodic pinning. Physical Review B. 2005. 72. P. 174512 (1-6).

- [7] K. Christova, A. Manov, J. Nyhus, U. Thisted, O. Herstad, S. E. Foss, K. N. Haugen, K. Fossheim, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ bulk superconductor with MgO particles embedded. *Journal of Alloys and Compounds*, 2002. 340. P. 1-5.
- [8] M. T. Gonzales, N. Hari-Babu, D. A. Cardwell, Enhancement of J_c under magnetic field by Zn doping in melt-textured Y-Ba-Cu-O superconductors. *Superconductor Science and Technology*, 2002.15. P. 1372-1376.
- [9] I. Karaca, S. Celebi, A. Varilci, A. I. Malik, Effect of Ag_2O addition on the intergranular properties of the superconducting Bi-(Pb)-Sr-Ca-Cu-O system. *Superconductor Science and Technology*. 2003.16. P. 100-104.
- [10] M. Matsui, N. Sakai, M. Murakami, Effect of Ag_2O addition on trapped field and mechanical properties of Nd-Ba-Cu-O bulk superconductors. *Superconductor Science and Technology*, 2002.15. 10921098.
- [11] V. Garnier, S. Marinel, G. Desgardin, Influence of the addition of SnO_2 nano-particles on Bi-2223 phase formation. *Journal of Materials Science*. 2002.37. P. 1785-1788.
- [12] V. Selvamanickam, Y. Chen, J. Xie, Y. Zhang, A. Guevara, I. Kesgin, G. Majkic, M. Martchevsky, Influence of Zr and Ce Doping on Electromagnetic Properties of (Gd,Y)-Ba-Cu-O Superconducting Tapes Fabricated by Metal Organic Chemical Vapor Deposition. *Physica C*. 2009. V. 469. P. 2037.
- [13] Igor E. Agranovski, Alexander Y. Ilyushechkin and others, Methods of introduction of MgO nanoparticles into Bi-2212/Ag tapes. *Physica C*. 2006. 434. P. 115-120.
- [14] A.G. Kolmakov, B.P. Mikhailov, P.E. Kazin, I.V. Apalkina, Optimizatsiya mikrokolichestv karbida niobiya v sverhprovodyashey keramike $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ s ispolzovaniem podhoda multifraktalnogo formalizma. *Neorganicheskie materialy*. 2003. T.39(4). S. 495-504. (In Russian)
- [15] B.P. Mikhailov, G.S. Burhanov, P.E. Kazin, V.V. Lennikov, S.V. Shavkin, G.V. Affectionate, A.A. Titov, Mikrostruktura I sverhprovodyaschie svoystva keramiki Bi-2223, legirovannoy karbidom tantalata. *Neorganicheskie materialy*. 2001. T.37 (11). S.1402-1408. (In Russian)
- [16] M.Zouaoui, A.Ghattas, M.Annabi et al., Magneto-resistance analysis of nanometer Al_2O_3 added Bi-2223 polycrystalline superconductors. *Journal of Physics Conference Series*. 2009.150. 052292.
- [17] H.Abbasi, J.Taghipour, H.Sedghi, The effect of MgCO_3 addition on the superconducting properties of Bi2223 superconductors // *Journal of Alloys and Compaunds*, 2009. 482, P. 552-555.
- [18] D. Sykorova, O. Smrckova, K. Rubesova, K. Knizek, Influens of B, Al, Ga, In on the composition of Bi(Pb)SrCaCuO system // *Physica B*, 2002. 321. P. 295-297.
- [19] **Nur Jannah Azman, Huda Abdullah, and Roslan Abd-Shukor**, Transport Critical Current Density of $(\text{Bi}_{16}\text{Pb}_{04})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ Ceramic Superconductor with Different Nanosized Co_3O_4 . Addition; *School of Applied Physics, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia*, 2014.
- [20] Nabil A. A. Yahya and R. Abd-Shukor, Electrical Transport Properties of $(\text{Bi}_{16}\text{Pb}_{04}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10})/\text{Ag}$ Tapes with Different Nanosized MgO. *School of Applied Physics, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia*, 2013.

ӘОЖ: 538.95

А.Д. Құдайберген, Қ.Б. Байгісова, Қ.У. Жетпісбаев, Г.Т. Алжамбекова, Б.Д. Сәрсембаева

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

НАНОҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ЖТАӨ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аннотация. Берілген жұмыста критикалық тоқ тығыздығын J_c біршама арттыру мақсатында пайдаланылатын пиннинг орталықтарын зерттеуге байланысты ғылыми жұмыстарға шолу жасалды. Жоғары температуралы асқын өткізгіштердегі (ЖТАӨ) пиннинг орталықтары оған әртүрлі металл оксидтер мен карбидтер түріндегі нано өлшемді қоспалар енгізу арқылы жасалады. Қағида бойынша, критикалық тоқтың берілген қоспалардың көлемдік концентрациясына тәуелділігі бір ғана әмбебап қисықпен сипатталатыны белгіленген. J_c мәнінің максимал өсуін қамтамасыздандыратын көлемдік концентрация мен қоспа өлшемінің оңтайлы диапазоны көрсетілді.

Тірек сөздер: ЖТАӨ, пиннинг орталығы, дефектілер, наноөлшемді қоспалар.

Сведения об авторах:

Құдайберген Азамат – Магистрант 2-го курса специальности «Техническая физика», КазННТУ им. К.И. Сәтпаева, эл.почта: kudaibergen.azamat@inbox.ru, тел: 8 708 839 2826;

Байгісова Қымбат – PhD, Лектор кафедры общей и теоретической физики КазННТУ им. К.И. Сәтпаева, эл.почта: kymbat_b@mail.ru, тел: 8 747 136 7117;

Жетпісбаев Қайратбек – PhD докторант 3-го курса специальности «Нanomатериалы и нанотехнологии», КазННТУ им. К.И. Сәтпаева, эл.почта: 79kairatbek@mail.ru, 8 777 0235685;

Алжамбекова Гүлдана – канд.тех.наук, Сеньор лектор кафедры общей и теоретической физики КазННТУ им. К.И. Сәтпаева, эл.почта: adana@bk.ru, тел: 8 701 2504192;

Сәрсембаева Бибиғұл – ассистент кафедры общей и теоретической физики КазННТУ им. К.И. Сәтпаева, эл.почта: bibigul_s_77@mail.ru, тел: 8 747 5119097

Besbayev G.A.¹, Shaldanbayev A.Sh.¹, Akylbayev M.I.²

¹South Kazakhstan State University, Shymkent

²Kazakhstan Engineering and Pedagogical University of Friendship of Peoples, Shymkent
shaldanbaev51@mail.ru

SOLUTION OF A SINGULARLY PERTURBED CAUCHY PROBLEM, FOR AN ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATION OF THE SECOND ORDER WITH CONSTANT COEFFICIENTS, BY THE OPERATOR METHOD

Abstract. In this paper we obtain a spectral decomposition of the solution of the Cauchy problem in a space with an indefinite metric, and with the help of this expansion we deduce the boundary layer expansion of the solution of the singularly perturbed Cauchy problem, for an ordinary second-order differential equation

Key words: completely continuous operator, selfadjoint operator, Gilbert-Schmidt theorem, Volterian operators, indefinite metric, Schmidt decomposition, completeness, orthonormal basis.

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + a y'(x) + by(x) = f(x), a, b - const, y(0) = 0, y'(0) = 0;$$
$$f(x) \in L^2(0,1), y(x) \in C^2(0,1) \cap C^2[0,1].$$

УДК 517.94

Г.А. Бесбаев,¹ А.Ш. Шалданбаев,¹ М.И. Ақылбаев²

¹Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ-сы;

²Қазақстанның инженерлі-педагогикалық халықтар достығы университеті, Шымкент қ-сы

КОЭФФИЦИЕНТТЕРІ ТҰРАҚТЫ ЕКІНШІ РЕТТІ КӘДІМГІ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУДІҢ СИНГУЛЯР ӘСЕРЛЕНГЕН КОШИЛІК ЕСЕБІН ШЕШУДІҢ ОПЕРАТОРЛЫҚ ӘДІСІ ТУРАЛЫ

1. Кіріспе.

Гилберттің $L^2(0,1)$ кеңістігінде Кошидің, мынадай,

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + a y'(x) + by(x) = f(x) \quad (1)$$

$$y(0) = 0, y'(0) = 0 \quad (2)$$

есебін қарастырайық, мұндағы $\varepsilon > 0$ -азшама, $a, b - const$, $f(x) \in L^2(0,1)$, $y(x) \in C^2(0,1) \cap C^2[0,1]$.

Мына, $\varepsilon = 0$ сәтте, жоғарыдағы (1)- (2) теңдіктерінен әсерленбеген, мынадай

$$L_0 z = az'(x) + bz(x) = f(x) \quad (1)'$$

$$z(0) = 0 \quad (2)'$$

есепке келеміз. Мына,

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} y(x, \varepsilon) = z(x)$$

$$\varepsilon \rightarrow 0$$

теңдік қай кезде орындалады деген сұрақ туындайды, яғни бұл теңдік орындалуы үшін $f(x)$ функциясы мен a, b - коэффициенттері қандай болуы керек? Бұл есепті шешудің көптеген әдістері бар [1-9], өкінішке орай, бұл әдістердің көпшілігі жартылай эмпиристік әдістер қатарына жатады, себебі, есептің қалдық мүшесі, оның коэффициенттері арқылы бағаланбаған. Біз бұл есепті спектралдік әдіспен [10-17] шешіп, әлгі олқылықты толтырмақпыз.

2. Зерттеу әдістері

Жоғарыдағы (1)- (2)-есебіне, мынадай,

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + ay'(x) + by(x),$$

$$D(L_\varepsilon) = \{y(x) \in C^2(0,1) \cap C^1[0,1]; y(0) = 0, y'(0) = 0\}$$

сызықтық оператор сәйкес келеді.

Лемма 1. Егер $Su(x) = u(1-x)$ болса, онда SL_ε операторы $L^2(0,1)$ -кеңістігінде симметриялы.

Дәлелі. Айталық, $u(x), v(x) \in D(L_\varepsilon)$ болсын, онда

$$\begin{aligned} (SL_\varepsilon u, v) &= (L_\varepsilon u, Sv) = \int_0^1 [\varepsilon u'' + au'(x) + bu(x)]v(1-x) dx = \\ &= \varepsilon \int_0^1 v(1-x) du' + a \int_0^1 v(1-x) du + \int_0^1 bu(x)v(1-x) dx = \\ &= \varepsilon v(1-x)u'(x) \Big|_0^1 + av(1-x)u(x) \Big|_0^1 + \varepsilon \int_0^1 v'(1-x) \cdot u'(x) dx + \\ &+ a \int_0^1 v'(1-x)u(x) dx + \int_0^1 bv(1-x)u(x) dx = \\ &= v'(1-x)u(x) \Big|_0^1 + \varepsilon \int_0^1 v''(1-x)u(x) dx + a \int_0^1 v'(1-x)u(x) dx + \\ &+ \int_0^1 bv(1-x)u(x) dx = \int_0^1 u(x) [\varepsilon v''(1-x) + av'(1-x) + bv(1-x)] dx = (u, SL_\varepsilon v). \end{aligned}$$

Салдар 1. SL_ε қабынатын оператор.

Лемма 2. L_ε -операторының сыңарласы, келесі,

$$L_\varepsilon^+ v = \varepsilon v''(x) - av'(x) + bv(x), D(L_\varepsilon^+) = \{v(x) \in C^2(0,1) \cap C^1[0,1]; z(1) = 0, z'(1) = 0\}$$

оператор болады.

Дәлелі. $u(x) \in D(L_\varepsilon)$ және $v(x) \in D(L_\varepsilon^+)$ болсын делік, сонда,

$$\begin{aligned} (L_\varepsilon u, v) &= \int_0^1 (\varepsilon u'' + au'(x) + bu(x))v(x) dx = \varepsilon \int_0^1 v(x) du'(x) + a \int_0^1 v(x) du + b \int_0^1 u(x)v(x) dx = \\ &= \varepsilon v(x)u'(x) \Big|_0^1 - \varepsilon \int_0^1 v'(x)u'(x) dx + av(x)u(x) \Big|_0^1 - a \int_0^1 v''(x)u(x) dx + \\ &+ b \int_0^1 u(x)v(x) dx = -\varepsilon \int_0^1 v'(x)du(x) - a \int_0^1 v'(x)u(x) dx + b \int_0^1 u(x)v(x) dx = \\ &= -\varepsilon v'(x)u(x) \Big|_0^1 + \varepsilon \int_0^1 v''(x)u(x) dx - a \int_0^1 v'(x)u(x) dx + b \int_0^1 u(x)v(x) dx = \end{aligned}$$

$$= \int_0^1 u(x) [\varepsilon v''(x) - av'(x) + bv(x)] = (u, L_\varepsilon^+ v) .$$

Салдар 2. L_ε -қабынатын оператор, себебі $L_\varepsilon^+ \subset L_\varepsilon^*$ және L_ε^+ -тығыз анықталған.

Лемма 3. (Алғы бағалар туралы)

Егер $a > 0, b \geq 0$ болса, онда, келесі, $\|y\| \leq \|L_\varepsilon y\|, \|y\|_1 \leq \sqrt{2} \|L_\varepsilon y\|$

алғы бағалар орынды.

Дәлелі. О баста, $y(x) \in D(L_\varepsilon)$ делік, онда

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + ay'(x) + by(x), (L_\varepsilon y, y') = \varepsilon(y'', y') + a \|y'\|^2 + b(y, y'),$$

$$(y'', y') \int_0^1 y' dy' = \frac{(y')^2(x)}{2} \int_0^1 = \frac{y'^2(1)}{2} \geq 0;$$

$$(y, y') = \int_0^1 yy' dx = \frac{y^2(x)}{2} \int_0^1 = \frac{y^2(1)}{2} \geq 0; \Rightarrow a \|y'\|^2 \leq (L_\varepsilon y, y') \leq |(L_\varepsilon y, y')| \leq \|L_\varepsilon y\| \cdot \|y'\|, \Rightarrow a \cdot \|y'\| \leq \|L_\varepsilon y\|$$

Егер $y(0) = 0$ болса, онда $\|y\| \leq \|y'\|$. Шынында-да,

$$y(x) = \int_0^x y'(t) dt, \Rightarrow (y(x)) = \left| \int_0^x y'(t) dt \right| \leq \left(\int_0^x 1^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\int_0^x y'^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \leq \\ \leq x^{\frac{1}{2}} \left(\int_0^x y'^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \leq \|y'\|, \Rightarrow \|y\| \leq \|y'\|.$$

Демек, $\|y\| \leq \|y'\| \leq \|L_\varepsilon y\|$ және $\|y\|_1 = \sqrt{\|y\|^2 + \|y'\|^2} \leq \sqrt{\|L_\varepsilon y\| + \|L_\varepsilon y\|} \leq \sqrt{2} \|L_\varepsilon y\|$.

Егер $y \in D(\overline{L_\varepsilon})$ болса, онда, мынадай, $y_n \rightarrow y, L_\varepsilon y \rightarrow \overline{L_\varepsilon y}$ болатын $\{y_n\} \in D(L_\varepsilon), n = 1, 2, \dots$ тізбегі табылады. Онда $n \rightarrow \infty$ сәтінде, мынадай, $\|y_n\| \rightarrow \|y\|, \|y'_n\| \rightarrow \|y'\|$, және $\|L_\varepsilon y_n\| \rightarrow \|L_\varepsilon y\|$ болады, сондықтан кезкелген $\forall y \in D(\overline{L_\varepsilon})$ үшін, келесі,

$$\|y\| \leq \|y'\| \leq \|\overline{L_\varepsilon y}\|, \|y\|_1 \leq \sqrt{2} \|\overline{L_\varepsilon y}\|$$

теңсіздіктер орынды.

Егер $\overline{L_\varepsilon y} = 0$ болса, онда $y = 0$, сондықтан кері $(\overline{L_\varepsilon})^{-1}$ операторы бар және ол әсіре үзкіс (Реллихтың теоремасы бойынша).

SL_ε – операторы симметриялы болғандықтан, оның қабындысы $\overline{SL_\varepsilon} = S\overline{L_\varepsilon}$ операторы-да симметриялы, және $\overline{L_\varepsilon}$ қайтымды, онда $S\overline{L_\varepsilon}$ операторы-да, сондай, демек $\overline{SL_\varepsilon}$ жалқы оператор. Онда $(\overline{SL_\varepsilon})^{-1}$ операторы-да жалқы, және әсіре үзкіс, демек, Гилберт-Шмидтің теоремасы бойынша, келесі,

$$(\overline{SL_\varepsilon})^{-1} f = \sum_{n=1}^{\infty} \left((\overline{SL_\varepsilon})^{-1} f, \varphi_n \right) \varphi_n(x) + \varphi_0(x) = \sum_{n=1}^{\infty} (f_1, (SL_\varepsilon)^{-1} \varphi_n) \cdot \varphi_n(x) + \varphi_0(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(f, \varphi_n)}{\lambda_n} \cdot \varphi_n(x) + \varphi_0(x),$$

таралым орынды, мұндағы $\varphi_0(x) \in K$ егер $(\overline{SL_\varepsilon})^{-1} f$, яғни $(\overline{SL_\varepsilon})^{-1} \varphi_0 = 0, \Rightarrow \varphi_0(x) = 0$. Демек,

$$(\overline{SL_\varepsilon})^{-1} f = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(f, \varphi_n)}{\lambda_n} \varphi_n(x).$$

Егер $(f, \varphi_n) = 0, n = 1, 2, \dots$ болса, онда, мұнан, $f = 0$, демек, $\{\varphi_n(x)\}, n = 1, 2, \dots$ толық система.

Теорема 1. Егер $a > 0, b \geq 0$ болса, онда

1) Кері $(\overline{SL_\varepsilon})^{-1}$ операторы бар, және ол әсіре үзкіз жалқы оператор.

2) $(\overline{SL_\varepsilon})^{-1}$ -операторының нормаланған меншікті векторлары $L^2(0,1)$ кеңістігінде ортонормаланған базис құрайды.

Егер $L_\varepsilon y = f$ болса, онда

$$\overline{SL_\varepsilon} y = Sf(x) \Rightarrow \overline{SL_\varepsilon} y = Sf(x), \Rightarrow y(x, \varepsilon, f) = (\overline{SL_\varepsilon})^{-1} Sf(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Sf, \varphi_n)}{\lambda_n} \cdot \varphi_n(x).$$

Теорема 2. Егер $a > 0, b \geq 0$ болса, онда Кошидің, жоғарыдағы (1)- (2) есебі, әлді шешіледі және бұл әлді шешім, мынадай,

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Sf, \varphi_n)}{\lambda_n} \cdot \varphi_n(x) \text{ болады, сонымен бірге кезкелген } \varepsilon > 0 \text{ үшін } y \in W_2^2(0,1) \text{ болады.}$$

3. Зерттеу нәтижелері

Егер $-\text{де} (\overline{SL_\varepsilon})^{-1} \varphi_n(x) = \frac{1}{\lambda_n} \varphi_n(x), n = 1, 2, \dots$, болса, онда $\varphi_n(x) \lambda_n = \overline{SL_\varepsilon} \varphi_n$. Енді $\varphi_n(x) \in D(\overline{L_\varepsilon})$

екенін ескерсек, онда $\varphi_n(x) \in W_2^2(0,1)$, сондықтан,

$$\begin{aligned} \overline{SL_\varepsilon} \varphi_n(x) &= SL_\varepsilon \varphi_n = S[\varepsilon \varphi_n'' + a \varphi_n'(x) + b \varphi_n(x)] = \lambda_n \varphi_n(x), \Rightarrow \\ \varepsilon \varphi_n''(x) + a \varphi_n'(x) + b \varphi_n(x) &= \lambda_n S \varphi_n(x), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varphi_n(0) = 0, \varphi_n'(0) = 0.$$

Ұйғарым. Меншікті $\varphi_n(x) (n = 1, 2, \dots)$ функциялары шексіз рет дифференциалданады, бұл қасиет a, b коэффициенттерінің тұрақтылығының салдары.

Енді $(Sf, \varphi_n), n = 1, 2, \dots$, Фуренің коэффициенттерін есептейік. В-операторы мынадай,

$$\begin{aligned} Bz(x) &= az'(x) + bz(x), \\ z(0) &= 0 \end{aligned}$$

болсын делік. Мына, $\varphi_n(x) \in D(B)$ жайды ескеріп, (3) формуланы, былай,

$\varepsilon \varphi_n''(x) + B \varphi_n(x) = \lambda_n S \varphi_n(x)$ жазайық, мұнан,

$$\varepsilon B^{-1} \varphi_n''(x) + \varphi_n(x) = \lambda_n B^{-1} S \varphi_n, n = 1, 2, \dots, \Rightarrow \varphi_n(x) = \lambda_n B^{-1} S \varphi_n - \varepsilon B^{-1} \varphi_n''(x);$$

$$(Sf, \varphi_n) = (Sf, \lambda_n B^{-1} S \varphi_n - \varepsilon B^{-1} \varphi_n'') = \lambda_n (Sf, B^{-1} S \varphi_n) - \varepsilon (Sf, B^{-1} \varphi_n'') =$$

$$\lambda_n \left((B^{-1})^+ Sf, S \varphi_n \right) - \varepsilon \left((B^{-1})^+ Sf, \varphi_n'' \right) =$$

$$= \lambda_n (SB^{-1} f, S \varphi_n) - \varepsilon (SB^{-1} f, \varphi_n'') = \lambda_n (B^{-1} f, \varphi_n) - \varepsilon (SB^{-1} f, \varphi_n'');$$

$$(SB^{-1} f, \varphi_n'') = \int_0^1 SB^{-1} f d\varphi_n'(x) = SB^{-1} f \cdot \varphi_n'(x) \Big|_0^1 - \int_0^1 (SB^{-1} f)' \varphi_n'(x) dx =$$

$$-(SB^{-1} f)' \varphi_n(x) + \int_0^1 (SB^{-1} f)'' \varphi_n(x) dx =$$

$$\begin{aligned}
 S(B^{-1}f)' \varphi_n(x) \int_0^1 + \int_0^1 (SB^{-1}f)'' \varphi_n(x) dx &= (B^{-1}f)'(0) \cdot \varphi_n(1) + \left((SB^{-1}f)'' \varphi_n \right); \\
 (Sf, \varphi_n) &= \lambda_n (B^{-1}f, \varphi_n) - \varepsilon (B^{-1}f)'(0) \cdot \varphi_n(1) - \varepsilon \left((SB^{-1}f)'' \varphi_n \right), \Rightarrow \\
 y(x, \varepsilon, f) &= B^{-1}f(x) - (B^{-1}f)'(0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varepsilon \varphi_n(1)}{\lambda_n} \varphi_n(x) - \varepsilon y \left(x, \varepsilon, \frac{d^2}{dx^2} B^{-1}f \right). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Енді оң жақтағы қатардың қосындысын табайық. Айталық, $\psi(x)$ - функциясы, келесі

$$\begin{aligned}
 \varepsilon \psi'' + a \psi'(x) + b \psi(x) &= 0, \\
 \psi(0) = 0, \psi'(0) &= 1
 \end{aligned} \quad (5)$$

Коши есебінің шешімі болсын, сонда $\psi \in D(B)$ болары айдан анық, сондықтан жоғарыдағы (5) теңдеуді, былай, $\varepsilon \psi'' + B\psi = 0, \Rightarrow \varepsilon S\psi'' + SB\psi = 0$, жазуға болады.

Сонда,

$$\begin{aligned}
 (SB\psi, \varphi_n) &= (SB\varphi, \lambda_n B^{-1}S\varphi_n - \varepsilon B^{-1}\varphi_n'') = \lambda_n (SB\psi, B^{-1}S\varphi_n) - \varepsilon (SB\psi, B^{-1}S\varphi_n'') = \\
 &= \lambda_n \left(S(B^{-1})^+ SB\psi, \varphi_n \right) - \varepsilon \left((B^{-1})^+ SB\psi, \varphi_n'' \right) = \lambda_n (SSB^{-1}B\psi, \varphi_n) - \varepsilon (SB^{-1}B\psi, \varphi_n'') = \\
 &= \lambda_n (\varphi, \varphi_n) - \varepsilon (S\psi, \varphi_n''). \\
 (S\psi, \varphi_n'') &= \int_0^1 S\psi d\varphi_n' = S\psi \cdot \varphi_n'(x) \int_0^1 - \int_0^1 (S\psi)' d\varphi_n(x) = \psi(1-x) \cdot \varphi_n'(x) \int_0^1 - (S\psi)' \varphi_n(x) \int_0^1 + \int_0^1 (S\psi)'' \varphi_n(x) dx = \\
 &= S\psi'(x) \cdot \varphi_n(x) \int_0^1 + \int_0^1 (S\psi)'' \varphi_n(x) dx = \psi'(1-x) \cdot \varphi_n(x) \int_0^1 + \int_0^1 (S\psi)'' \varphi_n(x) dx = \\
 &= \varphi_n(x) + \int_0^1 (S\psi)'' \varphi_n(x) dx = \left| \begin{array}{l} \varepsilon \psi'' + B\psi = 0, \\ \varepsilon S\psi'' + SB\psi = 0 \end{array} \right| = \varphi_n(x) - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^1 SB\psi \varphi_n(x) dx = \\
 \varphi_n(x) - \frac{(SB\psi, \varphi_n)}{\varepsilon}; \Rightarrow (SB\psi, \varphi_n) &= \lambda_n (\psi, \varphi_n) - \varepsilon \varphi_n(x) + (SB\psi, \varphi_n), \Rightarrow (\psi, \varphi_n) = \frac{\varepsilon \varphi_n(x)}{\lambda_n}, \Rightarrow \psi(x) = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} (\psi, \varphi_n) \varphi_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varepsilon \varphi_n(x)}{\lambda_n} \varphi_n(x). \quad (6)
 \end{aligned}$$

Соңғы табылған (6) формуланы жоғарыдағы (4) формулаға апарып қойсақ бізге керекті, мына,

$$y(x, \varepsilon, f) = B^{-1}f(x) - (B^{-1}f)'(0)\psi(x) - \varepsilon y(x, \varepsilon, \frac{d^2}{dx^2} B^{-1}f)$$

формула шығады.

Әрі қарай, математикалық индукцияны қолдануымызға болады.

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k [B^{-1}D^k f(x) - (B^{-1}D^k f(x))'(0) * \psi(x)] \varepsilon^k + (-1)^n \varepsilon^n y(x, \varepsilon, D^n f).$$

Алынған нәтижені тұжырымдап қоялық.

Теорема 3. Егер $a > 0, b \geq 0, \varepsilon > 0, f(x) \in C^n[0,1]$ болса, онда Кошидің келесі,

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + ay'(x) + by(x) = f(x), x \in [0,1] \quad (2.7.1)$$

$$y(0) = 0, y'(0) = 0 \quad (2.7.2)$$

есебінің шешімі, мынадай,

$$y(x, \varepsilon, f) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k [B^{-1} D^k f(x) - (B^{-1} D^k f(x))'(0) * \psi(x)] \varepsilon^k + (-1)^n \varepsilon^n y(x, \varepsilon, D^n f)$$

болады, мұндағы,

$$D^0 = I, Df(x) = \frac{d^2}{dx^2} B^{-1} f(x),$$

$$B^{-1} f(x) = \int_0^x \frac{f(t)}{a} e^{-\int_t^x \frac{b}{a} d\xi} dt.$$

$$\psi(x) = \frac{e^{k_2 x} - e^{k_1 x}}{k_2 - k_1}, k_{1,2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4\varepsilon b}}{2\varepsilon};$$

$$||y(x, \varepsilon, D^n f)|| \leq \frac{||D^n f||}{a\sqrt{2}}.$$

4. Талқысы

Мысал.

$$\varepsilon y'(x) + ay(x) = 1, x \in (0, 1]; \quad (7)$$

$$y(0) = 0$$

Бұл есептің шешімі

$$y(x, \varepsilon) = \frac{1 - e^{-\frac{a}{\varepsilon}x}}{a}, \text{ мұнан } (8)$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} y(x, \varepsilon) = \begin{cases} 0, & x = 0 \text{ болған сәтте;} \\ \frac{1}{a}, & x \neq 0 \text{ болған сәтте.} \end{cases} \quad (9)$$

Жоғарыдағы (8) функцияның үзіксіз екені айдан анық, бірақ оның шегі (9) үзікті функция, демек жинақталу бірқалыпты емес. Теңдеудің оң жағы $f(x) = 1$ өте біртегіс әдемі функция, солай бола тұра, ол бірқалыпты жинақталуды қамтамасыз ете алмайды, демек, бірқалыпты жинақталуды қамтамасыз ету үшін теңдеудің оң жағына біртегістіктен басқа қосымша шарттар қою керек сыйақты.

Жоғарыдағы (0.1)-(7) есептің шешімі, мынадай

$$y(x, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x f(t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}(x-t)} dt \quad (10)$$

болары айдан анық, егер $f(x) \in C[0,1]$, яғни ол $[0,1]$ кесіндісі бойында үзіксіз болса, онда

$$y(x, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x [f(t) - f(0)] e^{-\frac{a}{\varepsilon}(x-t)} dt + \frac{f(0)}{\varepsilon} \int_0^x e^{-\frac{a}{\varepsilon}(x-t)} dt,$$

$$\int_0^x e^{-\frac{a}{\varepsilon}(x-t)} dt = \left| \begin{matrix} x-t=s \\ -dt=ds \end{matrix} \right| = \int_0^x e^{-\frac{a}{\varepsilon}s} ds =$$

$$= e^{-\frac{a}{\varepsilon}s} \left(-\frac{\varepsilon}{a} \right) \Big|_0^x = \frac{\varepsilon}{a} \left(1 - e^{-\frac{a}{\varepsilon}x} \right), \text{ мұнан}$$

$$y(x, \varepsilon) - \frac{f(0)}{a} \left(1 - e^{-\frac{a}{\varepsilon}x} \right) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x [f(t) - f(0)] e^{-\frac{a}{\varepsilon}(x-t)} dt;$$

Соңғы интегралды, былай,

$$\left| \int_0^x [f(t) - f(0)] e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt \right| \leq \max_{0 \leq t \leq \varepsilon} |f(t) - f(0)| + \int_{\varepsilon}^x |f(x) - f(0)| e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt \leq$$

$$\leq \max_{0 \leq t \leq \varepsilon} |f(t) - f(0)| + 2 \max_{0 \leq t \leq 1} |f(t)| \times \int_0^x e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt \leq$$

$$\leq \max_{0 \leq t \leq \varepsilon} |f(t) - f(0)| + 2 \|f\|_c \times \frac{\left(1 - e^{-\frac{a}{\varepsilon}x} \right) \varepsilon}{a}$$

бағалауға болады, бірақ бұл баға бөліміндегі ε —ға төтеп бере алмайды. Мұнан шығар қорытынды есеп қарапайым болып көрінгенмен, қалпақпен ұрып алар, есептер қатарына жатпайды.

Егерде теңдеудің оң жағына қосымша шарт жүктесек, яғни $f(x) \in W_2^1[0,1]$ болса, онда

$$\left\| y(x, \varepsilon) - \frac{f(x)}{a} \right\| \leq \frac{\sqrt{\varepsilon}}{a\sqrt{2a}} [f|0| + \|f'\|]$$

боларын көруге болады

Егерде (10) формулада алмастыру жасасак ол, мына,

$$y(x, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x f(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt$$

түрге келеді. Енді оң жақтағы интегралды, $f(x) \in W_2^n[0,1]$, сәтінде бөліктеп интегралдасак, онда мынадай,

$$\begin{aligned} \int_0^x f(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt &= \dots = e^{-\frac{a}{\varepsilon}x} \sum_{k=1}^n (-1)^k f^{(k-1)}(0) \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^k - \\ &- \sum_{k=1}^n f^{(k-1)}(x) (-1)^k \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^k + (-1)^n \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^n \int_0^x f^{(n)}(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt = \\ &= \left| t = \frac{x}{\varepsilon} \right| = \sum_{k=1}^n \left[\frac{(-1)^k f^{(k-1)}(0) e^{-at}}{a^k} - \frac{(-1)^k f^{(k-1)}(x)}{a^k} \right] \varepsilon^k + \\ &+ (-1)^n \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^n \int_0^x f^{(n)}(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt, = \\ &= \sum_{k=1}^n [r_k(t) + P_k(x)] \varepsilon^k + (-1)^n \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^n \int_0^x f^{(n)}(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt; \\ \left\| \int_a^x f^{(n)}(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt \right\| &\leq \|f^{(n)}(x-t)\| \left(\int_0^1 e^{-\frac{2a}{\varepsilon}t} dt \right)^{\frac{1}{2}} \leq \\ &\leq \|f^{(n)}(x)\| \left[\left(\frac{\varepsilon}{-2a} e^{-\frac{2a}{\varepsilon}t} \right) / 0 \right]^{\frac{1}{2}} \leq \|f^{(n)}(x)\| \times \left(\frac{\varepsilon}{2a}\right)^{\frac{1}{2}}, \rightarrow \\ \left\| \int_0^x f^{(n)}(x-t) e^{-\frac{a}{\varepsilon}t} dt \right\| &\leq \|f^{(n)}(x)\| \left(\frac{\varepsilon}{2a}\right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

Біз жоғарыда есепті қарабайыр әдістердің бірі арқылы шығаруға әрекет жасадық, бірақ мұнымыз іске аспады.

Егер $\varepsilon y'(x) + ay(x) = f(x), y(0) = 0; a - \cos nt$ болса, онда

$$\frac{\varepsilon}{a} y(x) + \int_0^x y(t) dt = \frac{1}{a} \int_0^x f(t) dt.$$

Енді $\lambda = \frac{\varepsilon}{a}, F(t) = \frac{1}{a} \int_0^x f(t) dt, Jy(x) = \int_0^x y(t) dt$ болсын, десек, онда

$$\begin{aligned} (\lambda I + J)y(x) &= F(t), y(x) = R_\lambda F(t) = (J + \lambda I)^{-1} F(t) = \\ &= \frac{1}{a} (J + \lambda I)^{-1} J f(t) = \frac{1}{a} \left(J + \frac{\varepsilon}{a} I \right)^{-1} J f(x). \end{aligned}$$

J –интегралдау операторы әсіре үзiксіз операторлар қатарына жатады сондықтан, оның резольвентасы $R_\lambda = (J + \lambda I)^{-1}$ операторы да әсіре үзiксіз, ал оның өзі $\lambda = 0$ нүктесінен басқа барлық нүктелерде аналитикалық оператор функция, ал $\lambda = 0$ нүктесі елеулі (существенная) ерекше нүкте. Сондықтан, жалпы, алғанда,

$$\lim_{\lambda > 0} y(x, \lambda) = \lim_{\lambda > 0} (J + \lambda I)^{-1} F(t)$$

шегі жоқ ,сондықтан, тақырыпты тамам деуге болар еді. Бірақ λ белгілі бір қыйсықтың бойымен, немесе, нүктелермен ұмтылғанда ондай шек бар болып және ол керек болып тұр. Бұл тақырыптың өміршенділігі мен өзектілігі осында болса керек. Келесі бөлімде біз қолданыста жүрген әдістерге талдау жасаймыз.

5.Қорытынды

Әдісімізді С.А. Ломовтың тұрландыру әдісімен салыстырайық, есептеулерді жеңілдету үшін, қарапайым жағдайды қарастыралық.

$H = L^2(0,1)$ –кеңістігінде Кошидің, мынадай,

$$L_\varepsilon y = \varepsilon y'(x) + a(x)y(x) = f(x) \quad (11)$$

$$y(0) = 0 \quad (12)$$

сингуляр әсерленген есебін қарастыралық, мұндағы $\varepsilon \rightarrow 0$ –кезкелген параметр, ал $a(x)$ пен $f(x)$ мейлінше біртегіс функциялар.

Екі x және τ айнымалыларына тәуелді $u(x, \tau, \varepsilon)$ функциясы, $\tau = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi$ болған сәтте, (11)-(12) есептің шешімі болсын деп жорыйық, яғни

$$y(x, \varepsilon) = u(x, \tau, \varepsilon) / \tau = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi.$$

Осы формуланы x бойынша дифференциалдайық:

$$y' = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial \tau} \times \frac{\partial \tau}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{a(x)}{\varepsilon} \times \frac{\partial u}{\partial \tau}.$$

Осы формуланы (11) теңдеуге апарып қояйық,

$$\left[\varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} + a(x) \frac{\partial u}{\partial \tau} + a(x)u(x, \tau, \varepsilon) \right]_{\tau = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi} = f(x)$$

Сондай-ақ, $x = 0$ болған сәтте, (12)-формуладан

$$y(0, \varepsilon) = u(0, 0, \varepsilon) = 0$$

Әрі қарай, τ –ды екінші айнымалысы деп сонан, келесі,

$$\begin{cases} \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} + a(x) \frac{\partial u}{\partial \tau} + a(x)u(x, \tau, \varepsilon) = f(x) \\ u(0, 0, \varepsilon) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$(14)$$

есепті қарастырайық.

Бұл есептің бірімәнді шешілуі үшін (14) шарттың жетіспейтіні айдан анық, себебі теңдеу екі айнымалыға тәуелді дербес туындысы, ал бастапқы шарт тек бір ғана $(0,0)$ нүктесінде берілген. Солай болса-да біз бұл есептің шешімін, мына,

$$u(x, \tau, \varepsilon) = \sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k u_k(x, \tau) + \varepsilon^n R_n(x, \tau, \varepsilon) \quad (15)$$

түрде іздейміз. Осы өрнекті жоғарыдағы (13) теңдеуге апарып қойып, төмендегі формулаларды аламыз.

$$\varepsilon \left[\sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k \frac{\partial u_k}{\partial x} + \varepsilon^n \frac{\partial R_n}{\partial x} \right] + a(x) \left[\sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k \frac{\partial u_k}{\partial \tau} + \varepsilon^n \frac{\partial R_n}{\partial \tau} \right] +$$

$$+ a(x) \left[\sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k u_k(x, \tau) + \varepsilon^n R_n(x, \tau, \varepsilon) \right] = f(x),$$

$$\sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^{k+1} \frac{\partial u_k}{\partial x} + \sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k a(x) \frac{\partial u_k}{\partial \tau} + \sum_{k=0}^{n-1} a(x) u_k(x, \tau) \varepsilon^k +$$

$$+ \varepsilon^{n+1} \frac{\partial R_n}{\partial x} + \varepsilon^n a(x) \frac{\partial R_n}{\partial \tau} + \varepsilon^n a(x) R_n(x, \tau, \varepsilon) = f(x);$$

$$\sum_{k=1}^n \varepsilon^k \frac{\partial u_{k-1}}{\partial x} + \sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon^k a(x) \frac{\partial u_k}{\partial \tau} + \sum_{k=0}^{n-1} a(x) u_k(x, \tau) \varepsilon^k +$$

$$+ \varepsilon^{n+1} \frac{\partial R_n}{\partial x} + \varepsilon^n a(x) \frac{\partial R_n}{\partial \tau} + \varepsilon^n a(x) R_n(x, \tau, \varepsilon) = f(x).$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} \varepsilon^k \left[\frac{\partial u_{k-1}}{\partial x} + a(x) \frac{\partial u_k}{\partial \tau} + a(x) u_k(x, \tau) \right] + a(x) \frac{\partial u_0}{\partial \tau} + a(x) u_0(x, \tau) +$$

$$+ \varepsilon^n \left[\varepsilon \frac{\partial R_n}{\partial x} + a(x) \frac{\partial R_n}{\partial \tau} + a(x) R_n(x, \tau, \varepsilon) + \frac{\partial u_{n-1}}{\partial x} \right] = f(x) \quad (16)$$

Енді ε –ның бірдей дәрежелі коэффициенттерін теңестірсек, онда, мынадай,

$$a(x) \frac{\partial u_0}{\partial \tau} + a(x)u_0(x, \tau) = f(x), \frac{\partial u_0}{\partial \tau} + u_0 = \frac{f(x)}{a(x)}, \rightarrow$$

$$u_0(x, \tau) = \frac{f(x)}{a(x)} + C_0(\tau)e^{-\tau}, u_0(0,0) = \frac{f(0)}{a(0)} + C_0(0) = 0, C_0(0) = -\frac{f(0)}{a(0)}$$

Таңдау еркіндігін пайдаланып.

$$u_0(x, \tau) = \frac{f(x)}{a(x)} - \frac{f(0)}{a(0)}e^{-\tau}$$

болсын делік. Басқаша таңдағанда нәтижесі қалдықтан көрінер еді.

Жоғарыдағы (16) формуланың бірінші жақсасын нөлге теңеп, мынадай,

$$a(x) \left[\frac{\partial u_k}{\partial \tau} + u_k(x, \tau) \right] = -\frac{\partial u_{k-1}}{\partial x}, \rightarrow$$

$$\frac{\partial u_k}{\partial \tau} + u_k(x, \tau) = -\frac{1}{a(x)} \frac{\partial}{\partial x} u_{k-1}(x, \tau)$$

теңдіктерді аламыз.

Енді $k = 1$ десек, онда

$$\frac{\partial u_1}{\partial \tau} + u_1(x, \tau) = -\frac{1}{a(x)} \frac{\partial}{\partial x} u_0(x, \tau) = -\frac{1}{a(x)} \frac{d f(x)}{dx}$$

Мынадай, $D^0 = I, Df(x) = \frac{d f(x)}{dx a(x)}$ белгілеулер енгізсек, онда, былай,

$$u_0(x, \tau) = \frac{D^0 f(x)}{a(x)} - \frac{D^0 f(0)}{a(0)} e^{-\tau},$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial \tau} + u_1(x, \tau) = -\frac{Df(x)}{a(x)}$$

болады. Анология бойынша

$$u_1(x, \tau) = -\left[\frac{Df(x)}{a(x)} - \frac{Df(0)}{a(0)} e^{-\tau} \right];$$

Енді $k = 2$ десек, онда

$$\frac{\partial u_2}{\partial \tau} + u_2(x, \tau) = -\frac{1}{a(x)} \frac{\partial}{\partial x} u_1(x) = \frac{1}{a(x)} D^2 f(x), \rightarrow$$

$$u_2(x, \tau) = \left[\frac{D^2 f(x)}{a(x)} - \frac{D^2 f(0)}{a(0)} e^{-\tau} \right].$$

Осы процессті жалғастыра берсек, онда, мынадай

$$u_k(x, \tau) = (-1)^k \left[\frac{D^k f(x)}{a(x)} - \frac{D^k f(0)}{a(0)} e^{-\tau} \right], k = 0, 1, 2, \dots, n - 1 \quad (17)$$

формулаға келеміз. Қалдық мүшеге, мынадай,

$$\varepsilon \frac{\partial R_n}{\partial x} + a(x) \frac{\partial R_n}{\partial \tau} + a(x) R_n(x, \tau, \varepsilon) + \frac{\partial u_{n-1}}{\partial x} = 0$$

теңдеу аламыз.

Енді, мына, жайды

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} R_n(x, \tau)_{\tau = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi} &= \frac{\partial R_n}{\partial x} + \frac{\partial R_n}{\partial \tau} \times \frac{\partial \tau}{\partial x} = \\ &= \frac{\partial R_n}{\partial x} + \frac{a(x)}{\varepsilon} \frac{\partial R_n}{\partial \tau}, \rightarrow \varepsilon \frac{d}{dx} R_n = \varepsilon \frac{\partial R_n}{\partial x} + a(x) \frac{\partial R_n}{\partial \tau}, \end{aligned}$$

аңғарсақ, онда қалдық мүшеге, мынадай

$$\begin{aligned} \varepsilon R_n' + a(x) R_n &= -\frac{\partial u_{n-1}}{\partial x} = (-1)^n D^n f(x) \\ R_n|_{x=0} &= 0 \end{aligned}$$

Кошидің есебін аламыз. Демек,

$$R_n(x) = (-1)^n y(x, \varepsilon, D^n f(x)), \quad (18)$$

мұндағы $y(x, \varepsilon, D^n f(x))$ – дегеніміз сол бастапқы Кошидің есебінің шешімі, тек оң жағында $D^n f(x)$ тұр. Енді (18) мен (17) апарып (15)-ге қойсақ

$$\begin{aligned} y(x) = u(x, \tau, \varepsilon) /_{\tau = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi} &= \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k \left[\frac{D^k f(x)}{a(x)} - \frac{D^k f(0)}{a(0)} e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\xi) d\xi} \right] + \\ &+ (-1)^n y(x, \varepsilon, D^n f), \end{aligned}$$

мұндағы $D^0 = I, Df(x) = \frac{d}{dx} \frac{f(x)}{a(x)}$,

Енді әдістің әлсіз тұстарына көз жүгіртейік.

1) Есептің шешімінің бар-жоқтығы туралы ешнәрсе айтылмайды;
2) Жоғарыдағы (13)-(14) есептің шешімдер жыйыны туралы дерек жоқ;
3) Осы есептің шешімі (15) түрінде боларына кім кепілдік береді, бұл сәттегі қалдық $R_n(x, \tau, \varepsilon)$ мүше туралы мәлімет жоқ;

4) Жоғарыдағы (16) теңдікте бірдей дәрежелі ε – дардың коэффициенттерін теңестіруге кім бізге құқық берді. Солай істеуге болар еді, егер $u(x, \tau, \varepsilon)$ –ның ε –ге тәуелділігі аналитикалық болса, яғни ол әрбір шегеленген x –тың мәні үшін ε –ның аналитикалық функциясы болса. Ең жоқ дегенде, бұлай жасау үшін қалдық мүше $R_n(x, \tau, \varepsilon)$ туралы алдыналар мәлімет керек;

5) Қалдық $R_n(x, \tau, \varepsilon)$ мүшенің бағасы туралы ешнәрсе жоқ.

Демек, бұл әдісті-ге жартылай эмпиристикалық деуге болады, ал біздің әдісіміз нақты тұжырымдарға негізделген, және нәтижеміз [2] еңбектің жетістіктерімен жақсы үйлесіп тұр.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений.-М.: Высш. шк. 1990.-200с.
[2] Вишик М.И., Люстерник А.А. Регулярное вырождение и погранслоный слой для линейных дифференциальных уравнений с малым параметром // Успехи математических наук, 1957. №5. с.3-122.
[3] A. N. Tikhonov, Mat. Sbornik 27, 147-156 (1950), (in Russian).
[4] M. I. Imanaliev, Asymptotical Methods in the Theory of Singularly Perturbed Integro-Differential Systems, Ilim, Bishkek,
[5] S. Lomov, Introduction to the General Theory of Singular Perturbations, American Mathematical Society, Providence, RI, 1992.
[6] V. Butuzov, Comput. Math. Math. Phys. 12, 14-34 (1972).
[7] A. Vasil'eva, and V. Tupchiev, Soviet Math. Dokl. 9, 179-183 (1968).
[8] V. Trenogin, Russian Math. Surveys 25, 119-156 (1970).
[9] T. Sh. Kal'menov, S. T. Akhmetova, and A. Sh. Shaldanbaev, Mat. Zh. Almaty 4, 41-48 (2004), (in Russian).
[10] T. Sh. Kal'menov, and U. A. Iskakova, Doklady Mathematics 45, 1460-1466 (2009).
[11] T. Sh. Kal'menov, and A. Sh. Shaldanbaev, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems 18, 352-369 (2010).

- [12] A. Kopzhassarova, and A. Sarsenbi, *Abstract and Applied Analysis* 2012, 1-6 (2012), (Article ID 576843).
- [13] Orazov I., Shaldanbaev A., Shomanbayeva M. About the nature of the spectrum of the periodic problem for the heat equation with a deviating argument. // *Abstract and Applied Analysis*. Volume 2013(2013). Article ID 128363, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/128363>.
- [14] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, Isabek Orazov, Solution of a singularly perturbed Cauchy problem using a method of a deviating argument, *AIP Conference Proceedings* 1676, 020072 (2015); doi: 10.1063/1.4930498
- [15] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, and Asylzat Kopzhassarova,
- [16] Solution of a singularly perturbed Cauchy problem for linear systems of ordinary differential equations by the method of spectral decomposition, *AIP Conference Proceedings* 1759, 020090 (2016); doi: 10.1063/1.4959704.
- [17] Ахиезер Н.Н., Глазман Н.М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве. -М.: Наука, 1966., -544с.
- [18] Рид М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Т.1-2. – М.: Мир, 1977.

REFERENCES

- [1] Vasil'eva A.B., Butuzov V.F. *Asimtoticheskie metody v teorii singularnykh vozmushhenij*. -М.: Vyssh. shk. 1990.-200s.
- [2] Vishik M.I., Ljusternik A.A. Reguljarnoe vyrozhdenie i pogranslojnyj sloj dlja linejnykh differencial'nykh uravnenij s malym parametroм // *Uspehi matematicheskikh nauk*, 1957. №5. s.3-122.
- [3] A. N. Tikhonov, *Mat. Sbornik* 27, 147-156 (1950), (in Russian).
- [4] M. I. Imanaliev, *Asymptotical Methods in the Theory of Singularly Perturbed Integro-Differential Systems*, Ilim, Bishkek,
- [5] S. Lomov, *Introduction to the General Theory of Singular Perturbations*, American Mathematical Society, Providence, RI, 1992.
- [6] V. Butuzov, *Comput. Math. Math. Phys.* 12, 14-34 (1972).
- [7] A. Vasil'eva, and V. Tupchiev, *Soviet Math. Dokl.* 9, 179-183 (1968).
- [8] V. Trenogin, *Russian Math. Surveys* 25, 119-156 (1970).
- [9] T. Sh. Kal'menov, S. T. Akhmetova, and A. Sh. Shaldanbaev, *Mat. Zh. Almaty* 4, 41-48 (2004), (in Russian).
- [10] T. Sh. Kal'menov, and U. A. Iskakova, *Doklady Mathematics* 45, 1460-1466 (2009).
- [11] T. Sh. Kal'menov, and A. Sh. Shaldanbaev, *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems* 18, 352-369 (2010).
- [12] A. Kopzhassarova, and A. Sarsenbi, *Abstract and Applied Analysis* 2012, 1-6 (2012), (Article ID 576843).
- [13] Orazov I., Shaldanbaev A., Shomanbayeva M. About the nature of the spectrum of the periodic problem for the heat equation with a deviating argument. // *Abstract and Applied Analysis*. Volume 2013(2013). Article ID 128363, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/128363>.
- [14] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, Isabek Orazov, Solution of a singularly perturbed Cauchy problem using a method of a deviating argument, *AIP Conference Proceedings* 1676, 020072 (2015); doi: 10.1063/1.4930498
- [15] A. Sh. Shaldanbaev, Manat Shomanbayeva, and Asylzat Kopzhassarova,
- [16] Solution of a singularly perturbed Cauchy problem for linear systems of ordinary differential equations by the method of spectral decomposition, *AIP Conference Proceedings* 1759, 020090 (2016); doi: 10.1063/1.4959704.
- [17] Ahiezer N.N., Glazman N.M. *Teorija linejnykh operatorov v gil'bertovom prostranstve*. -М.: Nauka, 1966., -544с.
- [18] Rid M., Sajmon B. *Metody sovremennoj matematicheskoj fiziki*. Т.1-2. – М.: Мир, 1977.

УДК 517.94

Бесбаев Г.А.,¹ Шалданбаев А.Ш.,¹ Акылбаев М.И.²

¹Южно-Казахстанский государственный университет, г.Шымкент

²Казахстанский инженерно-педагогический университет Дружбы народов, г.Шымкент

РЕШЕНИЕ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОЙ ЗАДАЧИ КОШИ, ДЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ, ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

Аннотация. В данной работе получено спектральное разложение решения задачи Коши в пространстве с индефинитной метрикой, и с помощью этого разложения выведено погранслоное разложение решения сингулярно возмущенной задачи Коши, для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка $L_\varepsilon y = \varepsilon y''(x) + a y'(x) + by(x) = f(x)$, $a, b - const$, $y(0) = 0, y'(0) = 0$; $f(x) \in L^2(0,1)$, $y(x) \in C^2(0,1) \cap C^2[0,1]$.

Ключевые слова: вполне непрерывный оператор, самосопряженный оператор, теорема Гилберта – Шмидта, вольтеровы операторы, индефинитная метрика, разложение Шмидта, полнота, ортонормированный базис.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 241 – 251

K.B. Jakupov

Institute of mathematics and mathematical modeling, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: jakupovKB@mail.ru**HOOK'S LAW IN THE THEORY OF ELASTICITY
OF ANISOTROPIC BODIES**

Abstract. From Hook's law, the components of the stress tensor of an anisotropic solid deformable body are derived. The dependence of the second Lamé coefficient on the direction is taken into account. The asymmetry of the stress tensor of a solid deformed body is proved. New equations of the anisotropic theory of elasticity are derived. It is shown on a concrete example that the symmetrical half of the incomplete differential of displacement used in the Lamé hypothesis and equations, the antisymmetric half of which is discarded, the consequence of which is the symmetry of the stress tensor, leads to absurd physical results. For the new equations, an explicit scheme of the second order of accuracy is constructed, with the use of which the elastic state of a three-layered flat bar is numerically calculated under the action on the upper face of constant tangential and normal stresses. The same scheme is applied to the Lamé equations. The obtained pictures of the displacements distribution clearly demonstrate the difference in the solutions of the comparable systems of elasticity equations, as well as the inadequacy of solving the Lamé equations for a given state of a deformed body. The falsity of Lamé's equations is confirmed theoretically and physically.

Keywords: anisotropic, tension, stress, tensor, equations.

УДК 539.2/6

К.Б. Джакупов

Институт математики и математического моделирования МОН РК, Алматы, Казахстан

ЗАКОН ГУКА В ТЕОРИИ УПРУГОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ

Аннотация. По закону Гука выводится тензор напряжений анизотропного твердого деформируемого тела. Учитывается зависимость второго коэффициента Ламе от направления. Доказана несимметричность тензора напряжений твердого деформируемого тела. Выведены новые уравнения анизотропной теории упругости. Показано на конкретных распределениях перемещений под действием внешних напряжений, что используемая в гипотезе и уравнениях Ламе симметричная половина неполного дифференциала смещения, антисимметричная половина которого отбрасывается, следствием чего является симметричность тензора напряжений, приводит к абсурдным физическим результатам. Для новых уравнений построена явная схема 2-го порядка точности, которая применена в численных расчетах упругого состояния двуслойного плоского бруска при действии на верхней грани постоянных касательных и нормальных напряжений. Такая же схема применена для уравнений Ламе. Полученные картины распределения смещений наглядно демонстрируют различие решений сравниваемых систем уравнений упругости, а также неадекватность решения уравнений Ламе данному состоянию деформируемого тела. Теоретически и физически подтверждена фальшивость уравнений Ламе.

Ключевые слова: анизотропность, растяжение, напряжения, тензор, уравнения.

1. Касательные напряжения в обобщенном законе Гука

Закон Гука — утверждение, согласно которому **деформация** возникающая в упругом теле **пропорциональна** приложенной к этому телу **силе**. Открыт в 1660 году английским учёным Робертом Гуком.

Следует иметь в виду, что закон Гука выполняется только при малых деформациях.

Для многих сред закон Гука неприменим даже при малых деформациях.

Уравнения упругости с несимметричным тензором напряжений **изотропного тела** изложен в [1] по закону Гука: $\mathbf{F} = k\mathbf{u}, k > 0, \mathbf{F}_x = u\mathbf{i}, \mathbf{F}_y = v\mathbf{j}, \mathbf{F}_z = w\mathbf{k}, \mathbf{u} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$ – вектор перемещения, $\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y + \mathbf{F}_z$ – внешняя сила, вызывающая перемещение.

В анизотропных средах, составленных из тел с различными упругими свойствами или в анизотропных телах, свойства которых зависят от направления, закон Гука должен быть типа

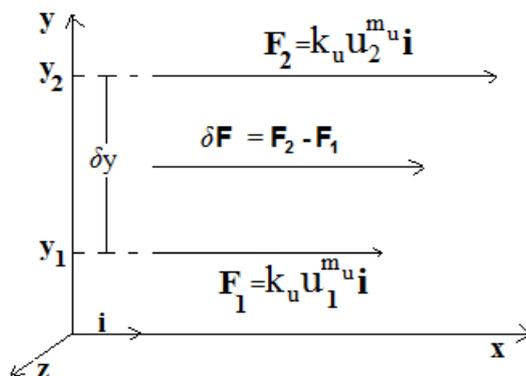
$$\mathbf{F} = k_u u\mathbf{i} + k_v v\mathbf{j} + k_w w\mathbf{k}, \quad k_u > 0, k_v > 0, k_w > 0 \quad (1.1)$$

Пусть на плоскости y_1 сила вызывает перемещение по закону Гука $\mathbf{F}_1 = k_u u_1 \mathbf{i}$, также сила $\mathbf{F}_2 = k_u u_2 \mathbf{i}$ образует перемещение на плоскости $y_2 = y_1 + \delta y, \delta y > 0$.

Приращения сил и перемещений между плоскостями равны:

$$\delta \mathbf{F} = \mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1 = k_u u_2 \mathbf{i} - k_u u_1 \mathbf{i} = k_u \delta u \mathbf{i}, \quad \delta u = u_2 - u_1 > 0.$$

Для конкретности положим $|\mathbf{F}_2| > |\mathbf{F}_1|$. В этом случае приращение силы направлено по оси x : $\delta \mathbf{F} \uparrow \uparrow \mathbf{i}$. Вводится линейная плотность $\mathbf{f} = \frac{\delta \mathbf{F}}{\delta y}, \delta \mathbf{F} = \delta y \mathbf{f}$. По определению вектор среднего касательного напряжения $\mathbf{p}_{\text{ухсп}} = \frac{\delta \mathbf{F}}{\delta \sigma}, \delta \sigma = \delta x \delta z$ параллелен и одинаково направлен с силой, вызывающей данное напряжение $\mathbf{p}_{\text{ухсп}} \uparrow \uparrow \delta \mathbf{F}, \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \uparrow \uparrow \mathbf{f}$.



Ввод коэффициента пропорциональности образует связи:

$$\mathbf{f} = k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}}, k' > 0, \delta y \mathbf{f} = k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y, \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \uparrow \uparrow \mathbf{i}, k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y = k_u \delta u \mathbf{i}$$

Данное выражение умножается скалярно на орт \mathbf{i} :

$$k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y \cdot \mathbf{i} = k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i}$$

В результате получаются

$$k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y \cdot \mathbf{i} = k' |\mathbf{p}_{\text{ухсп}}| \delta y |\mathbf{i}| \cos 0^\circ = k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y, \quad k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = k_u \delta u$$

Равенства

$$k' \mathbf{p}_{\text{ухсп}} \delta y = k_u \delta u, \quad \mathbf{p}_{\text{ухсп}} = \frac{k_u}{k'} \frac{\delta u}{\delta y}$$

в пределе дают касательное напряжение

$$p_{yx} = \lim_{\delta y \rightarrow 0} \frac{k_u}{k'} \frac{\delta u}{\delta y} = \mu_u \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \mu_u = \frac{k_u}{k'} > 0$$

Аналогично касательные напряжения по другим направлениям:

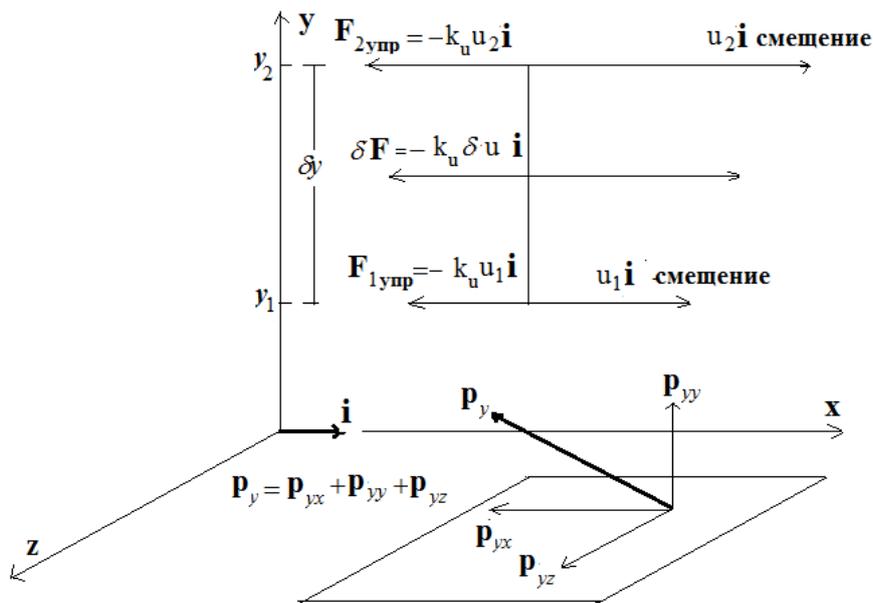
$$p_{xy} = \mu_v \frac{\partial v}{\partial x}, p_{zx} = \mu_u \frac{\partial u}{\partial z}, p_{xz} = \mu_w \frac{\partial w}{\partial x}, p_{yz} = \mu_w \frac{\partial w}{\partial y}, p_{zy} = \mu_v \frac{\partial v}{\partial z}$$

Формулы *несимметричных* касательных напряжений выведены для вызывающей растяжение тела *внешней* силы $\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y + \mathbf{F}_z$. Упругая сила в деформируемом теле по третьему закону Ньютона равна внешней со зна- ком минус $\mathbf{F}_{\text{упр}} = -\mathbf{F}$. Следовательно, линейный закон Гука для сил упругости будет иметь вид $\mathbf{F}_{\text{упр}} = -k\mathbf{u}, \mathbf{F}_{\text{упр}} = -k_u\mathbf{i} - k_v\mathbf{j} - k_w\mathbf{k}$.

Аналогичное представление для анизотропного закона Гука $\mathbf{F}_{\text{упр}} = -k_u\mathbf{u}\mathbf{i} - k_v\mathbf{v}\mathbf{j} - k_w\mathbf{w}\mathbf{k}$. Пусть на плоскости y_1 сила вызывает перемещением $\mathbf{F}_{1\text{упр}} = k_u u_1 \mathbf{i}$, аналогично сила $\mathbf{F}_{2\text{упр}} = k_u u_2 \mathbf{i}$ на плоскости $y_2 = y_1 + \delta y, \delta y > 0$.

Приращения сил и перемещений между слоями равны

$$\delta \mathbf{F} = \mathbf{F}_{2\text{упр}} - \mathbf{F}_{1\text{упр}} = -k_u u_2 \mathbf{i} + k_u u_1 \mathbf{i} = -k_u \delta u \mathbf{i}, \quad \delta u = u_2 - u_1 > 0.$$



Допустим $|\mathbf{F}_2| > |\mathbf{F}_1|$, в этом случае приращение силы направлено против оси x : $\delta \mathbf{F} \uparrow \downarrow \mathbf{i}$. Вводится линейная плотность $\mathbf{f} = \delta \mathbf{F} / \delta y, \delta \mathbf{F} = \delta y \mathbf{f}$.

По определению вектор среднего касательного напряжения $\mathbf{p}_{\text{ухср}} = \frac{\delta \mathbf{F}}{\delta \sigma}, \delta \sigma = \delta x \delta z$ параллелен и одинаково направлен с силой, вызывающей конкретное напряжение $\mathbf{p}_{\text{ухср}} \uparrow \uparrow \delta \mathbf{F}, \mathbf{p}_{\text{ухср}} \uparrow \uparrow \mathbf{f}$.

Введением коэффициента пропорциональности образуются связи:

$$\mathbf{f} = k' \mathbf{p}_{\text{ухср}}, k' > 0, \delta y \mathbf{f} = k' \mathbf{p}_{\text{ухср}} \delta y, \mathbf{p}_{\text{ухср}} \uparrow \downarrow \mathbf{i}, k' \mathbf{p}_{\text{ухср}} \delta y = -k_u \delta u \mathbf{i}$$

Данное выражение умножается скалярно на орт \mathbf{i} :

$$k' \mathbf{p}_{\text{ухср}} \delta y \cdot \mathbf{i} = -k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i}$$

В результате получаются

$$k' p_{yxcp} \delta y \cdot \mathbf{i} = k' |p_{yxcp}| |\delta y| |\mathbf{i}| \cos 180^\circ = -k' p_{yxcp} \delta y,$$

$$-k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = -k_u \delta u$$

Равенства

$$k' p_{yxcp} \delta y = k_u \delta u, p_{yxcp} = \frac{k_u}{k'} \frac{\delta u}{\delta y}$$

в пределе дают касательное напряжение

$$p_{yx} = \lim_{\delta y \rightarrow 0} \frac{k_u}{k'} \frac{\delta u}{\delta y} = \mu_u \frac{\partial u}{\partial y}, \mu_u = \frac{k_u}{k'} > 0$$

Касательные напряжения по другим направлениям аналогичны:

$$p_{xy} = \mu_v \frac{\partial v}{\partial x}, p_{zx} = \mu_u \frac{\partial u}{\partial z}, p_{xz} = \mu_w \frac{\partial w}{\partial x}, p_{yz} = \mu_w \frac{\partial w}{\partial y}, p_{zy} = \mu_v \frac{\partial v}{\partial z}$$

Таким образом, формулы напряжений для внешних сил совпадают с формулами воздействия упругих сил, поэтому дальнейшие выводы делаются только для внешних сил.

2. Связь нормальных напряжений с законом Гука

Аналогичными рассуждениями устанавливается формула составляющей \mathbf{p}_{xx}^0 нормального напряжения $\mathbf{p}_{xx} = \lambda \operatorname{div} \mathbf{i} + \mathbf{p}_{xx}^0$. Пусть внешние силы равны: $\mathbf{F}_1 = k_u u_1 \mathbf{i}$ на плоскости x_1 и $\mathbf{F}_2 = k_u u_2 \mathbf{i}$ на плоскости $x_2 = x_1 + \delta x, \delta x > 0$. Образуются приращения сил и перемещений:

$$\delta \mathbf{F} = \mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1 = k_u u_2 \mathbf{i} - k_u u_1 \mathbf{i} = k_u \delta u \mathbf{i}, \delta u = u_2 - u_1 > 0.$$

По определению напряжений имеют место $\mathbf{p}_{xxcp}^0 = \frac{\delta \mathbf{F}}{\delta \sigma}, \delta \sigma = \delta y \delta z$ и одинаковая направленность векторов $\delta \mathbf{F} \uparrow \uparrow \mathbf{i}$ в силу $|\mathbf{F}_2| > |\mathbf{F}_1|$.

Через линейную плотность

$$\mathbf{f} = \frac{\delta \mathbf{F}}{\delta x}, \delta \mathbf{F} = \delta x \mathbf{f}, \mathbf{f} = k'' \mathbf{p}_{xxcp}^0$$

получаются равенства $\delta \mathbf{F} = k'' \delta x \mathbf{p}_{xxcp}^0, k'' \delta x \mathbf{p}_{xxcp}^0 = k_u \delta u \mathbf{i}$.

Последнее выражение умножается скалярно на орт \mathbf{i} :

$$k'' \delta x \mathbf{p}_{xxcp}^0 \cdot \mathbf{i} = k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i}$$

Векторы параллельны по структуре $\mathbf{p}_{xxcp}^0 \uparrow \uparrow \mathbf{i}$.

Поэтому имеют место в скалярных произведениях равенства

$$k'' \delta x \mathbf{p}_{xxcp}^0 \cdot \mathbf{i} = k'' \delta x |p_{xxcp}^0| \cdot |\mathbf{i}| \cdot \cos 0^\circ = k'' \delta x p_{xxcp}^0, k_u \delta u \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = k_u \delta u.$$

В результате получается $k'' \delta x p_{xxcp}^0 = k_u \delta u$, откуда $p_{xxcp}^0 = \frac{k_u}{k''} \frac{\delta u}{\delta x}$.

В пределе вытекает формула составляющей нормального напряжения

$$p_{xx}^0 = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \frac{k_u}{k''} \frac{\delta u}{\delta x} = \mu_u \frac{\partial u}{\partial x}, \mu_u = \frac{k_u}{k''}.$$

Такими же рассуждениями выводятся составляющие нормальных напряжений по другим направлениям:

$$p_{ii}^o = \mu_1 \frac{\partial u_i}{\partial x_i}, \quad \mu_i = \frac{k_i}{k^n}, \quad i=1,2,3; \quad u_1 \equiv u, u_2 \equiv v, u_3 \equiv w, x_1 \equiv x, x_2 \equiv y, x_3 \equiv z.$$

Такие же формулы нормальных напряжений получаются для сил упругости в твердом деформируемом теле $\mathbf{F}_{\text{упр}} = -\mathbf{F}$.

Таким образом, по закону Гука получается *несимметричный* тензор напряжений в анизотропном твердом деформируемом теле:

$$p_{ji} = \delta_{ji} \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} + \mu_i \varepsilon_{ji}, \quad \varepsilon_{ji} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad i,j=1,2,3, \quad (2.1)$$

$\mathbf{u} = u_1 \mathbf{i} + u_2 \mathbf{j} + u_3 \mathbf{k}$ - вектор перемещения. В нормальных напряжениях $\lambda \delta_{ji} \operatorname{div} \mathbf{u}$ по Ламе сохраняется, δ_{ji} - символ Кронеккера.

3. Уравнения теории упругости с несимметричным тензором напряжений анизотропного тела

Элементы тензора деформаций $\varepsilon_{ji} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, i,j=1,2,3$, непосредственно вытекающие из закона

Гука [1], равны коэффициентам неполного дифференциала (3.4).

Несимметричный тензор напряжений анизотропного тела

$$p_{ji} = \delta_{ji} \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} + \mu_i \varepsilon_{ji}, \quad \varepsilon_{ji} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad i,j=1,2,3, \quad (4.1)$$

в уравнениях динамики сплошной среды в напряжениях

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \rho_0 F_i + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial p_{ji}}{\partial x_j}, \quad i=1,2,3$$

дает уравнение

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \rho_0 F_i + \lambda \frac{\partial}{\partial x_i} \operatorname{div} \mathbf{u} + \mu_i \Delta u_i, \quad i=1,2,3 \quad (4.2)$$

$$\mu_u = \mu_1, \mu_v = \mu_2, \mu_w = \mu_3.$$

4. О фальсификациях и непригодности уравнений Ламе в теории упругости анизотропных тел

Уравнения упругости твердого деформируемого тела

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \rho_0 \mathbf{F} + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{u} + \mu \Delta \mathbf{u} \quad (3.1)$$

построены по гипотезе Ламе о *симметричности* тензора напряжений

$$p_{ji} = \lambda \delta_{ji} \operatorname{div} \mathbf{u} + 2\mu \varepsilon_{ji}, \quad \varepsilon_{ji} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad p_{ji} = p_{ij}, \quad i,j=1,2,3, \quad (3.2)$$

Гипотеза Ламе заключается в том, что элементы ε_{ji} тензора деформаций \mathcal{E} должны быть равны *удвоенному* симметричному тензору скоростей деформаций, то есть *удвоенной* первой половине искусственной формулы

$$du_i = \sum_{j=1}^3 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] dx_j, i=1,2,3, \quad (3.3)$$

(вторая антисимметричная половина (3.3) игнорируется [3-11]).

Формула (3.3) образована из неполного дифференциала смещений

$$\tilde{d}u_i = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial u_i}{\partial x_j} dx_j, i=1,2,3, \quad (3.4)$$

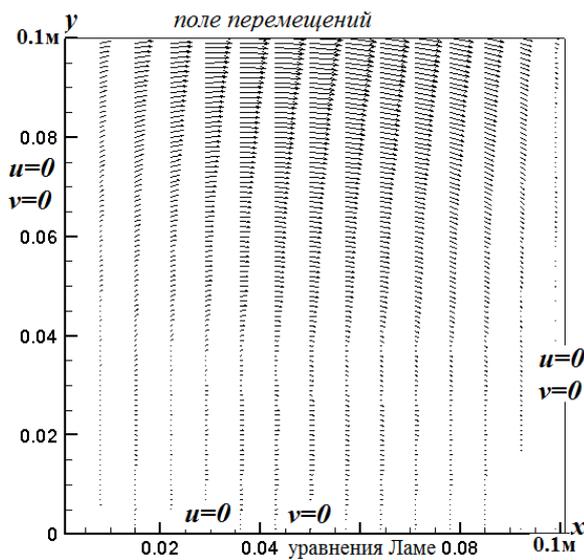
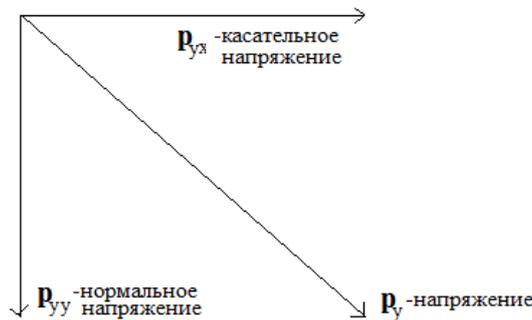
(Полный дифференциал: $du = \frac{\partial u}{\partial t} dt + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial u}{\partial x_j} dx_j = \frac{\partial u}{\partial t} dt + \tilde{d}u$).

Таким образом, в [3-11] тензор напряжений Ламе (3.2) не соответствует и не вытекает из закона Гука. Очевидно, уже по построению не годится в анизотропных средах.

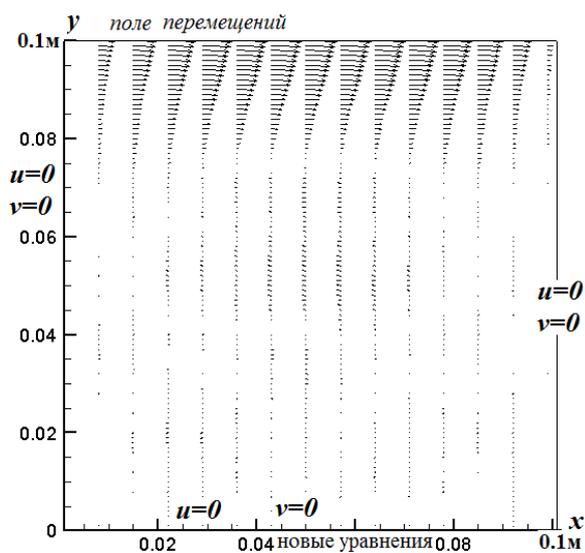
Изложенный выше метод автора противоположен гипотезе Ламе и физически основан на законе Гука, в точности следует определению, данному С.П. Тимошенко в [2]: «Основная задача теории упругости заключается в том, чтобы по заданным действующим на твердое тело внешним силам находить те изменения формы, которые тело претерпевает, и те внутренние силы упругости, которые при этих изменениях формы возникают между частями тела».

Для сравнения уравнений Ламе (3.1) с новыми уравнениями с несимметричным тензором напряжений в изотропном теле $\mu_u = \mu_v = \mu_w = \mu$:

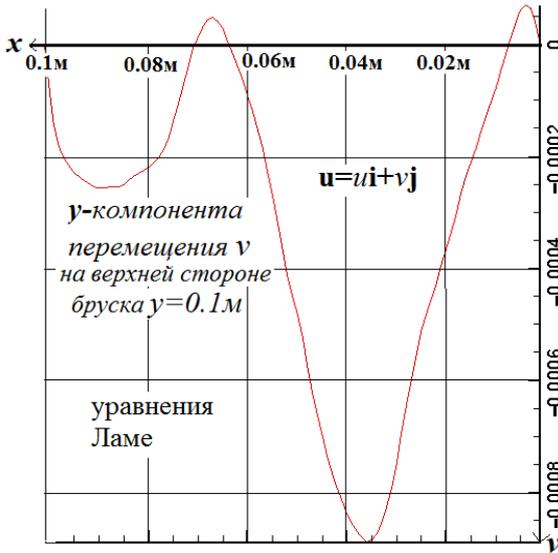
$$\rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \rho_0 \mathbf{F} + \lambda \text{graddiv} \mathbf{u} + \mu \Delta \mathbf{u} \quad (3.5)$$



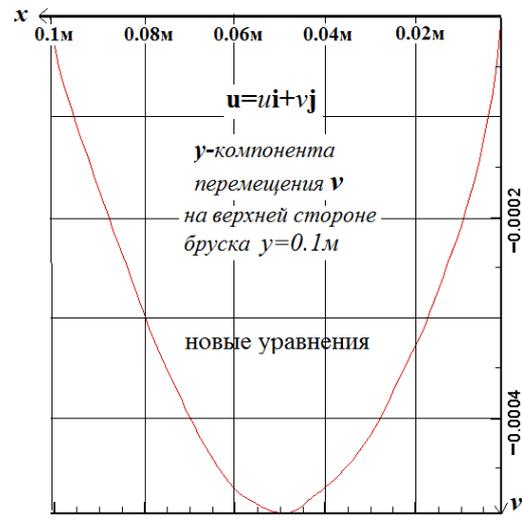
Фигура 1



Фигура 2



Фигура 3

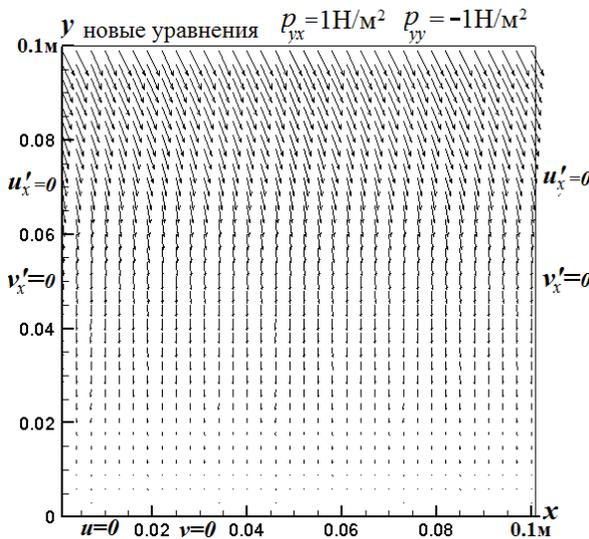


Фигура 4

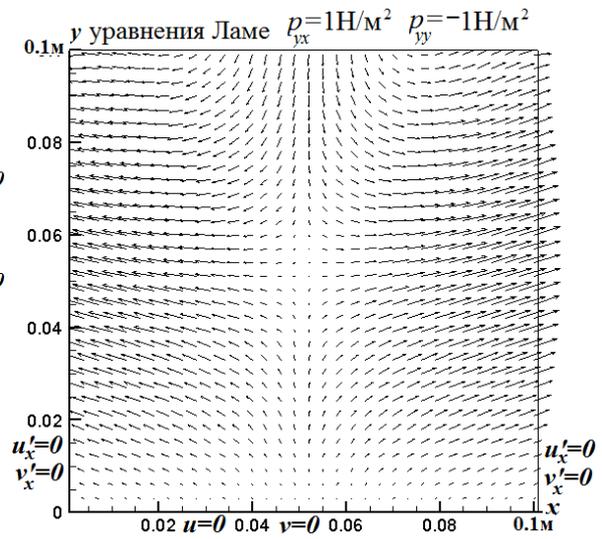
выполнен расчет перемещений в квадратном деформируемом бруске размером 0.1м на 0.1м.

Вектор внешней силы $\mathbf{p}_y = \mathbf{p}_{yx} + \mathbf{p}_{yy} = p_{yx}\mathbf{i} + p_{yy}\mathbf{j}$ направлен под углом к верхней плоскости бруска.

На фиг. 1 и 2 представлены поля векторов перемещений $\mathbf{u} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j}$, на фиг. 3 и 4 эпюры поперечной скорости на верхней стороне бруска, всё на момент времени $t=121.38$ с. Плотность тела $\rho_0 = 7800\text{кг/м}^3$. Конкретно положено $p_{yy}=-1\text{Н/м}^2$, $p_{yx}=10\text{ Н/м}^2$. Остальные грани бруска жестко закреплены, смещения на них равны нулю. Коэффициенты Ламе выбраны равными $\lambda = 1\text{ кз/(с}^2\text{м)}$, $\mu = 100\text{ кз/(с}^2\text{м)}$. Двумерные уравнения Ламе (3.1) и новые уравнения (3.5) реализованы по явным схемам [2] на сетке 100×100 с шагом по времени равным 0.0005с . Подтверждено явное различие между численными решениями, в особенности вертикальных перемещений на верхней стороне бруска на фиг. 3 и 4.



Фигура 5



Фигура 6

На фиг. 4 перемещение частиц верхней стороны бруска $y=0.1\text{ м}$ происходит вниз, что подтверждается отрицательными значениями поперечного перемещения v по новым уравнениям. На фиг. 3 по уравнениям Ламе имеются положительные значения поперечной составляющей перемещения, что противоречит направлению действия внешней силы.

На фиг. 5 поле перемещений по новым уравнениям, на фиг. 6 поле перемещений по уравнениям Ламе. Напряжения действуют на всей верхней стороне бруска. Результаты фиг. 1 - 6 практически подтверждают фальшивость уравнений Ламе с симметричным тензором напряжений.

5. Явная схема уравнений анизотропной теории упругости

Рассматривается задача Коши-Дирихле для новых уравнений

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \rho_0 F_x + \lambda \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial x} + \mu_u \Delta \mathbf{u},$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial t^2} = \rho_0 F_y + \lambda \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial y} + \mu_v \Delta \mathbf{v},$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial t^2} = \rho_0 F_z + \lambda \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial z} + \mu_w \Delta \mathbf{w},$$

$$\mathbf{p} = \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial z}$$

с начальными условиями:

$$\mathbf{u}|_{t=0} = \mathbf{d}_u(\mathbf{r}), \mathbf{v}|_{t=0} = \mathbf{d}_v(\mathbf{r}), \mathbf{w}|_{t=0} = \mathbf{d}_w(\mathbf{r}),$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t}|_{t=0} = \mathbf{d}_{uu}(\mathbf{r}), \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}|_{t=0} = \mathbf{d}_{vv}(\mathbf{r}), \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t}|_{t=0} = \mathbf{d}_{ww}(\mathbf{r})$$

и краевыми условиями на границе S :

$$\mathbf{u}|_S = \mathbf{q}_u(\mathbf{r}), \mathbf{v}|_S = \mathbf{q}_v(\mathbf{r}), \mathbf{w}|_S = \mathbf{q}_w(\mathbf{r}),$$

В области интегрирования задается равномерная сетка

$\bar{\Omega}_h = \{x_i = ih_x, y_j = jh_y, z_k = kh_z, 0 \leq i \leq N_x, 0 \leq j \leq N_y, 0 \leq k \leq N_z\}$, и сетка по времени $\bar{\Omega}_\tau = \{t_n = n\tau, n = 0, 1, \dots, N_\tau\}$.

Обозначения сеточных функций: $f_{ijk}^n \equiv f(x_i, y_j, z_k, t_n)$.

Начальные условия задаются во внутренних узлах:

$$\mathbf{u}_{ijk}^0 = \mathbf{d}_{uijk}, \mathbf{v}_{ijk}^0 = \mathbf{d}_{vijk}, \mathbf{w}_{ijk}^0 = \mathbf{d}_{wijk},$$

$$\mathbf{u}_{ijk}^1 = \mathbf{d}_{uijk} + \tau \mathbf{d}_{uuijk}, \mathbf{v}_{ijk}^1 = \mathbf{d}_{vijk} + \tau \mathbf{d}_{vvijk}, \mathbf{w}_{ijk}^1 = \mathbf{d}_{wijk} + \tau \mathbf{d}_{wwijk},$$

$$1 \leq i \leq N_x - 1, 1 \leq j \leq N_y - 1, 1 \leq k \leq N_z - 1$$

краевые условия в граничных узлах.

Явная разностная схема:

$$Q_{uijk}^n = \mu_u \left[\frac{u_{i-1jk}^n - 2u_{ijk}^n + u_{i+1jk}^n}{h_x^2} + \frac{u_{ij-1k}^n - 2u_{ijk}^n + u_{ij+1k}^n}{h_y^2} + \frac{u_{ijk-1}^n - 2u_{ijk}^n + u_{ijk+1}^n}{h_z^2} + \rho_0 F_{xijk} \right],$$

$$Q_{vijk}^n = \mu_v \left[\frac{v_{i-1jk}^n - 2v_{ijk}^n + v_{i+1jk}^n}{h_x^2} + \frac{v_{ij-1k}^n - 2v_{ijk}^n + v_{ij+1k}^n}{h_y^2} + \right]$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{v_{ijk-1}^n - 2v_{ijk}^n + v_{ijk+1}^n}{h_z^2} + \rho_0 F_{yijk}], \\
Q_{wijk}^n = & \mu_w \left[\frac{w_{i-1jk}^n - 2w_{ijk}^n + w_{i+1jk}^n}{h_x^2} + \frac{w_{ij-1k}^n - 2w_{ijk}^n + w_{ij+1k}^n}{h_y^2} + \right. \\
& \left. + \frac{w_{ijk-1}^n - 2w_{ijk}^n + w_{ijk+1}^n}{h_z^2} + \rho_0 F_{zijk} \right], \\
\rho_0 \frac{u_{ijk}^{n+1} - 2u_{ijk}^n + u_{ijk}^{n-1}}{\tau^2} = & Q_{wijk}^n + \lambda \left(\frac{u_{i-1jk}^n - 2u_{ijk}^n + u_{i+1jk}^n}{h_x^2} + \right. \\
& \left. + \frac{v_{i+1j+1k}^n - v_{i+1j-1k}^n - v_{i-1j+1k}^n + v_{i-1j-1k}^n}{4h_x h_y} + \frac{w_{i+1jk+1}^n - w_{i+1jk-1}^n - w_{i-1jk+1}^n + w_{i-1jk-1}^n}{4h_x h_z} \right), \\
\rho_0 \frac{v_{ijk}^{n+1} - 2v_{ijk}^n + v_{ijk}^{n-1}}{\tau^2} = & Q_{vijk}^n + \lambda \left(\frac{v_{ij-1k}^n - 2v_{ijk}^n + v_{ij+1k}^n}{h_y^2} + \right. \\
& \left. + \frac{u_{i+1j+1k}^n - u_{i+1j-1k}^n - u_{i-1j+1k}^n + u_{i-1j-1k}^n}{4h_x h_y} + \frac{w_{ij+1k+1}^n - w_{ij+1k-1}^n - w_{ij-1k+1}^n + w_{ij-1k-1}^n}{4h_z h_y} \right), \\
\rho_0 \frac{w_{ijk}^{n+1} - 2w_{ijk}^n + w_{ijk}^{n-1}}{\tau^2} = & Q_{wijk}^n + \lambda \left(\frac{w_{ijk-1}^n - 2w_{ijk}^n + w_{ijk+1}^n}{h_z^2} + \right. \\
& \left. + \frac{u_{i+1jk+1}^n - u_{i+1jk-1}^n - u_{i-1jk+1}^n + u_{i-1jk-1}^n}{4h_x h_z} + \frac{v_{ij+1k+1}^n - v_{ij+1k-1}^n - v_{ij-1k+1}^n + v_{ij-1k-1}^n}{4h_z h_y} \right), \\
& i=1, \dots, N_x - 1, j=1, \dots, N_y - 1, k=1, \dots, N_z - 1
\end{aligned}$$

Явная схема имеет погрешность 2-го порядка по всем переменным

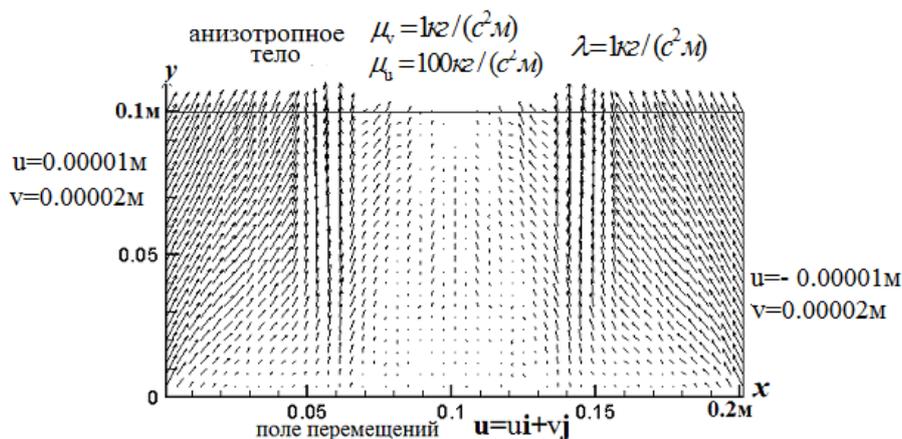
$$O(\tau^2) + O(h_x^2) + O(h_y^2) + O(h_z^2).$$

Устойчивость схемы обеспечивается условием Куранта:

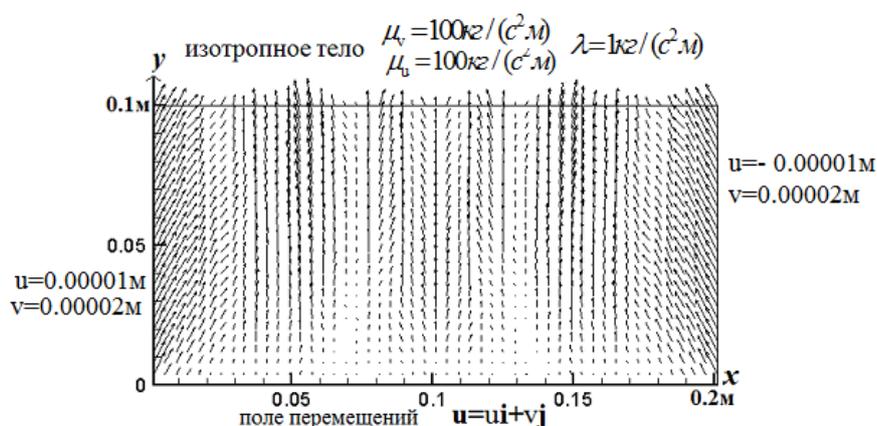
$$\frac{\tau^2 \mu}{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2} \leq 1, \quad \mu = \max \{ \mu_u, \mu_v, \mu_w \}.$$

На фиг.7 представлено поле перемещений в анизотропном теле, на фиг.8 в изотропном теле. На верхней плоскости бруска ставится краевое условие Неймана $\frac{\partial u}{\partial y} = 0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0$.

Очевидно, различие в коэффициентах μ_v приводит к разным полям перемещений, следовательно, к различным полям внутренним напряжениям.



Фигура 7



Фигура 8

Выводы

Физические выводы нормальных и касательных напряжений доказывают *несимметричность* тензора напряжений в твердом деформируемом теле как для изотропного закона Гука, так и для анизотропного. Конкретные примеры численных расчетов состояния упругого тела показывают неадекватность и несостоятельность гипотезы о *симметричности* тензора напряжений сплошной среды и соответственно уравнений теории упругости Ламе.

Несимметричность тензора напряжений открывает широкие возможности для моделирований перемещений в твердом деформируемом теле, что пока-зано на примере анизотропного тела фиг. 7.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джакупов К.Б. Моделирование по закону Гука в теории упругости. Несимметричность тензора напряжений // Известия НАН РК, серия физ.-мат., 6(310), ноябрь - декабрь 2016 г. с.96-103.
- [2] Тимошенко С.П. Курс теории упругости. - Киев: «Наукова думка», 1972г. С.503.
- [3] Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. - М.: Мир, 1974г. 318с.
- [4] Седов Л.И. Механика сплошной среды, т.1. М.: «Наука»,1973г. 315с.
- [5] Лурье А.И. Теория упругости. М.: «Наука»,1970г. 984с.
- [6] Ильюшин А.А. Механика сплошной среды.М.: Изд-во МГУ, 1978г. 287с.
- [7] Ильюшин А.А., Победра Б.Е. Основы математической теории термовязко-упругости. М.: «Наука»,1970г. 547с.
- [8] Pyushin A.A., Lenski V.S. Strength of Materials. N.Y. Pergamon press, 1967.
- [9] Eringen A.C. Mechanics of Continua.N.Y. , Wiley, 1967.
- [10] Новацкий В. Теория упругости. М.: «Мир», 1975.
- [11] Ломакин В.А. Теория упругости неоднородных тел. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- [12] Джакупов К.Б. Коррекции теоретических парадоксов механики сплошной среды.- Алматы: Изд-во «Ғылым ордасы», 2016г. С.418.

REFERENCES

- [1] Джакупов К.Б. Моделирование по закону Гука в теории упругости. Несимметричность тензора напряжений //Известия НАН РК, серия физ.-мат., 6(310), ноябрь - декабрь 2016 г. с.96-103.
- [2] Тимошенко С.П. Курс теории упругости.- Киев: «Наукова думка», 1972г.С.503.
- [3] Mase G.E. Theory and Problems of Continuum Mechanics. М.: "Mir", 1974. P.318.
- [4] Sedov L.I. Continuum Mechanics , Vol.1 . М.: "Science", 1973 . P.315.
- [5] Lurie A.I. The theory of elasticity . М.: "Science" , 1970 . P.984 .
- [6] Ilyushin A.A. Continuum Mechanics sredi.M.: MGU , 1978 . P.287.
- [7] Ilyushin AA Pobedria BE Fundamentals of the mathematical theory of thermo – viscoelasticity . М.: "Science" , 1970 . 547s .
- [8] Ilyushin A.A., Lenski V.S. Strength of Materials. N.Y. Pergamon press, 1967 .
- [9] Eringen A.C. Mechanics of Continua.N.Y. , Wiley, 1967 .
- [10] Nowacki W. Theory of Elasticity . М.: "Mir" , 1975.
- [11] Lomakin V.A .Theory of elasticity of inhomogeneous bodies . М.: MGU , 1976.
- [12] Jakupov K.B. Correction of continuum mechanics theoretical paradoxes – Almaty: publishing house «Ғылым ордасы», 2015г. P.376.

ӘОЖ: 539.2/.6

К.Б. Жақып-тегі

Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ., Қазақстан

ГУКТЫҢ ЗАҢЫ АНИЗОТРОПТЫҚ ДЕНЕЛЕРДІҢ СЕРПІЛІМДІК ТЕОРИЯСЫНДА

Аннотация. Тікелей Гук заңымен анизотроптық қатты майысқақ денелердің кернеулер тензорының компоненттері шығарылған. Ламенің екінші еселеушінің бағыттан тәуелділігі есептелген. Майысқақ қатты дененің серпілімдік теориясының кернеулер тензорының беттеспегендігі дәлелденген. Осыған сәйкес анизотроптық майысқақ қатты дененің серпілімдік теориясының теңдеулері жасалынған. Ламе гипотезасында толық емес жылжу дифференциалының беттескен жартысы қана пайдаланғаны көрсетілген, екінші антибеттескен жартысы лақтырылынған, соның салдарынан Ламе кернеулер тензорының беттескендігі шыққан. Жаңа теңдеулер үшін 2 ретті нақтылығы бар айқын схема жасалынған, соны пайдаланып жазық жолақтың серпілімдік күйі саналған, үстіңгі жақтауының ортасыны жанама кернеулер және тік кернеулер әсер еткенде. Дәл сондай схема Ламе теңдеулеріне де қолдалынған. Саналған жылжулардың үлестірулік суреттері салыстырынып жатқан теңдеулердің айырмашылықтарын бейнелейді және Ламе теңдеулерінің майысқақ қатты дененің күйіне сәйкес еместігін көрсетеді. Ламе теңдеулерінің жалғандығы теориялық және физикалық тұпатта бекітілген.

Түйін сөздер: анизотроптылық, созылу, кернеулер, тензор, теңдеулер.

Сведения об авторе:

Джакупов Кенес Баженович - доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Российской Академии Естествознания,

Служебный адрес: РГП Институт математики и математического моделирования КМ МОН РК, 050010, ул.Пушкина,125, г.Алматы, Казахстан,

Домашний адрес: 050014, мкр. Айнабулак-3, д.158, кв. 20, г.Алматы, Казахстан

Контактные телефоны: 8 727 305 92 44, +7 701 667 88 59, Адрес электронной почты: E-mail: jakupovKB@mail.ru

K. A. Kabyrbekov, H.A.Ashirbaev, H. K. Abdrahmanova, A.I. Dzhumagalieva, Zh.B. Kydybekova

M.Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.
kenkab@mail.ru rainur_jumagali@mail.ru

**MANAGING THE IMPLEMENTATION OF LABORATORY WORK
"SIMULATION OF THE ELECTRIC FIELD OF A SYSTEM CONSISTING
OF DIELECTRIC TRIANGLES AND LONG CONDUCTOR CHARGED"
WITH USING MATLAB SOFTWARE PACKAGE**

Abstract. The model of organization of the laboratory work, "Modeling the electric field of a system consisting of a dielectric square and long charged conductor". Charged long linear conductor is parallel to the dielectric plate of the polygon with the given distances. The necessary parameters for the calculations are given. For simulation and visualization of the results, we use the MATLAB software package. A few questions from the theory of negotiations: the potential and electric field of a long charged conductor, the method of displaying image fields, methods, visualization of results of simulation and graphics editing. The proposed program of calculations can be used when modeling similar systems with different parameters.

Key words. Modeling, electric field, potential, tension, dielectric angle of a charged conductor.

УДК 53, 532.133, 621.3.018.72.025.1

К.А.Кабылбеков, Х.А. Аширбаев, Х.К. Абдрахманова, А.И. Джумагалиева, Ж.Б. Кыдырбекова

Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
«МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ,
СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УГОЛЬНИКА
И ДЛИННОГО ЗАРЯЖЕННОГО ПРОВОДНИКА»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ МАТЛАВ**

Аннотация. Предлагается модель организации выполнения лабораторной работы «Моделирование электрического поля системы, состоящей из диэлектрического угольника и длинного заряженного проводника». диэлектрического угольника Длинный линейно заряженный проводник расположен параллельно пластинам диэлектрического угольника на заданных расстояниях. Даны необходимые параметры для расчетов. Для моделирования и визуализации результатов используется пакет программ MATLAB. Приводятся вопросы из теории для обсуждения: потенциал и напряженность электрического поля длинного заряженного проводника, метод зеркального изображения поля, способы визуализации результатов моделирования и редактирования графиков. Предлагаемую програму расчетов можно использовать при моделировании аналогичных систем с другими параметрами.

Ключевые слова: моделирование, электрическое поля, потенциал, напряженность, диэлектрический угольник, заряженный проводник.

Президент Республики Казахстан Н. Назарбаев в Послании народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» - новый политический курс состоявшегося государства», обозначив приоритеты в сфере образования, сказал: «Нам предстоит произвести модернизацию методик преподавания и активно развивать он-лайн-системы образования, создавая региональные школьные центры. Мы должны интенсивно внедрять иннова-

ционные методы, решения и инструменты в отечественную систему образования, включая дистанционное обучение и обучение в режиме он-лайн, доступные для всех желающих» [1].

Для реализации поставленных задач кафедра «Теория и методика преподавания физики» ЮКГУ им. Ауэзова МОН РК с 2011-2012 учебного года внедрила в учебный процесс дисциплины «Информационные технологии в образовании», «Информационные технологии в преподавании физики», «Методика использования электронных учебников», «Компьютерное моделирование физических явлений» программы которых предусматривает освоение и использование современных информационных технологий в преподавании физики. Программа дисциплины «Компьютерное моделирование физических явлений» для специальности 5B011000, 5B060400-физика предусматривает использование программного комплекса MATLAB для моделирования задач механики, молекулярной физики и термодинамики, электростатики и электродинамики, оптики, квантовой физики с сопровождением графики. Цель курса – изучить основные принципы и раскрыть сущность математического моделирования, показать роль математического моделирования при описании различных физических процессов и явлений. Задачей курса является обучение студентов общим методам решения уравнений математической физики, построению модели физического процесса или явления, отражающей в математической форме важнейшие его свойства, присущие составляющим его частям связи и т.д; обучение исследованию математическими методами свойств модели для получения сведений об объекте исследования; обучение выбору (или разработке) алгоритма для реализации модели на компьютере и созданию соответствующих компьютерных программ; обучения компьютерной графике: а) формирование творческого воображения, образно-графического и технического мышления; б) овладение компьютерными технологиями для получения графических изображений. В результате изучения дисциплины студенты должны:

- овладеть методологией математического моделирования физических явлений;
- иметь представление о принципах и методах математического моделирования;
- уметь моделировать различные системы и анализировать построенные математические модели физических явлений;

- Уметь редактировать двумерные и трехмерные графики.

Курс является логическим продолжением курсов: “Общая физика”, “Вычислительная математика”, “Математические пакеты”, “Языки программирования”.

Возможности MATLAB весьма обширны, а по скорости выполнения задач система нередко превосходит своих конкурентов. Она применима для расчетов практически в любой области науки и техники. Программный комплекс MATLAB является одним из лучших современных решений для организации математического моделирования физических процессов.

Методика конструирования заданий для компьютерных моделей приведена в брошюре «Методические аспекты преподавания физики с использованием компьютерного курса «Открытая физика». В качестве примера в ней приведены бланки заданий для выполнения компьютерной лабораторной работы с использованием компьютерных моделей «Движение с постоянным ускорением» и «Упругие и неупругие соударения». Такие же материалы размещены в компакт-диске «Открытая физика 2.5», в сайтах «Открытый колледж» и на страницах сетевого объединения методистов (СОМ) [3,4]. В них даются два вида лабораторных бланков:

- бланк для внесения ответов обучающимися;
- бланк для учителя в котором имеются ответы тестов и заданий для удобства их проверки.

Сформировать интерес к изучению физике посредством использования современных информационных технологий обучения; развитие познавательных универсальных способностей (навыки теоретического мышления, исследовательского и творческого поиска. Современный взгляд на наше общество как на обучающееся подразумевает, что образовательная система должна быть ориентирована (в большей степени, чем раньше) на развитие и воспитание у учащихся адаптивной компетенции, т. е. способности осознанно и гибко применять полученные знания и навыки в различных контекстах.

На основании результатов недавнего исследования [2] в данной статье в первую очередь обсуждается следующий вопрос: чему именно требуется научиться, чтобы приобрести адаптивную компетенцию в какой-либо области? Автор считает, что для развития адаптивной компетенции необходим комплекс когнитивных, эмоциональных и мотивационных компонентов, а именно: предметная база в виде структурированных знаний в определенной области, навыки использования эвристических методов мышления, метазнания — представления о собственной когнитивной деятельности, мотивации и эмоциях, навыки саморегуляции для управления собственными когнитивными, мотивационными и эмоциональными процессами, а также позитивные убеждения в отношении себя как учащегося и в отношении обучения в различных областях. Далее автор задается следующим вопросом: каковы характеристики процессов обучения, продуктивных с точки зрения приобретения адаптивной компетенции? Обучение, целью которого является формирование адаптивной компетенции, должно представлять собой конструктивный, саморегулируемый, конкретный и

совместный (КСКС) процесс формирования знаний и навыков. Каким образом преподаватель может стимулировать обучение по типу КСКС? В статье приведен пример создания действенной обучающей среды, ориентированной на повышение эффективности обучения студентов. В работе [3] предлагаются критерии информационной компетентности, выраженные через качества «информационной» личности на основе комплекса знаний и умений в области информационных технологий, среди них особое внимание уделяется умению интерпретировать полученные результаты; принимать решения о применении того или иного программного обеспечения; предвидеть последствия принимаемых решений и делать соответствующие выводы; и т.д. Приводятся **практические примеры формирования информационной компетенции на различных этапах урока – исследования, например, по теме «Воздухоплавание».** В работах [4-7] предлагаются разработки уроков по темам «Основы термодинамики», «Атомная физика», «Преломление света», «Коэффициент полезного действия» с использованием электронных обучающих средств. Мощным средством обучения физике, по мнению многих отечественных и зарубежных специалистов является продукция компании «Физикон» [8]. В дисках «Открытая физика 25» этой компании даются методические рекомендации по составлению заданий и их выполнению практически по всем разделам школьной программы. По нашему и мнению других [9-14], каждый преподаватель физики при желании может самостоятельно сконструировать компьютерную лабораторную работу, используя интерактивные модели из мультимедийного курса «Открытая Физика» компании «Физикон». Для этого рекомендуется использовать тот же алгоритм для создания лабораторных работ, который применен в данном мультимедийном курсе. Сначала рекомендуется разобрать теорию вопроса, затем ответить на контрольные вопросы, выполнить задачи, при решении которых необходимо провести компьютерный эксперимент и проверить полученный результат.

Одной из трудных задач внедрения результатов использования информационных технологий в учреждениях образования является недостаточное практическое умение преподавателей использования компьютерных моделей физических явлений для организации проведения лабораторных работ. От организации компьютерных лабораторных работ во многом зависит активизация, мотивация и в конечном счете эффективность обучения. О создании и использовании моделей бланков организации компьютерных лабораторных работ по исследованию различных физических явлений в учебном процессе нами ранее написаны [15-34].

Предлагаем модель организации выполнения лабораторной работы «Моделирование электростатического поля системы состоящей из диэлектрического уголка и длинного заряженного проводника с использованием пакета программ MATLAB [35], [36].

Лабораторная работа: Моделирование электростатического поля системы состоящей из диэлектрического уголка и длинного заряженного проводника с использованием пакета программ MATLAB.

Цель работы: Создать программу моделирования поля на языке MATLAB, результаты представить в виде зависимости потенциала поля от координат x и y .

Вопросы из теории для обсуждения:

1. Напишите выражения потенциала и напряженности электростатического поля прямого, длинного проводника, заряженного известной линейной плотностью.
2. Напишите выражения потенциала и напряженности электростатического поля между двумя прямыми, длинными проводниками, разноименно заряженными известной линейной плотностью.
3. Опишите метод зеркального изображения поля.
4. Как осуществить визуализацию расчетов.

Электростатическое поле между диэлектрическим уголком и параллельным, длинным заряженным проводником, рисунок 1: $h = l = 20$ мм; $d = 5$ мм – диаметр проводника; $\tau = 0,2$ мкКл/км – линейная плотность заряда проводника; внешняя среда – вакуум; $\epsilon_{r1} = 20$ – диэлектрическая постоянная материала уголка.

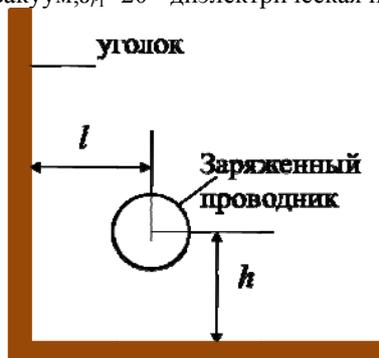


Рисунок 1 - Схема для расчета поля уголка и заряженного проводника

Программа расчета и визуализации (набирается в командной строке):
 % Построение графика потенциала поля внутридиэлектрического уголка
 clc % очистка поля программы
 x=0:0.2:50; % Задаем координаты построения графика
 y=0:0.2:50;
 [xx,yy]=meshgrid(x,y);
 r1=sqrt((xx-2).^2+(yy-2).^2); % Вычисляем потенциал поля
 r2=sqrt((xx+2).^2+(yy-2).^2); % в заданных точках
 r3=sqrt((xx-2).^2+(yy+2).^2);
 r4=sqrt((xx+2).^2+(yy+2).^2);
 zx=-0.18.*log(r1.*r2.*r3.*r4./4.*0.01.^4);
 contour3(xx,yy,zx,100)
 xlabel('X, м')
 ylabel('Y, м')
 % введение название графика
 title('Потенциал поля уголка')

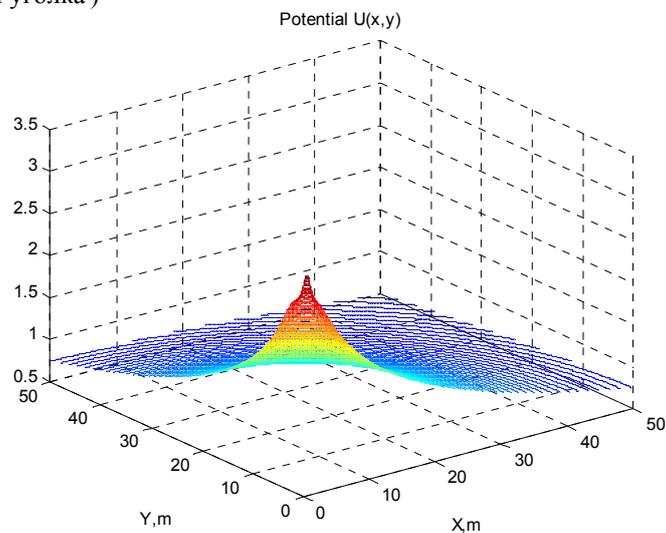


Рисунок 2 - Результат визуализации. Эвипотенциальные линии в трехмерном пространстве

```
>>view([0 0 10])
>>xlabel('X')
>>ylabel('Y')
>>title('Potential U=F(x,y)') % введение названия графика
>>grid on % нанесение сетки
```

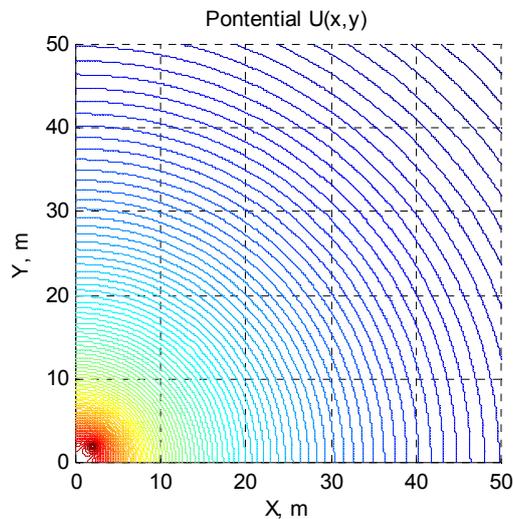


Рисунок 3 - Результат визуализации. Эквипотенциальные линии в плоскости XY

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Назарбаев Н.А. «Стратегия «Казахстан-2050»-новый политический курс состоявшегося государства». Послание народу Казахстана. Астана. www.bnews.kz. 14 декабря 2012г.
- [2] Де Корте Эрик. Инновационные перспективы обучения и преподавания в сфере высшего образования в XXI в. (пер. с англ.Е. Шадринной). Вопросы образования. 2014. № 3. С. 8–29.
- [3] Бушуев Л.Г. Формирование информационной компетентности на уроках физики. Вопросы образования. № 88. 2011. С. 11–22.
- [4] Свириденко О.В. «Основы термодинамики». Разработка урока физики (10 класс) с использованием ЭОР. Вопросы образования. № 88. 2011.С. 11–22.
- [5] Кормильцева Л.А. Урок-проект "Атомная физика". Вопросы образования. №97. 2011.С23-34.
- [6] Блохина С.Н. Разработка урока физики в 8 классе «Преломление света». Вопросы образования. №98. 2011. С 41-59.
- [7] Петрякова Л.Л. Коэффициент полезного действия. Конспект урока по физике, 7 класс Вопросы образования. № 114. 2013.С. 31-45.
- [8] CDдиск компании ОАО «Физикон». «Открытая физика 1.1».2001.
- [9] Хертел Г. Сениченков Ю.Б, Новик Л.В. «Сэр Ньютон, что вы думаете о компьютерном обучении» — Журнал «Компьютерные инструменты в образовании», Санкт-Петербург, Информатизация образования, № 1, 2003 - С. 60–66.
- [10] Кавтрев А.Ф. «Лабораторные работы к компьютерному курсу «Открытая физика».Равномерное движение. Моделирование неупругих соударений». Газета «Физика», №20, 2001.С. 5–8.
- [11] Фрадкин В.Е. «Освоение учителями способов реализации образовательного потенциалов информационных технологий в процессе повышения квалификации». -Автореферат дис.канд. пед. наук. СПб. 2002 - 25 с.
- [12] Кавтрев А.Ф. Опыт использования компьютерных моделей на уроках физики. «Вопросы Интернет-образования» № 3, 2002.
- [13] Гомулина Н.Н. Методика проведения компьютерной лабораторной работы с использованием мультимедиакурса «Открытая физика 2.5». «Взаимодействие параллельных токов». 2003. <http://www.college.ru/physics/op25part2/planning/teach/lessons.html>
- [14] Леонов Н. Ф. Использование компьютеров при обучении физике. «Вопросы Интернет-образования» № 2, 2001. http://archive.1september.ru/fiz/2001/20/no20_02.htm
- [15] Кабылбеков К.А., Байжанова А. Использование мультимедийных возможностей компьютерных систем для расширения демонстрационных ресурсов некоторых физических явлений. Труды Всероссийской научно-практ. конференции с международным участием. Томск 2011, С 210-215.
- [16] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Арысбаева А.С. Модель бланка организации самостоятельного выполнения учениками компьютерных лабораторных работ. Известия НАН РК, серия физ.мат., Алматы, 2013, №6, С 82-89.
- [17] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е., Абдураимов Р. Методика применения закономерностей фото- и комптонэффекта, модели бланков организации выполнения компьютерной лабораторной работы. Известия НАН РК, серия физ.мат., Алматы, 2013. №6, С 114-121.
- [18] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Турганова Т.К., Нуруллаев М.А., Байдуллаева Л.Е. Модель урока на тему собирающей и рассеивающей линзы. Известия НАН РК, серия физ.-мат. №2, Алматы, 2014, С 286—294.
- [19] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х. А., Саидахметов П.А., Рустемова Қ. Ж., Байдуллаева Л. Е. Модель бланка организации выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию дифракции света. Изв. НАН РК, серия физ.-мат, №1(299), Алматы, 2015, С 71-77.
- [20] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х. А., Такибаева Г.А., Сапарбаева Э.М., Байдуллаева Л. Е., Адинева Ш.И. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию движения заряженных частиц в магнитном поле и работы масс-спектрометра. Изв. НАН РК, серия физ.-мат, №1(299), Алматы, 2015, С 80-87.
- [21] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х. А., Саидахметов, П. А., Байгулова З.А., Байдуллаева Л.Е. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию колец Ньютона. Изв. НАН РК, серия физ.-мат, № 1(299), Алматы, 2015, С14-20.
- [22] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумагалиева А.И. Модель бланка организации выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию интерференции света. Изв. НАН РК, серия физ.мат., № 3 (301), Алматы, 2015, С 131-136.
- [23] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумагалиева А.И. Модель бланка организации выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию эффекта Доплера. Изв. НАН РК, серия физ.-мат., № 3 (301) Алматы, 2015, С 155-160.
- [24] Кабылбеков К.А. Организация выполнения компьютерной лабораторной работы. Учебное пособие. Шымкент, 2015, 77 стр.
- [25] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Арысбаева А.С., Джумагалиева А.М. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы при исследовании физических явлений. Современные наукоемкие технологии, №4, Москва, 2015, С 40-43.
- [26] Кабылбеков К.А., Саидахметов П. А., Аширбаев Х.А., Омашова Г.Ш., Бердалиева Ж. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию электромагнитных колебаний. Изв. НАН РК, серия физ.мат. №1(305), 2016, С 111-116.

- [27] Кабылбеков К.А., Саидахметов П. А., Омашова Г.Ш., Бердалиева Ж., Джумагалиева А.И. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию взаимодействия двух бесконечно длинных параллельных проводников с токами. Изв. НАН РК, серия физ. мат. №1(305), 2016, С 135-140.
- [28] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Суттибаева Д.И., Қозыбақова Г.Н. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию изобарного процесса. Изв НАН РК, серия физ. мат №2 2016 г. С92-97.
- [29] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Абекова Ж.А., Нуруллаев М.А. Модель бланка организации выполнения исследовательских заданий по физике. Вестник НАН РК №3, 2016, С67-73.
- [30] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Аширбаев, Х.А., Абдубаева Ф.И., Досканова А.Е. Исследование работы газа на компьютерной модели Вестник. НАН РК, №2 2016. С83-88
- [31] Кабылбеков К.А., Саидахметов П. А., Омашова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Суйеркулова Ж.Н. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию свободных механических колебаний. Изв. НАН РК, серия физ. мат №2 2016г. С84-91.
- [32] Кабылбеков К.А. Мадияров Н.К., Саидахметов П.А. Самостоятельное конструирование исследовательских заданий компьютерных лабораторных работ по термодинамике. Труды IX Международной научн-методической конференции. Преподавание естественных наук (биологии, физики, химии) математики и информатики. Томск-2016, С 93-99.
- [33] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш. Организация компьютерной лабораторной работы по исследованию реактивного сопротивления катушки индуктивности в цепи переменного тока. Вестник НАН РК-2017. №1, С 77-82.
- [34] Кабылбеков К.А., Саидахметов П. А., Омашова Г.Ш., Аширбаев Х.А., Абекова Ж.А. Организация компьютерной лабораторной работы по исследованию изотерм реального газа. Изв. НАН РК, серия физ. Мат. №1, 2017, С 77-83.
- [35] Дьяконов В.П. MATLAB учебный курс. - СПб.: Питер, 2001. - 533с.
- [36] Лурье М.С., Лурье О.М. Применение программы MATLAB при изучении курса электротехники. Для студентов всех специальностей и форм обучения. -Красноярск: СибГТУ, 2006.- 208 с.

REFERENCES

- [1] Nazarbayev N.A. "Strategy" Kazakhstan-2050 »- a new political policy of the taken place state». The message to the people of Kazakhstan. Astana. www.bnews.kz. On December, 14th 2012.
- [2] De Corte, Erik. Innovative perspectives of learning and teaching in higher education in the twenty-first century (translated from English. E. Shadrina). The issue of education. 2014. №3. P 8-29.
- [3] Bushuev, L. G. Formation of information competence in physics lessons. The issue of education. № 88. 2011. P 11-22.
- [4] Sviridenko O. V. "Fundamentals of thermodynamics". Development of a physics lesson (class 10) using the ESM. The issue of education. P 88. 2011. P 11-22.
- [5] Kormil'tsev L. A. Lesson-project "Nuclear physics". The issue of education. № 97. 2011. P 23-34.
- [6] Blokhin S. N. Development of a physics lesson in the 8th grade "Refraction of light". The issue of education. № 98. 2011. With 41-59.
- [7] Petryakova L. L. efficiency. A summary of the lesson on physics, 7th grade education. № 114. 2013. P 31-45.
- [8] CD a disk of the company of Open Society "Physical icons". «The open physics 1.1». 2001.
- [9] Hertel G. Senichenkov Yu B, Novick L. V. "Sir Newton, what do you think about computer training" — Journal "Computer tools in education", Saint-Petersburg, Informatization of education, № 1, 2003 - P 60-66.
- [10] Kavtrev A.F. «Laboratory operations to a computer course» Open physics ». The uniform motion. Modelling of inelastic collisions». - the Newspaper of "Physicist", №20, 2001, P 5-8.
- [15] Kabylybekov K.A., Bajzhanova A. Application of multimedia possibilities of computer systems for expansion of demonstration resources of some physical phenomena. Works All-Russia scientifically-practical conference with the international participation. Tomsk 2011г., P.210-215.
- [16] Kabylybekov K.A., Saidahmetov P. A, Arysbaeva A.S. Model of the form of the organisation of self-maintained performance of computer laboratory operation. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, 2013, №6, P82-89.
- [17] Kabylybekov K.A., Saidahmetov P. A, Bajdullaeva L.E. Abduraimov. A procedure of use of computer models for photoeffect studying, Compton effect, models of forms of the organisation of performance of computer laboratory operations. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, 2013. №6, P114-121.
- [18] Kabylybekov K.A., Saidahmetov P. A. Turganova T.K, Nurullaev M. A, Bajdullaeva L.E. Model of carrying out of a lesson of modelling of agglomerating and diffusing lenses. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 2, 2014, P286-294.
- [19] Kabylybekov K.A., Ashirbaev H. A, Saidahmetov P. A, Rustemova T.Ж, Bajdullaeva L. E. Model of the form of the organisation of performance of computer laboratory operation on examination of a diffraction of light. News of NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 1(299), 2015, P71-77.
- [20] Kabylybekov K.A., Ashirbaev H. A, Takibaeva G.A, Saparbaeva E. M, Bajdullaeva L. E, Adineeva SH.I. Model of the form of the organisation of computer laboratory operation on examination of a motion of charged particles in a magnetic field. News of NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 1 (299), 2015, P80-87.
- [21] Kabylybekov K.A., Ashirbaev H. A, Saidahmetov, PA, Bajgulova Z.A., Bajdullaeva L.E. Model of the form of the organisations of computer laboratory operation on examination of Newton's fringes. News NAN RK, series physical-mat/, Almaty, №1 (299), 2015, P14-20.

[22] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Sabalahova A.P., Dzhumagalieva A.I. Model of the form of the organisation of computer laboratory operation on examination of the phenomenon of an interference of light. News of NAN RK, series physical-mat., № 3 (301), Almaty, 2015, P131-136

[23] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Sabalahova A.P., Dzhumagalieva A.I. Model of the form of the organisation computer laboratory operations on examination Doppler-effect. News NAN RK, series physical-mat., № 3 (301) Almaty, 2015, P155-160.

[24] Kabyzbekov K.A. Organisation of computer laboratory work on the physicist. Shymkent. 2015, 284 p.

[25] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Arysbaeva A.S., Dzhumagalieva A.I. Models of the form of the organisation of computer laboratory operations at examination of the physical phenomena. Modern high technologies. №4, Moscow, 2015. P40-43.

[26]. Kabyzbekov K. A., Saidahmetov P. A., H. A. Ashirbaev, Omarova G. Sh., Berdalieva J. Model Blanca organization of computer laboratory works on research of electromagnetic oscillations. News NAN RK, series physical-mat., №1(305), 2016, P111-116.

[27]. Kabyzbekov K. A., Saidahmetov P. A., Omarova G. Sh., Berdalieva J., Dzhumagalieva A. I. Model Blanca computer organization laboratory study of the interaction between two infinitely long parallel conductors with currents. News NAN RK, series physical-mat., №1(305), 2016, P 135-140.

[28] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P A, Omashova G.SH, Suttibaeva D.I., Kozybakova G. N. Model of the form of the organization of computer laboratory operation of isobaric process. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P92-97.

[29] Kabyzbekov K.A., Omashova G.SH., Saidahmetov P.A., Nurullaev M. A., Artygalin N.A. Models of the form of the organization of computer laboratory operation on examination of the Carnot cycle. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P98-103.

[30] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P A, Ashirbaev H A, Abdubaeva Ph.I, Doskanova A.E. Examination of operation gaz on computer model. The bulletin of NAN PK, №2 2016. P83-88.

[31] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P A, Omashova G.Sh., Serikbaeva G.S., Sujerkulova Zh. N. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P84-91.

[32]. Kabyzbekov K. A. Madjarov N. T., Saidahmetov P. A. An Independent design research assignments, computer laboratory work on thermodynamics. Proceedings of the IX International scientific-methodical conference. Teaching natural Sciences (biology, physics, chemistry) mathematics and computer science. Tomsk-2016, P 93-99.

[33]. Kabyzbekov K. A., Saidahmetov P. A., Omashova G.Sh Organization computer laboratory work on the study of reactance inductor in an ac circuit. The bulletin of NAN RK, №1, 2017. P 77-82.

[34]. Kabyzbekov K. A., Saidahmetov P. A., Omashova G.Sh., Ashirbaev H. A., Abekova J. A. Organization of computer laboratory works on the study of the isotherms of a real gas. News NAN RK, series physical-mat., №1, 2017, P 77-83.

[35]. Dyakonov V.P. MATLAB training course. - SPb.: Peter, 2001. – 533p.

[36]. Lurie M. S., Lurie, M. O. the Use of MATLAB in the study of course of electrical engineering. For students of all specialties and forms of education. -Krasnoyarsk: Sibgtu, 2006.-208 p.

ӘОЖ: 53, 532.133, 621.3.018.72.025.1

**К.А. Кабылбеков, Х.А. Аширбаев,
Х.К. Абдрахманова, А.И. Джумагалиева, Ж.Б. Кыдырбекова**

М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**МАТЛАВ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ПАКЕТІН ҚОЛДАНЫП «ТІКБҰРЫШ ЕКІ ДИЭЛЕКТРИК
ЖАЗЫҚТЫҚ ІШІНДЕ ОРНАЛАСҚАН ҰЗЫН, ЗАРЯДТАЛҒАН ӨТКІЗГІШТЕН ҚҰРАЛҒАН
ЖҮЙЕНІҢ ЭЛЕКТР ӨРІСІН МОДЕЛЬДЕУ» АТТЫ ЗЕРТХАНАЛАЫҚ
ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ**

Аннотация. MATLAB бағдарламалық пакетін қолданып «Тікбұрыш екі диэлектрик жазықтық ішінде орналасқан ұзын, зарядталған өткізгіштен құралған жүйенің электр өрісін модельдеу» атты зертханалаық жұмысты орындауды ұйымдастырудың үлгісі ұсынылған. Зарядталған ұзын өткізгіш диэлектрик жазықтықтарына параллель, берілген, қашықтықтарда орналасқан. Есептеуге қажет параметрлар берілген. Модельдеу және нәтижелерді визуалдау MATLAB бағдарламалық пакетімен іске асырылады. Теория бойынша талқылауға арналған сұрақтар келтірілген: зарядталған ұзын өткізгіштің электр өрісінің потенциалы мен кернеулігі, өрісті айналық бейне әдісімен есептеу, модельдеу мен нәтижелерді визуалдау әдестері мен графиктерді редакциялау. Есептеулерде ұсынылған программаны параметрлері өзгеше ұқсас жүйелерді модельдеуге қолдануға болады.

Түйін сөздер: модельдеу, электр өрісі, потенциал, кернеулік, диэлектриктен жасалған бұрыш, зарядталған өткізгіш.

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 259 – 265

UDC 532.133, 371.62, 372.8.002

**K.A. Kabylbekov, P.A. Saidahmetov, G.Sh. Omashova,
A.A. Tokzhigitova, Zh.R. Abdikerova**

South-Kazakhstan State University named after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan
kenkab@mail.ru, timpf_ukgu@mail.ru

**THE ORGANIZATION OF PERFORMANCE OF COMPUTER
LABORATORY OPERATION ON EXAMINATION OF DEPENDENCE
OF CONDENSANCE OF INDUCTANCE COILS FROM FREQUENCY
OF THE ALTERNATING CURRENT**

Abstract. In article the model of the form of the organization of performance of computer laboratory operation on examination of dependence of a condensance of an inductance coil from frequency of the alternating current, including short data from the theory, control questions for checkout of readiness of performance of operation, fact-finding assignments with computer model, problems with the subsequent observational checkout on computer model, research assignments, is offered. Problems with the subsequent computer checkout should be solved prestressly on a paper and the solution course surrenders together with the form. Research assignments include the analysis of effects of assignments and build-up of diagrammes of dependence of condensance of the inductance coil from frequency of alternating current. Effects of operation it is discussed together with pupils and it is estimated by the teacher. The assignments offered in the form are approved in Nazarbayev intellectual school of physical and mathematical direction, Shymkent, at regional school "Daryn" for exceptional children and at school-grammar school named after M.Auezov in Arys, at physics lessons of 10-11 classes. The majority of pupils have carried out with special interest the assignment.

Keywords: inductance, a current and voltage root-mean-square value, frequency.

**К.А. Қабылбеков, П.А. Саидахметов, Г.Ш. Омашова,
А.А. Тоқжигитова, Ж.Р. Абдикерова**

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**АЙНЫМАЛЫ ТОҚ ТІЗБЕГІНДЕГІ ИНДУКТИВТІ КАТУШКАНЫҢ
РЕАКТИВТІ КЕДЕРГІСІНІҢ ТОҚ ЖИЛІГІНЕ ТӘУЕЛДІГІН
ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН КОМПЬЮТЕРЛІК ЗЕРТХАНАЛЫҚ
ЖҰМЫСТЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ**

Аннотация. Мақалада айнымалы тоқ тізбегіндегі индуктивті катушканың реактивті кедергісінің айнымалы тоқ жиілігіне тәуелділігін зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастырудың бланкі үлгісі ұсынылған. Үлгіде теориядан қысқаша мәліметтер, оқырмандардың жұмысты орындауға дайындығын тексеруге арналған бақылау сұрақтыры, компьютерлік модельмен танысу тапсырмалары, нәтижелерін компьютерлік тәжірибе арқылы тексеруге арналған есептер, тәжірибелік және зерттеулік тасырмалар қамтылған. Нәтижелерін компьютерлік тәжірибе арқылы тексеруге арналған есептер алдымен қағазда шығарылуы тиіс және олар бланкімен бірге тапсырылады. Зерттеулік тапсырмаларында нәтижелер сарапталуы керек және индуктивтілік катушканың реактивті кедергісінің айнымалы тоқ жиілігіне тәуелділік графигін тұрғызу қарастырылған. Оқушылардың жұмыстарының нәтижелері оқытушының қатысумен талқыланып, бағаланады. Ұсынылған бланкі үлгісіндегі тапсырмалар Шымкент қаласындағы физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебінде, дарынды балаларға арналған облыстық «Дарын» мектебінде және Арыс қаласындағы М.Әуезов атындағы мектеп-гимназияда 10-11 сыныптарында физика сабақтарында қолданылды. Оқушылардың басым көпшілігі тапсырмаларды аса қызығушылықпен орындады.

Түйін сөздер: индуктивтілік, тоқ пен кернеудің эффективті мәндері, жиілік.

Қазақстан Республикасының Президенті-Елбасы Н.Ә. Назарбаев ««Қазақстан-2050 -стратегиясы» - қалыптасқан мемлекеттің жаңа саяси бағыты» атты Қазақстан халқына Жолдауында: Қазақстан 2050 жылы 30 дамыған мемлекетер қатарына енуі керек деп атап көрсетті. Дамып келе жатқан елдер арасында мұндай қатарда болуы үшін бәсекелестік қатаң болады. Ұлт глобалдық экономикалық бәсекелестікке дайын болғанда ғана мұндай қатарда бола алады. Біз, аса маңызды мақсаттарымызды естен шығармай, мақсатты және шабытты еңбек етуіміз керек: қазіргі заманға сай нәтижелі білім мен денсаулық сақтау жүйесін құру. Бәсекеге қабілетті дамыған мемлекет болу үшін біз сауаттылығы жоғары елге айналуымыз керек. Бізге оқыту әдістемелерін жаңғырту және өңірлік мектеп орталықтарын құра отырып, білім берудің онлайн-жүйелерін белсене дамыту керек болады. Біз қалайтындардың барлығы үшін қашықтан оқытуды және онлайн режімінде оқытуды қоса, отандық білім беру жүйесіне инновациялық әдістерді, шешімдерді және құралдарды қарқынды енгізуге тиіспіз [1].

Президент жолдауында келтірілген тапсырмаларды орындау үшін М.Әуезов атындағы мемлекеттік университетінің «Физиканы оқытудың теориясы мен әдістемесі» кафедрасы биылғы оқу жылында оқу үрдісіне «Білімдегі ақпараттық технологиялар», «Физиканы оқытудағы ақпараттық технологиялар» және «Электронды оқулықтарды оқу үрдісінде қолдану» курстарын енгізді. Курстың мақсаты: студент-болашақ физика мұғалімдерін оқу үрдісінде, өздерінің кәсіпшілік қызметінде және біліктілігін жоғарылатуында, оқу үрдісі мен сыныптан тыс жұмыстарды және компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыруда болашағы зор білім беру технологияларын творчесвольқ және тиімді пайдалануға дағдыландыру.

Компьютерлік модельдерге арналған тапсырмаларды құрастыру әдістемесі А. Ф. Кавтревтің табуға болатын «Методические аспекты преподавания физики с использованием компьютерного курса «Открытая физика» брошюрасында жазылған [2]. Мысал ретінде онда «Движение с постоянным ускорением» және «Упругие и неупругие соударения» модельдері арқылы орындалатын лабораториялық жұмыстардың бланкілері келтірілген. Осындай материалдар «Открытая физика 2.5» курсы жазылған компакт-дискіде, «Открытый колледж» сайтында және әдіскерлердің желілік бірлестігі (СОМ) [3,4] беттерінде келтірілген. Ескере кететін жәйт: компакт-дискі мен СОМ-дағы материалдарда лабораториялық бланкілердің екі түрі берілген:

- Оқушылардың жауаптарын жазып кіргізуге арналған бланкі;
- Кейін тексеру ыңғайлы болуы үшін, бланк текстеріне сұрақтар мен тапсырмалар жауабы жазылған, мұғалімге арналған бланкі.

Компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыруға арналған бланкі үлгілері туралы біз бұрын жазғанбыз [4-19].

Мақалада студенттерге, магистранттарға, мектеп мұғалімдеріне көмекші құрал ретінде-оқушылардың [20] ресурсын пайдаланып «Айнымалы тоқ тізбегіндегі индуктивті катушканың айнымалы тоқ жиілігіне тәуелділігін зерттеуге» арналған компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастырудың бланкі үлгісін ұсынамыз:

Сынып..... Оқушының тегі..... Есімі.....

Жұмыстың мақсаты: конденсатор және индуктивтілік пен резистордың айнымалы тоқ жиілігіне және олардың параметрлеріне тәуелділігін зерттеу.

1. Теориядан қысқаша мәлімет

Айнымалы тоқ тізбегінде конденсатор мен индуктивтілік катушка ерекше реактивті кедергіге ие болады да, ол кедергі элементтердің номиналдарынан және айнымалы токтың жиілігіне тәуелді болады.

1.1. Айнымалы тоқ тізбегіндегі индуктивтілік катушка.

Айнымалы тоқ тізбегінде резистр мен индуктивтік катушка болған жағдайды қарастырайық. Индуктивтік катушка арқылы ағып жатқан ток күшінің тербелісі төмендегідей өрнектеледі де,

$$I = I_m \cos(\omega \cdot t)$$

ол өздік индукция құбылысына және Ленц ережесіне сәйкес катушка орамының ұштарында кернеу тудырады:

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = -L\omega I_m \sin(\omega \cdot t) = \omega L I_m \cos(\omega \cdot t + \pi/2)$$

мұндағы кернеудің тербелу фазасы ток күшінің тербеліс фазасынан $\pi/2$ - ге озық болады.

Кернеу тербелісінің амплитудасы U_L циклді жиілік ω пен индуктивтілі және ток күшінің амплитасының көбейтіндісімен $L I_m$ анықталады.

$$U_L = \omega L \cdot I_m$$

Индуктивтілік пен циклдік жиілік көбейтіндісін $L \omega$ катушканың *индуктивтік кедергісі* атайды

$$X_L = \omega L \cdot \tag{1}$$

Сондықтан кернеу мен тоқ күшінің амплитудаларының арасындағы бланыс тұрақты тоқ тізбегіне арналған Ом заңына сәйкес келеді.

$$U_L = X_L \cdot I_m \quad (2)$$

(1) өрнекке сәйкес индуктивтілік кедергі тұрақты шама емес, ол катушка арқылы аққан айнымалы тоқтың жиілігіне пропорционал. Айнымалы тоқ күшінің амплитудасының шамасы, кернеу амплитудасы тұрақты болған жағдайда жиілік артқан сайын кемиді, яғни ол жиілікке кері пропорционал.

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}$$

1.2. Айнымалы тоқ тізбегіндегі конденсатор.

Конденсатор қабаттарындағы кернеу гармоникалық заңдылықпен өзгерсе,

$$U_C = U_m \cos(\omega \cdot t)$$

онда оның қабатындағы зарядтың q шамасы да гармоникалық заңдылықпен өзгереді

$$q = CU_C = CU_m \cos(\omega \cdot t)$$

Тізбектегі тоқтың шамасы зарядқа байланысты төмендегі заңдылыққа сәйкес өзгереді.

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega CU_m \sin(\omega \cdot t) = \omega CU_m \cos(\omega \cdot t + \pi/2)$$

Осыдан кернеу шамасының тербелісінің фазасы тоқ күшінің тербеліс фазасынан $\pi/2$ - ге қалыс болатынын байқаймыз.

CU_m – көбейтіндісі тоқ күшінің тербелісінің амплитудасын береді.

$$I_m = \omega CU_m$$

Индуктивтік кедергі секілді *сыымдылық кедергісі* деген ұғым енгізейік:

$$X_C = 1/\omega C \quad (3)$$

Конденсатор үшін Ом заңына ұқсас қатынас аламыз

$$U_C = X_C I_m \quad (4)$$

(2) және (4) өрнектері тоқ пен кернеудің эффективті шамалары үшін де дұрыс.

1.3. Бақылау сұрақтары.

1.3.1. Неге айнымалы тоқ тізбегінде сыйымдылық кедергі жиілік артуымен азаяды, ал индуктивтілік кедергі - ұлғаяды? Жауабы:.....

1.3.2. Катушка мен конденсатор үшін тоқ пен кернеудің фазалар айырмасы қандай болады? Жауабы:.....

1.3.3. Сыйымдылық кедергі мен индуктивті кедергінің бірліктері қандай? Жауабы:.....

1.3.4. Реактивті элементтер – конденсатор мен индуктивтілік үшін тоқ күші мен кернеудің эффективті шамаларының Ом заңының аналогы қалай жазылады? Жауабы:.....

2. Компьютерлік модельмен танысу тапсырмалары

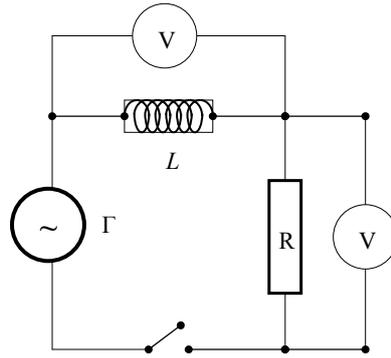
2.1. Монтаждау столында генераторды орнатып, оған осциллографты жалғап кернеу графигін бақылаңдар. Бақылау нәтижесі:.....

2.2. Монтаждау столында генераторды орнатып, оның беретін кернеуінің эффективті шамасы мен жиілігін қандай интервалда өзгертуге болатынын анықтаңдар. Жауабы:.....

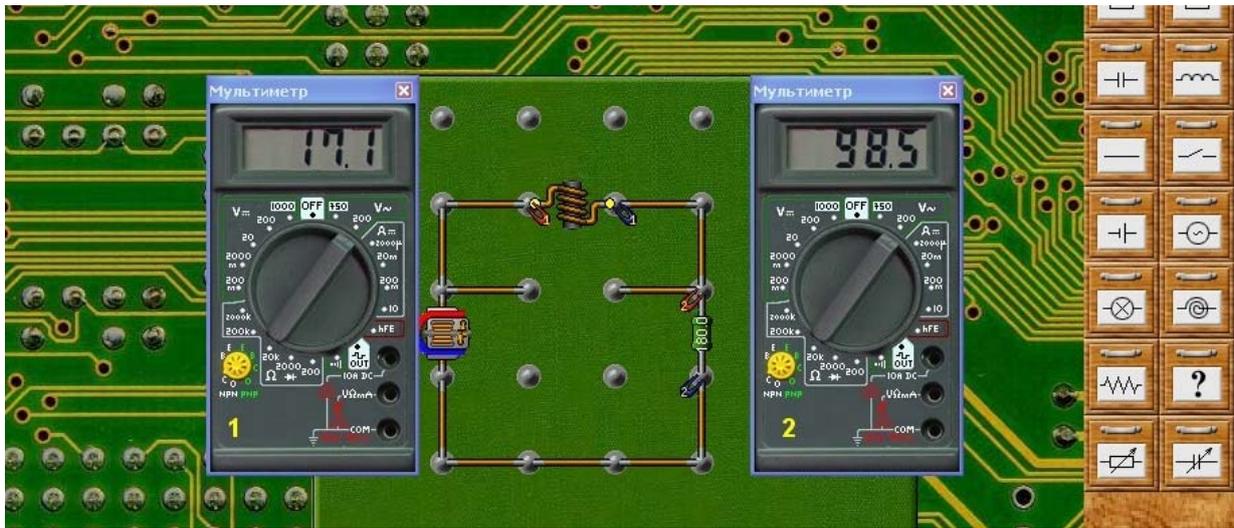
2.3. Монтаждау столында индуктивті катушканы орнатып оның индуктивтілігін қандай интервалда өзгертуге болатынын анықтаңдар. Жауабы:.....

3. Компьютерлік тәжірибелерді орындауға дайындық

3.1. 1 суретте келтірілген тізбекті компьютерлік моделдегі монтаждау столында (2 сурет) жинаңыз.



1-сурет



2-сурет

3.2. Элементтердің параметрлерін төмендегідей етіп орнатыңыз

Генератор – кернеу (эффeктивті шамасы) 100В, жиілігі 100 Гц;

Катушка – индуктивтілігі 50 мГн;

Резистор – жұмысшы қуаттылығы 500 Вт, кедергісі 100 ом;

3.3. Тізбектегі кілтті қосыңыз.

4. Жауабын компьютерлік тәжірибе арқылы тексеруге арналған есептер (есепті алдымен қағазда шығарып соңынан компьютердегі нәтижемен салыстыру керек. Есепті шығару барысы бланкімен қоса тапсырылады).

4.1. Катушканың индуктивтілігін 100 мГн болғанда ондағы кернеуді және Катушканың реактивті кедергісін есептеңдер. Компьютерлік тәжірибе нәтижелерімен салыстырыңдар.

Жауабы:.....

4.2. Катушканың индуктивтілігін 200 мГн болғанда ондағы кернеуді және Катушканың реактивті кедергісін есептеңдер. Компьютерлік тәжірибе нәтижелерімен салыстырыңдар.

Жауабы:.....

4.3. Катушканың индуктивтілігін 300 мГн болғанда ондағы кернеуді және Катушканың реактивті кедергісін есептеңдер. Компьютерлік тәжірибе нәтижелерімен салыстырыңдар.

Жауабы:.....

4.4. Катушканың индуктивтілігін 400 мГн болғанда ондағы кернеуді және Катушканың реактивті кедергісін есептеңдер. Компьютерлік тәжірибе нәтижелерімен салыстырыңдар.

Жауабы:.....

4.5. Катушканың индуктивтілігін 500 мГн болғанда ондағы кернеуді және Катушканың реактивті кедергісін есептеңдер. Компьютерлік тәжірибе нәтижелерімен салыстырыңдар.

Жауабы:.....

5. Зерттеулік тапсырмалар

5.1. Катушканың индуктивтілігін 50 мГн – ден 500 мГн – ге (әрбір 50 мГн сайын), катушка мен резисторлардағы кернеудің шамаларын 1-таблицаға енгізіндер. Тізбектегі тоқ күшінің эффективті шамаларын катушканың индуктивтіліне байланысты есептеңіздер (ол үшін резистордағы кернеудің шамасын оның кедергісіне бөлу керек). Қорытынды жасаңдар.

1-таблица

L, мГн	U_L	$I=U_R/R$	X_L
***	***	***	***

Қорытынды:.....

5.2. 1-таблицадағы нәтижелер бойынша катушканың индуктивтілік кедергісін олардың индуктивтілігіне байланысты есептеңіздер және ол шамаларды (1)-ші формула арқылы есептегенмен салыстырыңыздар. Қорытынды жасаңдар:.....

5.3. Катушканың индуктивтілігін 100 мГн етіп орнатыңыз. Генератордың жиілігін 20 Гц – тен 100 Гц – ке дейін (әрбір 10 Гц - тен) өзгертіп, индуктивтілік кедергісін (айнымалы тоқ жиілігіне байланысты) өлшеп, есептеңіздер. Нәтижелерін 2-таблицаға енгізіндер.

2-таблица

L, мГн	U_L	$I=U_R/R$	X_L
***	***	***	***

Қорытынды жасаңдар:.....

5.4. Индуктивтілік кедергілердің айнымалы тоқ жиілігіне тәуелділік графигін тұрғызыңыздар. Қорытынды жасаңдар:.....

Орындалған тапсырмалар саны	Қателер саны	Оқытушының бағалауы

Ұсынылып отырған бланкі үлгісі Шымкент қаласындағы физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебінде, дарынды балаларға арналған облыстық «Дарын» мектебінде және Арыс қаласындағы М.Әуезов атындағы мектеп-гимназияда 10-11 сыныптарында физика сабақтарында қолданылды. Оқушылардың басым көпшілігі тапсырмаларды аса қызығушылықпен орындады.

ӘДЕБИЕТ

[1] Назарбаев Н.А. «Стратегия «Казахстан-2050»-новый политический курс состоявшегося государства». Послание народу Казахстана. Астана. www.bnews.kz. 14 декабря 2012г.

[2] Кавтрев А.Ф. http://www.college.ru/metod_phys.html

[3] http://center.fio.ru/method/RESOURCES/KAVTREV/11/FIZ/OP_metod.htm

[4]. Кавтрев А.Ф. «Лабораторные работы к компьютерному курсу «Открытая физика». Равномерное движение. Моделирование неупругих соударений». — Газета «Физика», №20, 2001 — С. 5–8.

[5] Кабылбеков К.А., Байжанова А. Использование мультимедийных возможностей компьютерных систем для расширения демонстрационных ресурсов некоторых физических явлений. Труды Всероссийской научно-практ. конф.с междунар. участием. Томск 2011г., С 210-215.

[6] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Арысбаева А.С. Оқушылардың өз бетінше атқаратын компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі. Известия НАН РК, серия физ.мат., Алматы, 2013, №6, С 82-89.

[7] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е. Абдураимов Р.Т. Фотоэффект, комптонэффекті заңдылықтарын оқытуда компьютерлік үлгілерді қолданудың әдістемесі, компьютерлік зертханалық жұмыс атқаруға арналған бланкі үлгілері. Известия НАН РК, серия физ.мат., Алматы, 2013. №6, С 114-121.

[8] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Турганова Т.К., Нуруллаев М.А., Байдуллаева Л.Е. Жинағыш және шашыратқыш линзаларды үлгілеу тақырыбына сабақ өткізу үлгісі Известия НАН РК, серия физ-мат.№2, Алматы, 2014, С 286—294.

[9] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Рүстемова Қ.Ж., Байдуллаева Л.Е. Жарықтың дифракциясын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі Изв. НАН РК, серия физ-мат, №1(299), Алматы, 2015, С 71-77.

[10] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Такибаева Г.А., Сапарбаева Э.М., Байдуллаева Л.Е., Адинева Ш.И. Зарядталған бөлшектердің магнит өрісінде қозғалысын және масс-спектрометр жұмысын зерттеуді ұйымдастыруға

арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. Изв. НАН РК, серия физ.-мат, №1(299), Алматы, 2015, С 80-87.

[11] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Байгулова З.А., Байдуллаева Л.Е. Ньютон сақиналарын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. Изв. НАН РК, серия физ.-мат, № 1(299), Алматы, 2015, С14-20.

[12] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумагалиева А.И. Жарықтың интерференция құбылысын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. Изв. НАН РК, серия физ.мат., № 3 (301), Алматы, 2015, С 131-136

[13] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумагалиева А.И. Допплер эффектісін зерттеуге арналған компьютерлік жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі. Изв. НАН РК, серия физ.-мат., № 3 (301) Алматы, 2015, С 155-160.

[14] Кабылбеков К.А. Физикадан компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыру. Оқу құралы. Шымкент қ., 2015, 284 с.

[15] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Арысбаева А.С., Джумагалиева А.М. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы при исследовании физических явлений. Современные наукоемкие технологии, №4, Москва, 2015, С 40-43:

[16] Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию работы селектора скорости. Современные наукоемкие технологии, №6, Москва, 2015, С19-21.

[17] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Сүйерқұлова Ж.Н. Еркін механикалық тербелістерді зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастырудың бланкі үлгісі. Изв. НАН серия физ. мат №2 2016, С84-91.

[18] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Нуруллаев М.А., Артыгалин Н. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию двигателя совершающего цикл Карно. Изв. НАН серия физ мат №2 2016г. С98-103.

[19] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Аширбаев Х.А., Абдубаева Ф.И., Досканова А.Е. Исследование работы газа на компьютерной модели. Вестник НАН №2 2016, С83-88.

[20] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Суттибаева Д.И., Қозыбақова Г.Н. Изобаралық процесті зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі. Изв НАН серия физ. мат №2 2016, С92-97.

[21] CD диск компании ОАО «Физикон». «Открытая физика 1.1».2001.

REFERENCES

[1] Nazarbayev H.A. "Strategy" Kazakhstan-2050 »- a new political policy of the taken place state». The message to the people of Kazakhstan. Astana. www.bnews.kz. On December, 14th 2012г.

[2] Kavtrev A.F./www.college.ru/metod_phys.html

[3] http://center.fio.ru/method/RESOURCES/KAVTREV/11/FIZ/OP_metod.htm

[4] Kavtrev A.F. «Laboratory operations to a computer course «Open physics». The uniform motion. Modelling of inelastic collisions». - the Newspaper of "Physicist", №20, 2001 - P 5-8.

[5] Kabyzbekov K.A., Bajzhanova A. Application of multimedia possibilities of computer systems for expansion of demonstration resources of some physical phenomena. Works All-Russia scientifically-practical conference with the international participation. Tomsk 2011г., P.210-215.

[6] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Arysbaeva A.S. Model of the form of the organisation of self-maintained performance of computer laboratory operation. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, 2013, №6, P82-89.

[7] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Bajdullaeva L.E., Abduraimov T.R. A procedure of use of computer models for photoeffect studying, Compton effect, models of forms of the organisation of performance of computer laboratory operations. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, 2013. №6, P114-121.

[8] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Turganova T.K., Nurullaev M.A., Bajdullaeva L.E. Model of carrying out of a lesson of modelling of agglomerating and diffusing lenses. News NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 2, 2014, P286-294.

[9] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Saidahmetov P.A., Rustemova T.Ж., Bajdullaeva L.E. Model of the form of the organisation of performance of computer laboratory operation on examination of a diffraction of light. News of NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 1(299), 2015, P71-77.

[10] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Takibaeva G.A, Saparbaeva E.M, Bajdullaeva L.E., Adineeva S.H.I. Model of the form of the organisation of computer laboratory operation on examination of a motion of charged particles in a magnetic field. News of NAN RK, series physical-mat., Almaty, № 1 (299), 2015, P80-87.

[11] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Saidahmetov P.A., Bajgulova Z.A., Bajdullaeva L.E. Model of the form of the organisations of computer laboratory operation on examination of Newton's fringes. News NAN RK, series physical-mat/, Almaty, № 1 (299), 2015, P14-20.

[12] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Sabalahova A.P., Dzhumagalieva A.I. Model of the form of the organisation of computer laboratory operation on examination of the phenomenon of an interference of light. News of NAN RK, series physical-mat., № 3 (301), Almaty, 2015, P131-136

[13] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Sabalahova A.P., Dzhumagalieva A.I. Model of the form of the organisation computer laboratory operations on examination Doppler-effect. News NAN RK, series physical-mat., № 3 (301) Almaty, 2015, P155-160.

[14] Kabyzbekov K.A. Organisation of computer laboratory work on the physicist. Shymkent. 2015, 284 p.

[15] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Arysbaeva A.S., Dzhumagalieva A.I. Models of the form of the organisation of computer laboratory operations at examination of the physical phenomena. Modern high technologies. №4, Moscow, 2015. P40-43.

[16] Kabyzbekov K.A. Models of the form of the organisation of computer laboratory work on research of the selector of speeds. Modern high technologies. №6, Moscow, 2015, P19-21.

[17] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Omashova G.Sh., Serikbaeva G.S., Sujerkulova Zh.N. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P84-91.

[18] Kabyzbekov K.A., Omashova G.Sh., Saidahmetov P.A., Nurullaev M.A., Artygalin N.A. Models of the form of the organisation of computer laboratory operation on examination of the Carnot cycle. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P98-103.

[19] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Ashirbaev H.A., Abdubaeva Ph.I., Doskanova A.E.

Examination of operation gaz on computer model. The bulletin of NAN RK №2 2016г. P83-88.

[20] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P.A., Omashova G.Sh., Suttibaeva D.I., Kozybakova G.N.

Model of the form of the organization of computer laboratory operation of isobaric process. News NAN RK, series physical-mat., № 2, 2016, P92-97.

[21] CD a disk of the company of Open Society "Physical icons". «The open physics 1.1".2001.

УДК 532.133, 371.62, 372.8.002

**К.А. Кабылбеков, П.А. Саидахметов, Г.Ш. Омашова,
А.А. Токжигитова, Ж.Р. Абдикерова**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Қазақстан

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАВИСИМОСТИ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАТУШКИ
ИНДУКТИВНОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Аннотация. В статье предлагается модель бланка организации выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию зависимости реактивного сопротивления катушки индуктивности от частоты переменного тока, включающая краткие сведения из теории, контрольные вопросы для проверки готовности выполнения работы, ознакомительные задания с компьютерной моделью, задачи с последующей экспериментальной проверкой на компьютерной модели, исследовательские задания. Задачи с последующей компьютерной проверкой должны предварительно решаться на бумаге, ход решения сдается вместе с бланком. Исследовательские задания включают анализ результатов заданий и построение графиков зависимости реактивного сопротивления катушки индуктивности от частоты переменного тока.

Результаты работы обсуждаются вместе с учащимися и оцениваются преподавателем.

Предложенные на бланке задания апробированы в Назарбаев интеллектуальной школе физико-математического направления г.Шымкент, в областной школе «Дарын» для одаренных детей и в школе-гимназии им.М.Ауэзова г.Арысь на уроках физики в 10-11 классах. Большинство учащихся выполнили задания с особой заинтересованностью.

Ключевые слова: индуктивность, эффективная величина тока и напряжения, частота.

UDC 538.953

S.K. Nysanbaeva¹, G.K. Turlybekova¹, Kh.R. Maylina¹, N.K. Manabaev¹,
T.K. Omarov², F.T. Myrzacheva

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty

²Kazakh National Academy of arts named after T. Zhurgenov, Almaty

RESEARCH OF THE ULTRASONIC ABSORPTION COEFFICIENT IN CONDENSED STATES ON ACOUSTIC INTERFEROMETER

Abstract. All acoustic interferometers, known from numerous publications, allowed to measure the sound absorption coefficient in the sound frequency range. However, the development of further researches, for example, for thin-film nanocomposite materials, required measurements in the ultrasonic frequency range. In the given work it was considered a measuring method of sound absorption coefficient, which allows to research the sound absorption coefficient in ultrasonic frequency range. The acoustic interferometer made for these studies corresponds with the International Standard ISO 10534-2: 1998. (American Society for Testing of Materials in the Association ASTM E1050-12). The results of measurement the ultrasonic absorption coefficient in condensed states in comparison with calculated data showed good agreement. This interferometer allows to measure sound and ultrasonic absorption in thin-film nanocomposite materials.

Key words: acoustic interferometer, sound absorption coefficient, acoustic impedance, thin-film nanocomposite material.

УДК 538.953

С.К. Нысанбаева¹, Г.К. Турлыбекова¹, Х.Р. Майлина¹,
Н.К. Манабаев¹, Т.К. Омаров, Ф.Т. Мырзашева²

¹НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы;

²КазНАИ им. Т. Жургенова

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ НА АКУСТИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

Аннотация. Все акустические интерферометры, известные по многочисленным публикациям, позволяли измерять коэффициент звукопоглощения в звуковом диапазоне частот. Однако развитие дальнейших исследований, например, для тонкопленочных нанокompозитных материалов, потребовало измерений в ультразвуковом диапазоне частот. В данной работе рассматриваются методика измерения коэффициента звукопоглощения, позволяющая исследовать КЗП (коэффициент звукопоглощения) в ультразвуковом диапазоне частот. Акустический интерферометр, выполненный для данных исследований, соответствует Международному стандарту ISO 10534-2: 1998г. (Американское общество по испытанию материалов в Ассоциации ASTM E1050-12). Результаты измерения коэффициента ультразвукового поглощения в конденсированных средах, сравниваемые с расчетными данными, показали достаточное их согласие. Данный интерферометр позволяет проводить измерения звукового и ультразвукового поглощения в тонкопленочных нанокompозитных материалах.

Ключевые слова: акустический интерферометр, коэффициент звукопоглощения, акустический импеданс, тонкопленочный нанокompозитный материал.

Общие понятия и описание акустического интерферометра

При попадании звуковой волны на звукопоглотитель часть ее энергии поглощается, а часть отражается.

В этом случае коэффициент звукопоглощения имеет вид,

$$\alpha = \frac{E_{\text{над.}}}{E_{\text{нагл.}}},$$

где $E_{\text{нагл.}}$ — доля энергии, поглощенной данным материалом, $E_{\text{над.}}$ — энергия падающей звуковой волны, α — коэффициент звукопоглощения. Результаты оценки коэффициента звукопоглощения изложены в работах [1-5].

Поведение звуковой волны может быть характеризовано акустическим импедансом образца Z_n . Акустический импеданс образца определяется как отношение звукового давления, действующего на поверхность образца к соответствующей скорости частицы, перпендикулярной к поверхности. Так как звуковое давление и скорость частицы не всегда перпендикулярны к поверхности образца, то нормальный акустический импеданс может быть комплексным и может быть записан как сумма действительных и мнимых частей, то есть: $Z_n =$ (компонент имеющий сопротивление) + j (реактивный компонент). Поэтому для трубы постоянной волны мы имеем:

$$Z_n = \frac{p_i + p_r}{V_i + V_r}, \quad (1)$$

где p_i и p_r — звуковое давление падающей и отраженной волн, V_i и V_r — их соответствующие скорости частиц. Теперь p и V связаны с характерным импедансом воздуха, ρc в пределах трубы. Эту величину иногда называют удельным акустическим импедансом воздуха. Для температуры воздуха 20°C и стандартного атмосферного давления 101,3 кПа, плотности воздуха $\rho = 1,21 \text{ кг/м}^3$ и скорости звука - 343 м/с, стандартный акустический импеданс воздуха равен $415 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$. Поэтому,

$$p_i = \rho \cdot c \cdot V_i \quad (2)$$

$$p_r = \rho \cdot c \cdot (-V_i) \quad (3)$$

Следовательно,

$$Z_n = \left(\frac{p_i + p_r}{p_i - p_r} \right) \cdot \rho \cdot c \quad (4)$$

$$Z_n = \left(\frac{1 + \frac{p_r}{p_i}}{1 - \frac{p_r}{p_i}} \right) \cdot \rho \cdot c \quad (5)$$

Теперь p_i и p_r связаны следующим выражением:

$$p_r = p_i \cdot R \cdot \exp(j\Delta) \quad (6)$$

где R — модуль коэффициента отражения, Δ — фаза коэффициента отражения. Поэтому,

$$Z_n = \left(\frac{1 + R \cdot \exp(j\Delta)}{1 - R \cdot \exp(j\Delta)} \right) \cdot \rho \cdot c \quad (7)$$

Это уравнение может быть написано, как

$$Z_n = (\text{Re}(Z_n) + j \text{Im}(Z_n)) \cdot \rho \cdot c \quad (8)$$

Откуда можно показать, что,

$$\text{Re}(Z_n) = \frac{1 - R^2}{1 + R^2 - 2R \cos \Delta} \quad (9)$$

$$\operatorname{Re}(Z_n) = \frac{2R \sin \Delta}{1 + R^2 - 2R \cos \Delta} \quad (10)$$

Акустический импеданс может быть определен, если известен коэффициент отражения R и угол фазы Δ . Коэффициент отражения может быть определен:

$$R = \frac{n-1}{n+1}$$

Чтобы определить угол фазы, необходимо рассмотреть величины p_r и p_i как векторы, вращающиеся в направлениях, обозначенных на рисунке 1 угол фазы между векторами, Δ .

Запишем p_r и p_i соответственно, как:

$$p_r = A \exp(j2\pi ft) \quad (11)$$

$$p_r = B \exp \left[j \left(2\pi ft - 2\pi f \frac{2y}{c} \Delta \right) \right] \quad (12)$$

где, $c = f\lambda$.

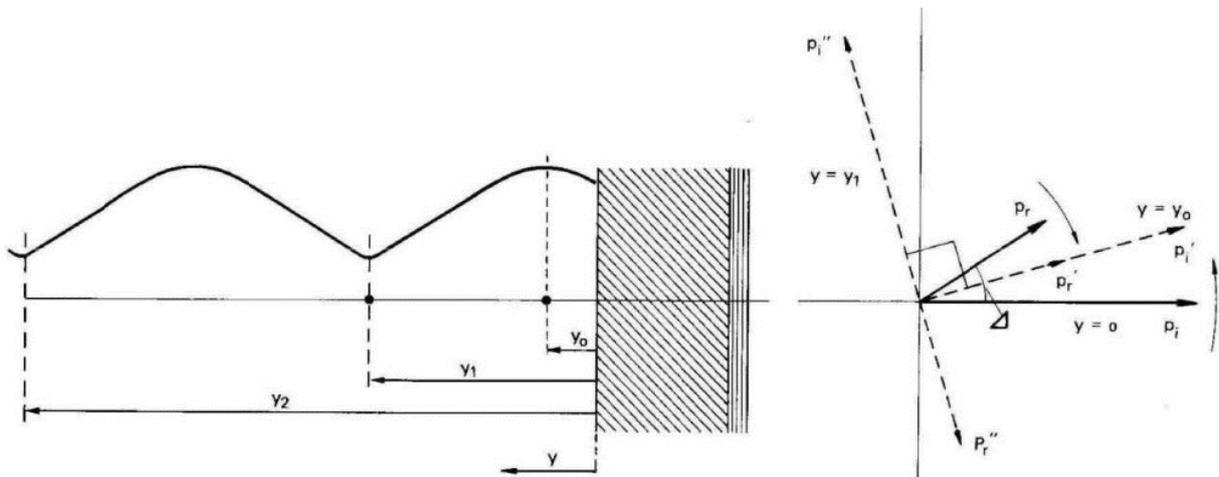


Рисунок 1 - Векторная диаграмма, показывающая отношения фазы между прямым p_i и отраженным p_r давлениями волны

Тогда, поделив уравнение (12) на уравнение (11), получим:

$$p_r = \frac{B}{A} p_i \exp \left[-j \left(4\pi \frac{y}{c} - \Delta \right) \right] \quad (13)$$

p_r это минимум для

$$\frac{4\pi y_i}{\lambda} - \Delta = \pi \quad (14)$$

$$\Delta = \left(\frac{4y_i}{\lambda} - 1 \right) \pi \quad (15)$$

На расстоянии Y_0 , перед образцом угол фазы между прямой и отраженной волной равен нулю. Как показано на рисунке 1, Y_0 – положительная величина для положительного и отрицательного Δ . В этой точке давление максимальное. Отрицательное значение Y_0 означает, что максимум давления расположен в пределах образца, между поверхностью образца и твердого металлического конца трубы. Максимальное звуковое давления происходит на расстоянии Y_1 , где эти два вектора на рисунке 1 составляют 180° или π радиан в фазе.

Длину волны λ можно измерить с помощью осциллятора. В случаях, где второй минимум может быть измерен на расстоянии Y_2 , расстояние $Y_2 - Y_1$ приводит к половине длины волны так, чтобы уравнение (15) стало:

$$\Delta = \left(\frac{2y_i}{y_2 - y_1} - 1 \right) \pi \quad (16)$$

Зная Δ и коэффициент поглощения α , реактивные части, имеющие сопротивление нормального акустического импеданса, могут быть найдены из рисунка 1, или вычисляя реальные и мнимые части в уравнениях (11) и (12).

Акустический интерферометр соответствовал Международному стандарту ISO 10534-2: 1998г. (Американское общество по испытанию материалов в Ассоциации ASTM E1050-12) [6,7] рис. 2.



Рисунок 2 – Акустический интерферометр

Акустический интерферометр состоит из:

- 2 микрофона PCB 377B02;
- Динамик JBL 2426J;
- Импедансная труба.

Акустический материал нужно вырезать так, чтобы твердая пластина соответствовала внешнему диаметру держателя, и мягкая поддержка соответствовала внутреннему диаметру держателя как показано на рисунке 3.

Устанавливая материал таким образом, фронтальная пластина твердо закрепляется. Зажим закрепления, должен быть сильно повернут, чтобы предотвратить появление колебаний.

В таблице 1 представлено сравнение экспериментальных и расчетных данных по определению коэффициента звукопоглощения.

Для проверки акустического интерферометра было проведено сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными (рис 4) [10,11].

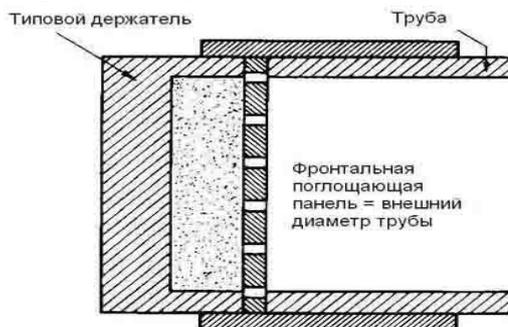


Рисунок 3 - Установка поглощающего материала в трубе

Таблица 1 - Сравнительная таблица коэффициента звукопоглощения железа

Частота (Гц)	Коэффициент звукопоглощения на интерферометре	Коэффициент звукопоглощения теоретические расчеты	погрешность
350	0.242	0.223	0.019
500	0.1911	0.181	0.0101
620	0.173	0.165	0.008
800	0.162	0.153	0.009
1000	0.107	0.115	-0.008
1400	0.0749	0.084	-0.0091
1800	0.091	0.085	0.006
2000	0.075	0.069	0.006
2300	0.075	0.072	0.003

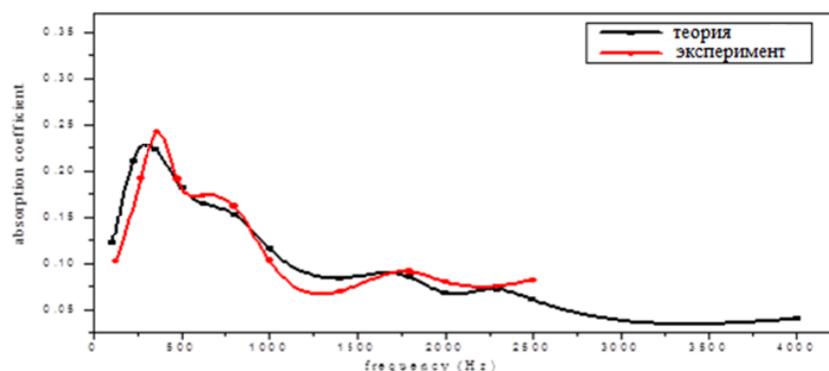


Рисунок 4 - Экспериментальные и расчетные данные по коэффициенту звукопоглощения

Метод определения акустических характеристик в акустическом интерферометре

Труба предназначена для измерений коэффициентов поглощения звука и удельного акустического импеданса образцов звукопоглощающих материалов с круглым сечением. Прибор работает в частотном диапазоне от 800 до 4000 Гц.

Прибор используется вместе с генератором синусоидального сигнала и частотным анализатором или измерительным усилителем и фильтром.

Измерения проводятся методом стоячей волны, в котором громкоговоритель устанавливает звуковое поле в трубе, с образцом на конце,

который будет исследован. Из-за отражения от образца в трубе образуются интерференционная картина. Измеряя отношение между максимальным и минимальным звуковым давлением, может быть рассчитан коэффициент поглощения образца. Измеряя расстояние между поверхностью образца и минимумом и максимумом давления, легко рассчитывается акустический импеданс образца. Поскольку метод измерения требует плоских звуковых волн в трубе диаметр образца не должен быть больше, чем половина длины звуковой волны.

Измерение коэффициента звукопоглощения

Труба, с идеальным отражателем, на концах которого расположен звукопоглощающий материал, представлен на рисунке 5.

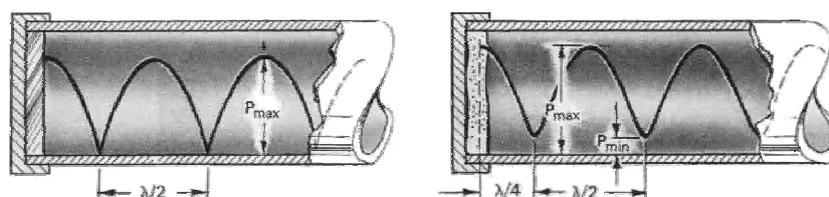


Рисунок 5 - Труба постоянной волны

Всю работу можно разделить на два этапа:

- -генерирование широкополосного шума и получения сигнала с двух микрофонов;
- математические вычисления;

На первом этапе выбирается необходимый частотный диапазон от 800 Гц до 4000 Гц. Этот выбор позволяет пользователю изменить частоту дискретизации в зависимости от его требований. В следствие широкополосный спектр шума создается для возбуждения во всем спектре частот.

Первый раздел включает в себя также получение сигнала с двух микрофонов, важно правильно откалибровать микрофоны.

Второй раздел посвящен математической обработке в MATLAB. Теоретические основы в данном приложении могут быть легко обобщены: стационарные плоские волны, создаваемые внутри трубы, измеряются внутри импедансной трубы, измеряются микрофонами в двух точках, расположенными между собой на расстояние S и на расстояние L от тестируемого материала (рисунок 6)

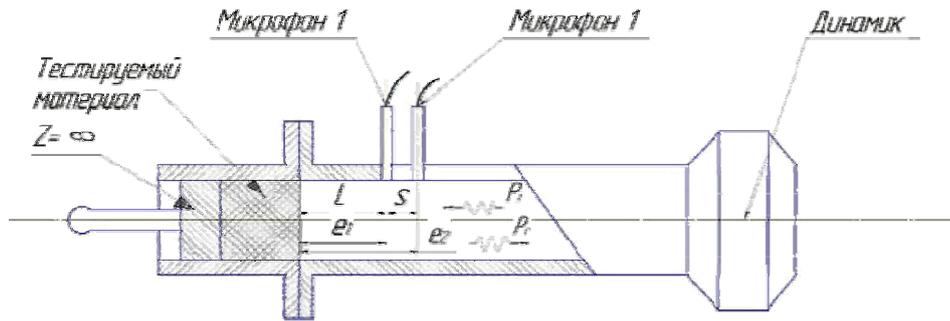


Рисунок 6 – Импедансная труба

Переменное избыточное давление, возникающее в упругой среде при прохождении через неё звуковой волны:

$$p_1(f) = A(f) \cdot e^{ike_1} + B(f) \cdot e^{-ike_1} \tag{17}$$

$$p_2(f) = A(f) \cdot e^{ike_2} + B(f) \cdot e^{-ike_2} \tag{17a}$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0} \tag{18}$$

где A и B зависят от частоты прямой и обратной волны, k волновое число, и $j = \sqrt{-1}$. $p_1(f), p_2(f)$ сигнал улавливаемый из двух микрофонов. Коэффициент отражения можно вычислить из измеренной передаточной функции между двумя микрофонами. То есть, разделив давления, полученные от двух микрофонов, вычисляем функцию, $H_{12}(f)$ [8,9].

$$H_{12}(f) = \frac{e^{ike_2} + R(f)e^{-ike_2}}{e^{ike_1} + R(f)e^{-ike_1}} \tag{19}$$

В дальнейшем из передаточной функции легко получить коэффициент отражения $H_{12}(f)$.

$$R(f) = \frac{H_{12} - e^{-iks}}{e^{iks} - H_{12}} e^{i2k(L+S)} \tag{20}$$

Из коэффициента отражения мы можем получить коэффициент звукопоглощения:

$$\alpha(f) = 1 - |R(f)|^2 \tag{21}$$

В вышеупомянутых выражениях ρ_0 плотность воздуха, c_0 скорость звука в воздухе. Следует отметить, что коэффициент поглощения, который мы нашли выше, является вещественной частью. Следующая схема показывает последовательность, сопровождаемую, чтобы вычислить акустические свойства материалов (рисунок 7)



Рисунок 7 – Последовательность расчетов

Выводы: Выполненный в данной работе акустический интерферометр, позволяет выполнять измерения ультразвуковых характеристик в конденсированных средах, в том числе и в тонкопленочных нанокompозитных материалах. Полученные результаты измерений показали хорошее согласие с теоретическими расчетами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Омаров С.С. Инженерная акустика. Учебник. //КазГАСА./ МОН. –2002.
- [2] Тукибаева М.А., Нысанбаева С.К., Коноваленко Е. Расчет скорости звука в бетонах. //Труды I Международной научной конференции «Инновационные технологии и передовые решения» I том. – Бишкек, 2013, май 16-17. – С. 306-309.
- [3] Омаров С.С., Бегимов Т.Б., Тукибаева Р.М., Рахматуллаев Р.М. Оценка коэффициента звукопоглощения при взаимодействии ультразвуковых колебаний с твердыми кристаллическими веществами. // «Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева». – 2013.– № 1 (95). – С. 172-175.
- [4] Омаров С.С., Тукибаева М.А., Нысанбаева С.К., Аманжолова А.А. Оценка амплитудного пространственного коэффициента звукопоглощения в кристаллических структурах. // Труды международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения». – Алматы, 2013. – С.538-541.
- [5] Боголепов И.И. Архитектурная акустика. Учебник-справочник. – Судостроение, СПб, 2001.
- [6] Daniel Castro. Application for measuring material acoustic properties in an impedance tube, 2010.
- [7] ASTM E1050, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones, and a digital frequency analysis system.
- [8] Seybert, A. F., and Ross, D. F., Experimental Determination of Acoustic Properties Using a Two-Microphone Random-Excitation Technique, J. Acoust. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1362-1370, 1977.
- [9] Chung, J. Y., and Blaser, D. A., Transfer Function Method of Measuring In-Duct. Acoustic Properties I. Theory and II. Experiment, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68, No.3, pp. 907-921, 1980.
- [10] С.С. Омаров, С.К. Бейсен, С.К. Нысанбаева, М.А. Тукибаева, Г.К. Турлыбекова, Ультразвуковое поглощение в тонкопленочных нанокompозитных материалах $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$, SiO_2NiFe (d) Ta , SiO_2NiFe (d) Ru . Известия НАН РК, серия физико-математическая, №3 (307), С.99-106., 2016г.
- [11] Nyssanbayeva S. K., Omarov S. Acoustic Studies of Thin Film Composite Materials, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.11, Number 5 (2016) pp 3438-3441.

REFERENCES

- [1] Omarov S. S. Engineering acoustics. Textbook. //KazGASA./ MES. –2002.
- [2] Tukibaeva M.A., Nysanbaeva S.K., Konovalenko E. Calculation of the speed of sound in concretes. // Proceedings of the First International Scientific Conference. «Innovative technologies and advanced solutions», volume I. – Bishkek, 2013, may 16-17. – P. 306-309.
- [3] S. Omarov, T. Begimov, M. Tukibaeva, R. Rahmatullaev. Estimation of absorption coefficient in the interaction of ultrasound with crystalline substances. ISSN 1680-9211. «KazNTU Bulletin», №1(95) 2013, p. 172-175.
- [4] Omarov S.S., Tukibaeva M.A., Nysanbaeva S.K., Amanzholova A.A. Estimation of the amplitude spatial coefficient of sound absorption in crystalline structures. // Proceedings of the international scientific-practical conference "Satpaev Readings". – Almaty, 2013. – P.538-541.
- [5] Bogolepov I.I. Architectural acoustics. Textbook-reference. – Sudostroenie, SPb, 2001.
- [6] Daniel Castro. Application for measuring material acoustic properties in an impedance tube, 2010.
- [7] ASTM E1050, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones, and a digital frequency analysis system.
- [8] Seybert, A. F., and Ross, D. F., Experimental Determination of Acoustic Properties Using a Two-Microphone Random-Excitation Technique, J. Acoust. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1362-1370, 1977.
- [9] Chung, J. Y., and Blaser, D. A., Transfer Function Method of Measuring In-Duct. Acoustic Properties I. Theory and II. Experiment, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68, No.3, pp. 907-921, 1980.
- [10] S.Omarov, S. Baishan, S. Nysanbaeva, M. Tukibaeva, G. Turlybekova, Ultrasonic absorption in $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$.

$x\text{Fe}_2\text{O}_4$, SiO_2NiFe (d) Ta, SiO_2NiFe (d) Ru thin-film nano-composite materials. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan physic-mathematical series, Volume 3, number 307, P.99-106., 2016.

[11] Nysanbayeva S. K., Omarov S. Acoustic Studies of Thin Film Composite Materials, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.11, Number 5 (2016) p. 3438-3441.

ӘОЖ: 538.953

**С.Қ. Нысанбаева¹, Г.Қ. Тұрлыбекова¹, Х.Р. Майлина¹,
Н.К. Манабаев¹, Т.К. Омаров, Ф.Т. Мырзашева²**

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан;
Т. Жүргенов атындағы Қазақ ұлттық өнер академиясы, Алматы қ., Қазақстан

АКУСТИКАЛЫҚ ИНТЕРФЕРОМЕТРДЕ КОНДЕНСИРЛЕНГЕН ОРТАЛАРДАҒЫ УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ЖҰТЫЛУ КОЭФФИЦИЕНТІН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Көптеген жарияланымдар арқылы белгілі акустикалық интерферометрлер дыбыс жиілігі диапазонындағы ғана дыбыс жұтқыштық коэффициентін өлшеуге мүмкіндік берді. Бірақ, ары қарай зерттеулер, мысалы, жұқа қабыршықты нанокөпозитті материалдарды зерттеу үшін, жиіліктің ультрадыбыстық диапазонындағы өлшеулер қажет болды. Аталған жұмыста дыбыс жұтқыштық коэффициентін жиіліктің ультрадыбыстық диапазонында зерттеуге мүмкіндік беретін әдіс қарастырылады. Осы зерттеулерге байланысты жасалған акустикалық интерферометр ISO 10534-2: 1998 ж. Халықаралық стандартына сай (ASTME1050-12 Ассоциациясындағы материалдарды зерттеу бойынша Америкалық қоғамдастық). Конденсирленген орталардағы ультрадыбыстық жұту коэффициентін өлшеу нәтижелерін теориялық есептеулерімен салыстыру, олардың жеткілікті түрде сәйкес келетіндігін көрсетті. Берілген акустикалық интерферометрде жұқа қабыршықты нанокөпозитті материалдардың дыбыстық және ультрадыбыстық диапазонындағы дыбыс жұтқыштық коэффициентін өлшеуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: акустикалық интерферометр, дыбыс жұтқыштық коэффициенті, акустикалық импеданс, жұқа қабыршықты нанокөпозитті материал.

Sereeter Gulbakhyt, Zh. K. Dyusembina

Eurasian National university named after L.N Gumilyev

sss.ggg12@mail.ru

USING MODULAR TECHNOLOGY AT MATH LESSON

Abstract: Today, new traditional model of educating is being in our country. New methods of education substitute the old ones. This process is accompanied by a change in the educational paradigm. New educational paradigm of individualism and development of child by learning is more important than others. Nowadays, despite the sufficiency of information, knowledge and skills learners are not able to use them at simple situation. Hence, we run into this question. Are the methods of educating getting old? Therefore, today many types of educating technologies appear. One of them is Modular Technology.

Key words: module, modular training, trigonometry consolidated didactic units

Гульбахыт Сэрээтэр, Ж.К. Дюсембина

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

МОДУЛЬДІК ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН МАТЕМАТИКА САБАҒЫНДА ҚОЛДАНУ

Аннотация. Бүгінгі таңда елімізде білім берудің өзіндік ұлттық үлгісі қалыптастасуда. Білім берудегі ескі мазмұнның орнына жаңасы келуде. Бұл процесс білім парадигмасының өзгеруімен қатар жүреді. Жаңа білім парадигмасы бірінші орынға баланың білімін, білігі мен дағдысын емес, оның тұлғасын, білім алу арқылы, дамуын қойып отыр. Қазіргі уақытта білім алушыларда ақпараттың көптігіне, білік пен дағдылардың бар болғанына қарамастан олар оны қарапайым өмір жағдайында қолдана алмайды. Бұл кезде сұрақ туындайды білім беру кезіндегі оқытудың әдіс – тәсілдерінің тозығы жеткен бе? Осыған орай жаңа тиімді оқыту технологиялары пайда болады. Сол оқыту технологиясының бірі модульдік оқыту технологиясы.

Түйін сөздер: модуль, модульдік оқыту, тригонометрия, ұлғайтылған дидактикалық бірлік.

Тақырыптың өзектілігі. Математика пәнін оқыту қиын екені барлығымызға мәлім мәселелердің бірі. Ол пәннің күрделі екенімен қатар, қазіргі уақытта мектеп бағдарламасының дұрыс құрылмауының да әсері бар. Кейбір тақырыптар оқушыларға бөлініп оқытылады. Соның салдарынан оқушы тиянақты білім ала алмайды. Сондықтан менің жұмысымда мектепте оқытылатын кейбір тақырыптарды оқытудың жаңа әдісіне әкелетін оқу бағдарламасы қарастырылады.

Зерттеудің тапсырмасы:

1. Модульдік оқыту технологиясын зерттеу.
2. Модульдік оқыту технологиясының мектеп бағдарламасындағы тиімділігін зерртеу.

Зерттеудің мақсаты.

«Тригонометрия» тарауына арналған модульдердің көмегімен оқу бағдарламсын құрастыру.

Модуль – оқушының мазмұнды, оқу әдісін өз бетінше игеру деңгейі мен оқу-таным әрекетіне сай жеке оқу бағдарламасы [1]. Білім беру бұл екі жақты процес. Білім берудің нәтижелі болуы тек мұғалімге қатысты жағдай емес, сонымен қатар оқушының білім алуға деген белсенділігімен қызығушылығы, өздігінен білім алуға деген құштарлығы болуы қажет. Ол үшін оқушылардың өзіндік, шығармашылық іс-әрекетін жаңа білімді меңгеруде және оны практикада қолдана алуға жағдай жасу үшін білім беру үрдісінде сабақты ұйымдастыру формасы өте шебер құрастырылуы қажет. Сабақ - оқыту үрдісінің негізгі бөлшегі. Бұл дегеніміз барлық оқыту үрдісі бір-бірімен тығыз байланысқан жүйелі ұйымдастырылған жеке дербес сабақтардың бөлшектерінен тұрады [2]. Оқыту үрдісінде сабақты жақсы өткізу өте маңызды болып табылады. Бірақ оқыту тәрбие үрдісінде керемет өткізілген сабақтың өзі жалпы берілген тақырыптың

бөлшектері жақсы ұйымдастырылмаса оқыту үрдісінің нәтижелі болуына әкелмейді. Сондықтан біздің ойымышша әр пәннің теориялық материалы алдын ала, ірі модульдерге бөлініп әрбір модульдер бір- бірімен тығыз байланыста болуы қажет.

Бұл әдіс математиканы оқытуда қолдануға болатын модульдік оқыту технологиясының бір түріне сәйкес келеді. Мен өзімнің жұмысымда математиканы оқытудың модульдік технологиясын келесі түрде қолданамын. Материал бөлек бірліктер түрінде емес, өзі жататын бір құрылымдық бірліктен бөлінген түрінде алынады, сол тарауға жататын математикалық жұмыстар, түсініктер, қасиеттер бірге зерттеледі. Материалдарды модульдерге жинақтау арқылы оларды шағын конспектiлерге айналдырамын. Сонымен қатар әр конспект тірек сызбалардың көмегімен құрастырылады.

Ал тірек сызбалар келесі қағидаларға негізделуі қажет:

- ✓ Математикалық нышандарды ғылыми баяндамада барынша көп пайдалану қажет.
- ✓ Материалдың логикалық және теориялық қалпын бұзбайтын қысқа мазмұнда болуы қажет.
- ✓ Шебер ұйымдастырылған тақырыпты ашатын тек қана оқулықтан алынған емес тірек сызбалар, диаграммалар, түрлі – түсті суреттер болуы қажет.

- ✓ Бір конспектi құрастыру кезінде логикалық байланысы және ретi мағынасы келесі конспекпен жалғасып жатуы қажет[3].

Модульдік оқыту - оқушыларды өз бетімен үйренуге бейімділік қалыптастырады, тұтастай оқу үрдісі алдын ала мақсат қоюға негізделеді, ал оқу үрдісін деңгейлеп ұйымдастыру оқушыға таңдап оқу мүмкіндігін береді[4].

Енді математиканы оқытудағы қарастырған модульдерге жеке тоқталайық. Әр модуль жүйелілік және тұтастық, уақытқа тұрақтылық және жадыда тез сақталу қасиетіне ие[5].

Модульдер келесі құрылымды қамтиды.

ММ– мәселелік модуль

АҚМ – ақпараттық модуль

КМ– кеңейтілген модуль

ЖМ – жүйелеген модуль

ТМ – түзету модуль

БМ– бақылау модуль

ММ-АҚМ-КМ-ЖМ-ТМ-БМ

Кесте 1 - Модульдің сипаттамасы

<i>Модульдің атауы</i>	<i>Модульдің сипаттамасы</i>
Мәселелік модуль	Теориялық материалды түсіндіру проблемалы тапсырмадан бастап, жаңа түсініктің пайда болуына әкелген тарихи қалыптасқан мәселені көрсетемін. Менгерудің алдында проблемалы модульді енгізу: материалды зерттеу қажеттілігін көрсетуге; оның маңыздылығын дәлелдеуге; осы материалды, берілген тақырыпты және тұтас математиканы игеруде қолданылуын көрсетуге мүмкіндік береді.
Ақпараттық модуль	Әр блоктың информациялық модулінің негізі- дәріс, нәтижесі- нақты конспект болып табылады. Оларды құрастыруда келесі принциптер жетекшілікке алынады. Ақпараттарды модульдерге бөліп беру жүйесі материалды толығымен, бөлшектерге бөлмей зерттеуге мүмкіндік береді. Тапсырмаларды орындау және оларды негізгі типтерге бөлу алгоритмдерін жасауға көңіл бөлу қажет. Ақпараттық модуль зерттеу кезінде қолданылатын тапсырмаларды бөлшектеп шешу алгоритмдерін пайдалану оқушыларға модульді зерттеудің келесі кезеңінде стандартты тапсырмаларды өз бетімен шешуге мүмкіндік береді. Осы аталған сәттерді жаңа сабақ игеруде қолданған тиімді.
Кеңейтілген модуль	Ақпаратты модульде материалды түсіндіру кезінде тек негізгі, басты сұрақтар қарастырылатын болса, кеңейтілген модульде теориялық материалды тереңдетіп, кеңейтілген түрде игеру, стандарттық емес тапсырмаларды шешу қарастырылған. Берілген уақыт ішінде көбірек мәлімет беріледі. Бұл модульде сабақты зерттелген материалды бекіту үшін жүргізу қажет, ол үшін оқушыларға тақырыптың басты тараулары бойынша кешенді тапсырмалар беріледі. Кеңейтілген модульде сабақты стандартты емес түрде жүргізуге қолайлы жағдай жасалынады.

Жүйелеу модулі	Білімді жүйелеу оқушыларды берілген материалды мәліметтер жинағы ретінде сақтаудан құтқарады. Жалпыландыру үрдісіне оқушылардың өздері белсене қатысады; топтастырылған материал тез және жеңіл сақталынады және оны пайдалану ыңғайлы. Ол семинар сабақтарында немесе жалпыландыру және жүйелеу сабақтарында жүргізіледі; және келесідей реттілікпен орындалады: бөлек фактілерді қабылдау, түсіну және жалпыландырудан, оқушыларда тақырып бойынша түсінік, идеялар қалыптастыруға болады.
Түзету модулі	Түзету модулі бұл оқушылардың тарау бойынша алынған білімдерінің кем кетіктерін, түсінбеген жерлерін түсіндіру. Түзету модулі кезінде әр бөлімдер бойынша тақырыптардың түсінбеген жерлеріне қайта ораламыз және оқушылардың білім деңгейін анықтай отырып қолданып отырған әдіс-тәсіліміздің қаншалықты тиімді, тиімсіз екеніне көз жеткіземіз. Бұл модульдің ерекшелігі біз үлгерімі төмен оқушылармен жұмыс жасай аламыз, тақырыптар бойынша түсінік сәттерді қайта қарастырамыз, қандай тақырыптарға қосымша сабақтар ұйымдастыруға болатын айқындаймыз.
Бақылау модулі	Бақылау модулімен жұмыс жасау үшін оқушылардың білімі мен біліктілігін келесі параметрлер бойынша тексереміз: ағымдағы бақылау; үй тапсырмаларын орындауын бақылау; тақырып бойынша және қорытынды бақылау; ағымдағы бақылауды оқушылардың күнделікті тапсырмаларын теориялық және практикалық бақылау, мұны өз бетімен орындалатын жұмыстарды тексеру, конспекттерін тексеру арқылы жүргіземіз. Үй тапсырмаларын жекелік жұмыстар орындау кезінде жүргіземіз- оқушылар үй тапсырмасын орындау үшін алдын ала жеке тапсырмалар алады. Білімін қорытынды тексеруді тест, тақырыптық жұмыстар және сынақтар арқылы жүргіземіз. Сынақ жұмысы - бұл оқушы мен мұғалімнің берілген тақырып бойынша қорытынды жұмысы. Егер оқушы игерілген тақырып бойынша барлық теорияға жауап берсе, ол сынақтың теориялық бөлімінен босатылады[6].

Мысалға, осындай модульдерден құралған 9-10 сыныптарға арналған оқу материалындағы «Тригонометрия» тақырыбын келесідегідей модульдерге бөліп қарастырып және әр модульге байланысты тірек - сызба сабақ жоспарын құрастыруға болады.

Модуль № 1 «Тригонометрия»

Кесте 2 - Тригонометрия тақырыбына арналған модульдер

№	Модульдің мазмұны	Сағат саны
	Модуль № 1 Тригонометрия	20 сағ
	Мәселелік модуль	1 сағ
1.	Тригонометрия ұғымының практикалық маңызы туралы ақпарат	1 сағ
2.	Анықтама (геометриялық, алгебралық) Тарихы	1 сағ.
3.	Формулалар	1 сағ
4.	Келтіру формулалары	1 сағ
5.	Бұрыш (жақсы бұрыш, жаман бұрыш келтіруге болатын бұрыштар)	1 сағ
6.	Негізгі тригонометриялық тепе-теңдіктер	1 сағ
7.	Тригонометриялық функциялардың қасиеттері	1 сағ
8.	Кері тригонометриялық функциялар	1 сағ
9.	Тригонометриялық теңдеулер	1 сағ
10.	Тригонометриялық теңсіздіктер	1 сағ
	Кеңейтілген модуль	3 сағ
1	Тригонометрияда кездесетін стандарт емес есептер	2 сағ
2	Олимпиада, конкурстық есептер	1 сағ
	Жүйелеу модуль	2 сағ
1	Негізгі кілттік есептер	2 сағ
	Түзету модуль	2 сағ
1	Тригонометриялық теңдеулерде кездесетін қателіктерді алдын алу	1 сағ
2	Тригонометриялық теңсіздіктерде кездесетін қателіктерді алдын алу	1 сағ
	Бақылау модулі	3 сағ
1	Тригонометриялық тепе-теңдіктерге, келтіру формулалар тақырыбына бақылау жұмысы	1 сағ
2	Тригонометриялық теңдеулер мен теңсіздіктерге бақылау жұмысы	1 сағ
3	Тригонометрия тарауына тест	1 сағ

Ақыл-ойдың қызыметін қажет ететін математика сабағына оқушылардың қызығушылығын қалай ояту керектігі ойландыратын мәселердің бірі. Оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттыру үшін сабақты өткізу әдіс-тәсілі жақсы ұйымдастырылуы қажет. Сондықтан осы модульдің бәрін біріктіретін тірек-сызба конспектісі құрастырылған.

Модульдік оқыту технологиясының практикалық тиімділігі:

Технология бойынша құрылған әдістемелік нұсқаларды басқа мұғалімдер қолдана алады.

Модульдік технологияның мүмкіндігі:

Оқушының оқу және танымдық әрекеттерінің белсенділігін арттыру – ең негізгі әдістемелік мәселе. Модуль арқылы оқыту осы мәселені шешуге мүмкіндік беретін тиімді жолы.

Модульдік оқыту технологиясының тиімділігі:

1. Тақырыпты қарапайым білім мен түсінік деңгейде игеруді білдіреді. Олар шамамен мынадай түрде беріледі: білу, түсіну, қолдану, талдау, топтау, бағалау.

2. Модульдік технологияның ерекшелігі: жадының алуан түрлерін (есту, көру, қимыл) ойлауды, ынтаны, қабылдау қабілетін арнайы жасалған оқу, сондай-ақ өзін-өзі бекіту, қарым-қатынас, шығармашылық қажеттіліктерін, сөздік қорын дамытуға бағытталған.

Жалпы қорыта айтқанда бұл технологияның тиімділігі мынада оқушы бір тарау бойынша жүйелі білім алады. Алынған білім тиянақталып, қорытындылады. Біздің Отандық оқулықтарда бұл тарау бөлініп оқытылады оқушылардың көпшілігі үшін тақырып алынбайтын қамалдай екені белгілі. Сондықтан бір жүйеге келтірілген осындай оқыту әдістемесі дұрыс деп ойлаймын.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Третьяков П.И., Сенновский ИВ. Технология модульного обучения в школе: Практико-ориентированная монография / Под ред. П.И. Третьякова. – М. Новая школа, 2001.
- [2] Шамова Т.И. Модульное обучение: сущность, технологии / Биология в школе. 1994
- [3] Гульчевская В. Г. Технология модульного обучения: проблема внедрения в массовый опыт отечественной школы. М., 2003.
- [4] Юцвявичене П.А. Теория и практика модульного обучения - Каунас, 1989.-286с.
- [5] Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: Учебное пособие. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1998. - 56с.
- [6] Голощекина Л.П., Збаровский В.С. Модульная технология обучения: Методические рекомендации. - СПб: ЮНИТИ-ДАНА, 1993. - 135с.
- [7] Яковлева О., Кондратьева Н., Семенова М. Модернизация образования: модульное обучение. М.: Издательский дом «Первое сентября». Еженедельная учебно-методическая газета «Математика» №15, №19, 2004г. 9-12 с.
- [8] Репкина Н.В. Система развивающего обучения в школьной практике // Вопросы психологии. – 1997. – № 3. – с. 40–45.
- [9] Ермаков В.Г. Развивающее образование и функции текущего контроля. В 3 частях. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2000. – 70 с.

REFERENCES

- [1] Tret'jakov P.I., Sennovskij IV. Tehnologijamodul'nogoobuchenija v shkole: Praktiko-orientirovannajamonografija / Pod red. P.I. Tret'jakova. – M. Novajashkola, 2001.
- [2] Shamova T.I. Modul'noeobuchenie: sushhnost', tehnologii / Biologija v shkole. 1994
- [3] Gul'chevskaja V. G. Tehnologijamodul'nogoobuchenija: problemavnedrenija v massovyjopytotechestvennojshkoly. M., 2003.
- [4] Jucjavichene P.A. Teorijai praktikamodul'nogoobuchenija - Kaunas, 1989.-286s.
- [5] Selevko G.K. Sovremennyeobrazovatel'nyetehnologii: Uchebnoeposobie. - M.: JuNITI-DANA, 1998. - 56s.
- [6] Goloshhekina L.P., Zbarovskij B.C. Modul'najatehnologijaobuchenija: Metodicheskierekomendacii. - SPb: JuNITI-DANA, 1993. - 135s.
- [7] Jakovleva O., Kondrat'eva N., Semenova M. Modernizacijaobrazovanija: modul'noeobuchenie. - M.: Izdatel'skijdom «Pervoesentjabrja». Ezhenedel'najauchebno-metodicheskajagazeta «Matematika» №15, №19, 2004g. – 9-12 с.
- [8] Repkina N.V. Sistemarazvivajushhegoobuchenija v skol'nojpraktike // Voprosypsihologii. – 1997. – № 3. – с. 40–45.
- [9] Ermakov V.G. Razvivajushheobrazovanieifunkciitekushhegokontrolja. V 3 chastjah. – Gome!': GGU im. F.Skoriny, 2000. – 70 с.

Гульбахыт Сэрээтэр, Ж.К. Дюсембина

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана,

ТЕХНОЛОГИЯ МОДУЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

Аннотация: Новые социальные требования к системе образования сформулированы в Концепции модернизации нашего образования. Сегодня в нашей стране осуществляются новые модели образования. Новые методы обучения заменяют старые. Этот процесс сопровождается изменением образовательной парадигмы. Практика постоянно нас убеждает, что, несмотря на огромный объем информации и обилие умений и навыков, которыми овладевают учащиеся, они совершенно беспомощны в их применении в реальной жизни. В связи с этим ведутся поиски новых эффективных приемов, которые активизировали бы мысль школьников, стимулировали бы их к самостоятельному приобретению знаний. Таким образом, мы упираемся в этот вопрос: Методы обучения стареют? Поэтому сегодня появилось множество видов обучения технологии. Одна из них - модульная Технология.

Ключевые слова: модуль, модульное обучение, тригонометрия укрупненных дидактических единиц

Сведения об авторах:

Сэрээтэр Гульбахыт - магистрант I курса, Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева, механико-математический факультет, Республика Казахстан, г. Астана;
Дюсембина Жанар Какеновна - к.т. н., доцент

МАЗМҰНЫ

<i>Сайдуллаева Н.С., Қабылбеков К.А., Пазылова Д.Т., Тагаев Н.С., Каликулова А.О.</i> Электр тізбегінің сыртқы кедергісінде бөлінетін қуатты зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастыру.....	5
<i>Асанова А.Т., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П.</i> Гиперболалық тектес дербес туындылы интегралдық-дифференциалдық тендеулер жүйесі үшін бейлокал есеп туралы.....	11
<i>Сайдуллаева Н.С., Қабылбеков К.А., Пазылова Д.Т., Аширбаев Х.А., Каликулова А.О.</i> Компьютерлік зертханалық жұмыстарды орындау үшін бірімді емес есептер мен берілгендері түгел емес есептерді құрастыру.....	19

Аспан механикасының, жұлдыздар жүйесінің және ядролық астрофизика мәселелері

<i>Дубовиченко С.Б., Буркова Н.А., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С., Бейсенов Б.У., Мукаева А.Р.</i> Радиациялық ${}^3\text{He}^4\text{He}$ басып алу астрофизикалық S-факторы.....	25
<i>Ибраимова А.Т.</i> Жұлдызды шоғырлардың сандық үлгілеріндегі жарқырағыштылық кескіні.....	32
<i>Гайсина В.Н., Денисюк Э.К., Валиуллин Р.Р., Кусакин А.В., Шомшекова С.А., Рева И.В.</i> , NGC 5548 Айнымалы сейферт ғаламы.....	41
<i>Демченко Б.И., Воропаев В.А., Комаров А.А., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Акниязов Ч.Б.</i> , KAZSAT-2 және KAZSAT-3 Қазақстандық байланыс серіктері үшін әлеуетті қауіпті геотұрақты серіктер	50
<i>Акниязов Ч.Б.</i> Ғарыштық қоқыс бұлтындағы объекттердің соқтығысу ықтималдылығын анықтауды болжауға арналған қысқа және ұзақ мерзімді әдіс.....	57
<i>Серебрянский А.В., Кругов М.А., Валиуллин Р.Р., Комаров А.А., Демченко Б.И., Усольцева Л.А., Акниязов Ч.Б.</i> , Қазақстандағы ассы-түрген обсерваториясының жаңа оптикалық кешені	66
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.</i> , 2016 жылы Тянь-шань және ассы-түрген обсерваторияларында геостационар серіктерді бақылау нәтижелері.....	74

Жұлдыздардың және тұмандықтардың зерттеулері

<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Кругов М.А.</i> , PC 12 және M1-46 планеталық тұмандықтардың спектрлік зерттеулері.....	81
<i>Павлова Л.А., Вильковиский Э.Я.</i> Жас жұлдыздарда X-гау эмиссиялар құрылуының негізгі механизмдері	90
<i>Павлова Л.А., Вильковиский Э.Я.</i> Хебигтің AeBe кос жұлдыздарынан X-гау эмиссияларды бақылау	96
<i>Павлова Л.А.</i> Жас жұлдыздар қабаттарындағы айнымалылықтың құрылымдарын және механизмдерін зерттеу.....	102
<i>Тереценько В.М.</i> , «Жұлдыздардың спектродетекциялық каталогы» O-B-жұлдыздар үшін бақыланатын және есептелген жұлдыздар шамасын және түстерінің көрсеткіштерін салыстыру.....	110
<i>Шестакова Л.И., Рева И.В., Кусакин А.В.</i> WD1145+017 ақ ергежей маңындағы планетоидтардың транзиттік өтуі және олардың термиялық эволюциясы.....	117
<i>Серебрянский А.В., Шестакова Л.И., Рева И.В.</i> WD1145 + 017 ақ ергежейдің жарқырау қисығының талдауы.....	123
<i>Айманова Г.К., Серебрянский А.В., Рева И.В.</i> SDSS 1507 + 52 катаклизмалық айнымаланың фотометрлік зерттеулері.....	129
<i>Тереценько В.М.</i> , Фотометрлік мәліметтер бойынша энергияның спектрлік таралуының абсолютизациясы.....	136
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> , Соңғы спектрлік кластардағы жұлдыздар жанында сублимациялану процесінде шаң-тозаңды бөлшектердің орбиталық эволюциясы.....	143
<i>Шомшекова С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н.</i> , Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясындағы 1-метрлік телескопқа арналған фотометрлік жүйені стандарттау.....	155

Күннің және күн жүйесі денелерінің физикасы

<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М.</i> , Жеделдетілген протондар қуатына корональ шығарулардың соққы толқынының әсері.....	162
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А.</i> , 2004-2016 жылдары Юпитердің солтүстік және оңтүстік жартышарларында аммиактың жұту жолында асимметрияны зерттеу.....	170
<i>Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г., Филиппов В.А.</i> Юпитердің галилейлік серіктеріндегі өзара бірігулерді және тұтылуды зерттеу (халықаралық бағдарлама РНЕМУ-15).	179
<i>Тейфель В.Г., Каримов А.М., Лысенко П.Г., Филиппов В.А., Харитонова Г.А., Хоженец А.П.</i> , Юпитер: көпжылдық бақылаулар бойынша бес негізгі ендік белдіктерінде молекулалық жұтудың вариациясы.....	185
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> 2016 жылы экватор бойында және юпитердің орталық меридианында аммиак және метанның жұту вариациясы. 8 Жұту жолағы үшін салыстырмалы талдау.....	192
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Юпитер дискісі бойынша аммиакты және метанды жұтудың кеңістікті-уақыттық вариациясы параметрлерінің корреляциялық өзара байланысы және олардың күн қарқындылығы индексімен байланысы	204
<i>Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Комаров А.А., Рева И.В.</i> Атмосфералық экстинкцияның лездік мәндері және ауысуы коэффициенттері.....	209

* * *

<i>Ақылбаев М.И., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш.</i> Коэффициенті айнымалы, бірінші ретті кәдімгі дифференциалдық теңдеудің сингуляр әсерленген Коши есебін спектралді таралым әдісі арқылы шешу.....	215
<i>Құдайберген А.Д., Байгісова Қ.Б., Жетпісбаев Қ.У., Алжамбекова Г.Т., Сәрсембаева Б.Д.</i> Нанокұрылымдардың ЖТАӨ қасиеттеріне әсері.....	223
<i>Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш., Ақылбаев М.И.</i> Коэффициенттері тұрақты екінші ретті кәдімгі дифференциалдық теңдеудің сингуляр әсерленген Кошилік есебін шешудің операторлық әдісі туралы.....	230
<i>Жақып-тегі К.Б.</i> Гуктың заңы анизотроптық денелердің серпілімдік теориясында.....	241
<i>Қабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Абдрахманова Х.К., Джумагалиева А.И., Қыдырбекова Ж.Б.</i> MATLAB бағдарламалық пакетін қолданып «Тікбұрыш екі диэлектрик жазықтық ішінде орналасқан ұзын, зарядталған өткізгіштен құралған жүйенің электр өрісін модельдеу» атты зертханалық жұмысты орындауды ұйымдастыру	252
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Тоқжигитова А.А., Абдикерова Ж.Р.</i> Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті катушканың реактивті кедергісінің тоқ жиілігіне тәуелдігін зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастыру.....	259
<i>Нысанбаева С.Қ., Тұрлыбекова Г.Қ., Майлина Х.Р., Манабаев Н.К., Омаров Т.К., Мырзашиева Ф.Т.</i> Акустикалық интерферометрде конденсирленген орталардағы ультрадыбыстық жұтылу коэффициентін зерттеу.....	266
<i>Сэрээтэр Гульбахыт, Дюсембина Ж.К.</i> Модульдік оқыту технологиясын математика сабағында қолдану.....	274

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сайдуллаева Н.С., Кабылбеков К.А., Пазылова Д.Т., Тагаев Н.С., Каликулова А.О.</i> Организация выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию мощности выделяемой на внешней нагрузке электрической цепи.....	5
<i>Асанова А.Т., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П.</i> О Нелокальной задаче для системы интегро-дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа.....	11
<i>Сайдуллаева Н.С., Кабылбеков К.А., Пазылова Д.Т., Аширбаев Х.А., Каликулова А.О.</i> Конструирование неоднозначных задач и задач с недостающими данными для выполнения компьютерных лабораторных работ	19

Проблемы небесной механики, динамики звездных систем и ядерной астрофизики

<i>Дубовиченко С.Б., Буркова Н.А., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С., Бейсенов Б.У., Мукаева А.Р.,</i> Астрофизический S-фактор радиационного $^3\text{He}^4\text{He}$ захвата.....	25
<i>Ибраимова А.Т.,</i> Профили светимости в численных моделях звездных скоплений.....	32
<i>Гайсина В.Н., Денисюк Э.К., Валиуллин Р.Р., Кусакин А.В., Шомшекова С.А., Рева И.В.,</i> Переменность сейфертовской галактики NGC 5548.....	41
<i>Демченко Б.И., Воропаев В.А., Комаров А.А., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Акниязов Ч.Б.,</i> Геостационарные спутники, потенциально опасные для Казахских спутников связи KAZSAT-2 и KAZSAT-3.....	50
<i>Акниязов Ч.Б.,</i> Коротко-временной и долговременной подход для прогноза определения вероятности столкновения объектов в облаке космического мусора.....	57
<i>Серебрянский А.В., Кругов М.А., Валиуллин Р.Р., Комаров А.А., Демченко Б.И., Усольцева Л.А., Акниязов Ч.Б.,</i> Новый оптический комплекс на обсерватории Ассы-Турген в Казахстане.....	66
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.,</i> Результаты наблюдений геостационарных спутников в Тянь-Шанской и Ассы-Тургенской обсерваториях в 2016 году.....	74

Исследование звезд и туманностей

<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Кругов М.А.,</i> Спектральные исследования планетарных туманностей PC 12 и M1-46.....	81
<i>Павлова Л.А., Вильковиский Э.Я.,</i> Основные механизмы формирования X-гау эмиссии в молодых звездах.....	90
<i>Павлова Л.А., Вильковиский Э.Я.,</i> Наблюдения X-гау эмиссии от двойных звезд AeVe Хербига.....	96
<i>Павлова Л.А.,</i> Исследование структуры и механизмов переменности в оболочках молодых звезд.....	102
<i>Терецко В.М.,</i> Сравнение наблюдаемых и вычисленных звездных величин и показателей цвета для O-B-звезд «Спектрофотометрического каталога звезд».....	110
<i>Шестакова Л.И., Рева И.В., Кусакин А.В.,</i> Транзитные прохождения планетоидов около белого карлика WD1145+017 и их термическая эволюция.....	117
<i>Серебрянский А.В., Шестакова Л.И., Рева И.В.,</i> Анализ кривой блеска белого карлика WD1145+017.....	123
<i>Айманова Г.К., Серебрянский А.В., Рева И.В.</i> Фотометрические исследования катаклизмической переменной SDSS 1507 + 52	129
<i>Терецко В.М.,</i> Абсолютизация спектрального распределения энергии звезд по фотометрическим данным.....	136
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.,</i> Орбитальная эволюция пылевых частиц в процессе сублимации около звезд поздних спектральных классов.....	143
<i>Шомшекова С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н.,</i> Стандартизация фотометрической системы 1-метрового телескопа ТШАО.....	155

Физика Солнца и тел солнечной системы

<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М.,</i> Влияние ударной волны корональных выбросов на энергию ускоренных протонов. . .	162
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А.,</i> Исследование асимметрии в ходе поглощения аммиака в северном и южном полушариях Юпитера в 2004-2016 годах.....	170
<i>Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г., Филиппов В.А.,</i> Наблюдения взаимных соединений и затмений галилеевых спутников Юпитера (Международная программа RHEMU-15).....	179
<i>Тейфель В.Г., Каримов А.М., Лысенко П.Г., Филиппов В.А., Харитонова Г.А., Хоженец А.П.,</i> Юпитер: вариации молекулярного поглощения в пяти основных широтных поясах по многолетним наблюдениям.....	185
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Вариации поглощения аммиака и метана вдоль экватора и центрального меридиана юпитера в 2016 году. Сравнительный анализ для 8 полос поглощения.....	192
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.,</i> Корреляционные взаимосвязи параметров пространственно-временных вариаций аммиачного и метанового поглощения по диску Юпитера и их связь с индексом солнечной активности.....	204
<i>Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Комаров А.А., Рева И.В.,</i> Коэффициенты перехода и мгновенные значения атмосферной экстинкции.....	209

* * *

<i>Ақылбаев М.И., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш.</i> Решение сингулярно возмущенной задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с переменным коэффициентом, методом отклоняющегося аргумента.....	215
<i>Кудайберген А.Д., Байгисова К.Б., Жетписбаев К.У., Алджамбекова Г.Т., Сарсембаева Б.Д.</i> Влияние наноструктуры на свойства ВТСП	223
<i>Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш., Ақылбаев М.И.</i> Решение сингулярно возмущенной задачи Коши, для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами, операторным методом.....	230
<i>Джакупов К.Б.</i> Закон Гука в теории упругости анизотропных тел	241
<i>Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Абдрахманова Х.К., Джумагалиева А.И., Кыдырбекова Ж.Б.</i> Организация выполнения лабораторной работы «Моделирование электрического поля системы, состоящей из диэлектрического угольника и длинного заряженного проводника» с использованием пакета программ MATLAB.....	252
<i>Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Токжигитова А.А., Абдикерова Ж.Р.</i> Организация выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию зависимости реактивного сопротивления катушки индуктивности от частоты переменного тока.....	259
<i>Нысанбаева С.К., Турлыбекова Г.К., Майлина Х.Р., Манабаев Н.К., Омаров Т.К., Мырзаешева Ф.Т.</i> Исследование коэффициента ультразвукового поглощения в конденсированных средах на акустическом интерферометре	266
<i>Сэрээтэр Гульбахыт, Дюсембина Ж.К.</i> Технология модульного обучения на уроках математики.....	274

CONTENTS

<i>Saidullayeva N.S., Kabyrbekov K.A., Pazylova D.T., Tagaev N.S., Kalikulova A.O.</i> Organization of computer lab work to study the power of an electrical circuit oozed on an exterior loading.....	5
<i>Assanova A.T., Ashirbaev H.A., Sabalakhova A.P.</i> On the nonlocal problem for a system of the partial integro-differential equations of hyperbolic type.....	11
<i>Saidullayeva N.S., Kabyrbekov K.A., Pazylova D.T., Ashirbaev Kh.A., Kalikulova A.O.</i> Designing the ambiguous tasks and tasks with missing data for performance of computer laboratory works.....	19

Problems of celestial mechanics, dynamics of stellar systems and nuclear astrophysics

<i>Dubovichenko S. B., Burkova N.A., Dzhezairov-Kakhramanov A.V., Tkachenko A.S., Beisenov B.U., Mukaeva A.R.</i> Astrophysical S-factor for the radiative $^3\text{He}^4\text{He}$ capture.....	25
<i>Ibraimova A.T.</i> Luminosity profiles in numerical models of star clusters.....	32
<i>Gaisina V., Denissyuk E., Valiullin R., Kusakin A., Shomshekova S., Reva I.</i> Variability of Seyfert galaxy NGC 5548.....	41
<i>Demchenko B. I., Komarov A. A., Serebryansky A. V., Voropaev V. A., Usoltseva L. A., Akniyazov C. B.</i> Geostationary satellites, potentially dangerous for Kazakhstan communication satellites KAZSAT-2 AND KAZSAT-3.....	50
<i>Akniyazov C. B.</i> Short- and long- term approach collision probability of the objects in space debris cloud.....	57
<i>Serebryanskiy A., Krugov M., Valiullin R., Komarov A., Demchenko B., Usoltseva L., Akniyazov Ch.</i> The new optical complex at assy-turgen observatory in Kazakhstan.....	66
<i>Demchenko B. I., Komarov A. A., Krugov M.A., Reva I.V., Serebryansky A.V., Usoltseva L. A.</i> Results of observations of geostationary satellites at Tien Shan and Assy- Turgen astronomical observatory in 2016	74

The study of stars and nebulae

<i>Kondratyeva L., Rspaev F., Krugov M.</i> Spectral study of the planetary nebulae PC 12 and M1-46.....	81
<i>Pavlova L.A., Vil'koviskij E.Ya.</i> The main formation mechanisms of X-Ray emission of the young stars.....	90
<i>Pavlova L.A., Vilkoviskij E.Ya.</i> Observations of X-ray emission from binaries herbig AeBe stars.....	96
<i>Pavlova L.A.</i> Investigating of the structure and mechanisms variability in envelopes of young stars.....	102
<i>Tereschenko V. M.</i> The comparison of the observed and calculated magnitudes and color-indexes for O-B-stars of "Spectrophometrical catalogue of stars".....	110
<i>Shestakova L.I., Pesa H.B., Kysakun A.B.</i> Transit passages of planetoids near white dwarf WD1145 + 017 and their thermal evolution.....	117
<i>Serebryanskiy A.V., Shestakova L.I., Reva I.V.</i> Analysis of light curves of the white DWARF	123
<i>Aimanova G. K., Serebryanskiy A. V., Reva I.V.</i> Photometric studies of the cataclysmic variable SDSS 1507 + 52.....	129
<i>Tereschenko V. M.</i> The absolutization of spectral energy distribution of stars on spectral and photometric data	136
<i>Shestakova L.I., Demchenko B.I.</i> Orbital evolution of dust particles in the sublimation process around stars of late spectral classes	143
<i>Shomshekova S. A., Reva I. V., Kondratyeva L.N.</i> Standardization of the photometric system of the 1-meter telescope on TShAO.....	155

Physics of the Sun and solar system bodies

<i>Minasyants G.S., Minasyants T.M.</i> Effect of the shock wave of coronal ejection on the energy of accelerated protons.....	162
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A.</i> Ammonia absorption asymmetry along the latitudes of the northern and southern hemispheres of Jupiter from 2004-2016 observations	170
<i>Karimov A.M., Lysenko P.G., Tejfel V.G., Filippov V.A.</i> The observations of the Jupiter galilean satellites mutual occultations and eclipses (PHEMU-15 international program).....	179
<i>Tejfel V.G., Karimov A.M., Lysenko P.G., Filippov V.A., Kharitonova G.A., Khozhenetz A.P.</i> Jupiter: variations of the molecular absorption at five main latitudinal belts from longtime observations.....	185
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The variations of ammonia and methane absorption along the jovian equator and central meridian in 2016. Comparative analysis of the eight absorption bands.....	192
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> Mutual correlations of the parameters of the methane and ammonia absorption spatial-temporal variations over jovian disk and their connections with the solar activity index	204
<i>Serebryanskiy A., Usoltseva L., Komarov A., Reva I.</i> The transformation coefficients and instantaneous values of atmospheric extinction.....	209

* * *

<i>Akylbaev M.I., Besbayev G.A., Shaldanbaev A.Sh.</i> Solution of a singularly perturbed Cauchy problem, for an ordinary differential equation of the first order with a variable coefficient, by the method of a deviating argument.....	215
<i>Kudaibergen A.D., Baigisova K.B., Zhetpisbayev K.U., Aldzhambekova G.T., Sarsembayeva B.D.</i> Effect of nanostructures on HTSC properties	223
<i>Besbayev G.A., Shaldanbaev A.Sh., Akylbayev M.I.</i> Solution of a singularly perturbed Cauchy problem, for an ordinary differential equation of the second order with constant coefficients, by the operator method.....	230
<i>Jakupov K.B.</i> Hook's law in the theory of elasticity of anisotropic bodies.....	241
<i>Kabyrbekov K. A., Ashirbaev H.A., Abdrahmanova H. K., Dzhumagalieva A.I., Kydybekova Zh.B.</i> Managing the implementation of laboratory work "Simulation of the electric field of a system consisting of dielectric triangles and long conductor charged" with using MATLAB software package	252
<i>Kabyrbekov K.A., Saidahmetov P.A., Omashova G.Sh., Tokzhigitova A.A., Abdikerova Zh.R.</i> The organization of performance of computer laboratory operation on examination of dependence of condensance of inductance coils from frequency of the alternating current.....	259
<i>Nysanbaeva S.K., Turlybekova G.K., Maylina Kh.R., Manabaev N.K., Omarov T.K., Myrzacheva F.T.</i> Research of the ultrasonic absorption coefficient in condensed states on acoustic interferometer.....	266
<i>Sereeter G., Dyusembina Zh.K.</i> Using modular technology at math lesson.....	274

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы *М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 27.07.2017.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
17,8 п.л. Тираж 300. Заказ 4.

Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19