

ISSN 2521-6368

Volume 6
Number 2
2022

Journal of Baku Engineering University

P H Y S I C S

Journal is published twice a year
Number - 1. June, Number - 2. December

An International Journal

<http://journal.beu.edu.az>

Founder

Havar Mammadov

Editor-in-chief

Niftali Qocayev

Co-Editor

Razim Bayramov

Editorial advisory board

Azer Ahmedov (Baku State University, Azerbaijan)
Cahangir Huseynov (Azerbaijan, Azerbaijan Pedagogical University)
Eldar Qocayev (Azerbaijan, Technical University)
Eldar Masimov (Azerbaijan, Baku State University)
Eyyub Guliyev (Azerbaijan, National Academy of Sciences)
Farhad Rustamov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Gulnara Akhverdiyeva (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)

Izzet Efendiyeva (Azerbaijan, Baku State University)
Larisa Ismayilova (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Kerim Allakhverdiyev (Azerbaijan, National Aviation Academy Of Azerbaijan)
Nadir Gahramanov (Azerbaijan, Baku State University)
Namiq Ahmedov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Sajida Abdulvahabova (Azerbaijan, Baku State University)

International Advisory board

Ahmed Abdinov (Azerbaijan, Baku State University)
Anar Rustamov (Germany, Hote Frankfurt University)
Ali Javan (USA, Massachusetts Institute of Technology)
Adil R. Abduragimov (USA, University of California, Los Angeles)
Amrulla Mamedov (Turkey, Bilkent Universit)
Faig Mikailzade (Turkey, Gebze Technical University, Kocaeli)
Gulshen Agayeva (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Irada Aliyeva (Azerbaijan, Baku State University)
Garib Murshudov (York Akademy, UK, London)
Hamed Sari-Sarraf (USA, Texas Technik University)
Eden Mamut (Romania, Black Sea Universities Network Center)
Elsen Veli Veliyev (Turkey, Kocaeli University)
Kamran T. Mahmudov (University of Lisbon, Portugal)
Kev Salihov (Tataristan, Kazan University)
Khalil Kälantär (Displays and Optical Technologies, Japan, Tokio)
Konstantin Voldemarovich Shaitan (Russia, Moskow State University)
M.Iqbal Choudhary (University of Karachi, Pakistan)
Natiq M. Atakishiyev (Universidad Nacional Antonoma de Mexico)
Nizami Gasanliy (Middle East Technical University, Turkey)
Oktai Gassumov (Azerbaijan National Academy of Sceince, Baku)
Oguz Gulseren (Bilkent University, Turkey)

Olgun Guven (Turkey, Hacettepe University)
Rasim Mamedov (Azerbaijan, Baku State University)
Rauf Jafarov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Sebahattin Tuzemen (Turkey, Ataturk University)
Sevim Akyuz (Turkey, Istanbul University)
S.V. Chernyshenko (Germany, Koblenz University)
Suleyman I. Allakhverdiev (Russian, Akademy Science, Moscow)
Svetlana Demuhamedova (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Takhmasib Aliyev (METU, Ankara, Turkey)
Taleh Yusifov (University of California, USA, Los Angeles)
Tariel Ismayilov (Azerbaijan, Baku State University)
Tarana Aliyeva (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Tarlan Efendiyev (Belarus, National Academy of Science)
Toshi Nagata (Japan, National Institute for Natural Science)
V. Thavasi (Singapore, National University of Singapore)
Vagif Nasirov (Azerbaijan, Azerbaijan Pedagogical University)
Vladimir Pashenko (Russia, Moskow State University)
Veli Gusseyinov (National Academy of Science, Baku, Azerbaijan)
Vladimir Gorbarchuk (Poland, Lyubel Polytechnic University)
Yusif Nurullayev (Azerbaijan, Baku State University)
Yusuf Sahin (Turkey, Ataturk University)

Executive Editors

Shafag Alizade

Assistant Editors

Ulker Agayeva
Lala Hajiyeva

Design

Ilham Aliyev

Contact address

Journal of Baku Engineering University
AZ0102, Khirdalan city, Hasan Aliyev str. 120, Absheron, Baku, Azerbaijan
Tel: 00 994 12 - 349 99 95 **Fax:** 00 994 12 349-99-90/91

e-mail: jr-physics@beu.edu.az

web: <http://journal.beu.edu.az>

facebook: [Journal Of Baku Engineering University](#)

Copyright © Baku Engineering University

ISSN 2521-6368

ISSN 2521-6368



Journal of Baku Engineering University

PHYSICS

Baku - AZERBAIJAN

Journal of Baku Engineering University

PHYSICS

2022. Volume 6, Number 2

CONTENTS

DEMONSTRATION OF THE TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR WITH ORIGAMI STRUCTURES FOR THE POWER SUPPLY OF PORTABLE ELECTRONIC DEVICES <i>Gulahmadov. O.G, Mamedov.H.M, and Jiseok Kim</i>	51
EFFECT OF SOME ALKALINE SALTS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF AGAROSE GEL <i>E.A. Masimov, A.R.Imamaliyev, A.H.Asadova</i>	58
РАСШИРЕННЫЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ПЯТИМЕРНОЙ ТЕОРИИ <i>Б.Г. Алиев</i>	67
SYNTHESIS AND PHOTOCONDUCTIVITY OF CRYSTAL InGaTe_2 <i>Ulker Abdurahmanova</i>	72
TERMİK BUXARLANMA ÜSULU İLƏ ALINMIŞ GaSe NAZİK TƏBƏQƏSİNİN STRUKTUR, MORFOLOJİ VƏ VOLT-AMPER XAREKTERİSTİKASININ TƏDQİQİ <i>Nurməmmədova Fəridə</i>	78
PEQ-LİMON TURŞUSUNUN NA DUZU-SU İKİFAZALI SİSTEMİNİN FAZALARININ FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQİQİ <i>Şahbazova G.M., Əliyev E.Z., Mirzəzadə A.V., Teymurova J.Z.</i>	83
MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏ MEXANİZMLƏRİ <i>G.G. Mirzayeva, A.S.Ələkbərov, R.B.Bayramli</i>	89
DIELECTRIC PROPERTIES AND IMPEDANCE OF SOLID SOLUTIONS $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$) <i>R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, R.B.Bayramli, R.SH. Rahimov, J.H. Jabbarov</i>	97
KREUTZ QRUPUNDA KOMET CÜTLÜKLƏRİ <i>Ə. S. Quliyev, H. Ə. Qasimov, R. Ə. Quliyev</i>	103

UOT: 666.11.017Pacs: 62.20. Qp, 61.41. +e, 77.55.+f, 73.50.-h

DEMONSTRATION OF THE TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR WITH ORIGAMI STRUCTURES FOR THE POWER SUPPLY OF PORTABLE ELECTRONIC DEVICES

GULAHMADOV. O.G*, MAMEDOV.H.M, AND JISEOK KIM

NanoResearch Laboratory of the Center for Excellence in Research, Development, and Innovation, Baku State University, Z.Khalilov str. 23, AZ-1148 Baku, Azerbaijan
ogulahmadov@bsu.edu.az

ABSTRACT

In connection with the development of science and technology, the creation of portable electronic devices and the development of convenient and safe sources of electrical energy for such devices are very important. The application of triboelectric nanogenerators (TENGs) as such energy sources is of great interest [1]. It is important to investigate the effect of increasing the contact areas of the materials used in TENGs on their output parameters. In this study, electrical measurements of single-layer and triple-layer TENGs based on nylon and polyurethane materials were performed and their effect on TENG performance was investigated. It has been determined that the TENG with a three-layer origami structure created to increase the contact areas gives better results. The current and voltage obtained from the single-layer TENG were 20 μ A and 200V, respectively, and 50 μ A and 290V, respectively, for the origami-structured TENG. The TENG prepared during the experiments was placed on the sole of the shoe and tests were performed on it. A scheme consisting of 25 LEDs was built and the illumination of such lamps was demonstrated during the experiment.

Keywords: triboelectric nanogenerator, polyurethane, nylon, dielectric material, thin films

PORTATİV ELEKTRONİK CİHAZLARIN ENERJİ TƏCHİZATINDA ORİQAMİ STRUKTURLU TRİBOELEKTRİK NANOGENERATORUN İSTİFADƏSİ

XÜLASƏ

Elm və texnologiyanın inkişafı ilə bağlı olaraq daşınabilən elektronik cihazların yaradılması, belə tip cihazlar üçün rahat və təhlükəsiz elektrik enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi çox aktualdır. Belə enerji mənbəyi kimi triboelektrik nanogeneratorların (TENG) tətbiqi böyük maraq doğurur [1]. TENG-lərdə istifadə olunan materialların kontakt sahələrinin artırılmasının onun çıxış parametrlərinə təsirinin araşdırılması vacibdir. Bu işdə neylon və poliuretan materialları əsasında yaradılan birqatlı və üçqatlı TENG-lərin elektrik ölçmələri aparılmış və onların TENG-in performansına təsiri araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, kontakt sahələrinin artırılması məqsədi ilə yaradılan üçqatlı ibarət oriqami strukturlu TENG daha yaxşı nəticələr verir. Birqatlı TENG-dən əldə olunan cərəyan və gərginlik uyğun olaraq 20 mKA və 200V, oriqami strukturlu TENG üçün isə uyğun olaraq 50 mKA və 290V olmuşdur. Təcrübələr zamanı hazırlanmış TENG ayaqqabının daban hissəsinə yerləşdirilmiş və üzərində testlər həyata keçirilmişdir. 25 ədəd LED-dən ibarət sxem qurulmuş və təcrübə zamanı belə lampaların işqalandırılması nümayiş olunmuşdur.

Açar sözlər: triboelektrik nanogenerator, poliuretan, neylon, dielektrik material, nazik səthlər

ДЕМОНСТРАЦИЯ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАНОГЕНЕРАТОРА С КОНСТРУКЦИЯМИ ОРИГАМИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

РЕЗЮМЕ

В связи с развитием науки и техники большое значение имеют создание портативных электронных устройств и разработка удобных и безопасных источников электрической энергии для таких устройств. Применение в качестве такого источника энергии трибоэлектрических наногенераторов (ТЭНГ) представляет большой интерес [1]. Важно исследовать влияние увеличения площади контакта материалов, используемых в ТЭНГ, на их выходные параметры. В этом исследовании были выполнены электрические измерения однослойных и трехслойных ТЭНГов на основе нейлоновых и полиуретановых материалов и

исследовано их влияние на характеристики ТЭНГов. Определено, что лучшие результаты дает ТЭНГ с трехслойной структурой оригами, созданный с целью увеличения площадей контакта. Ток и напряжение, полученные для однослойного ТЭНГ, составляли 20 мкА и 200 В соответственно, а для ТЭНГ со структурой оригами — 50 мкА и 290 В соответственно. Приготовленный в ходе экспериментов ТЭНГ помещали на подошву обуви и проводили на нем испытания. Была построена схема, состоящая из 25 светодиодов, и в ходе эксперимента было продемонстрировано свечение таких ламп.

Ключевые слова: трибоэлектрический наногенератор, полиуретан, нейлон, диэлектрический материал, тонкие пленки

1. Introduction

In modern times, the increasing demand for the use of portable electronic devices (smartphones, video cameras, laptops, smartwatches, navigators, power banks, etc.) in everyday life opens wide opportunities for people to use such devices conveniently, safely, and efficiently [2-4]. The fact that such systems are very relevant today, in parallel, forms new directions in providing them with electricity. Traditionally, the electric power supply is carried out through batteries. However, the main problem is that the batteries do not have a long life. Also, the environmental problems caused by such batteries after use have increased the interest of researchers in safer and more convenient sources of energy.

In recent years, the triboelectric nanogenerator (TENG) has been proven to be a promising way to collect energy efficiently and comfortably from the environment [1]. The TENG is a versatile way to harvest energy from various sources in human daily life, including human mechanical motions, water waves, and wind [2,3]. TENGs convert mechanical energy into electricity by using contact electrification and electrostatics [4-6]. The contact surface of one material is charged positively and that of the other material is charged negatively when two materials contact and separate. And the induced charges stay on the surface of materials as electrostatic charges when the two materials are non-conductive. Electric current flows between them when they are connected to electrodes [17,18]. TENGs have such a simple mechanism of operation compared to other energy harvesting systems and can harvest electricity from all the mechanical energy sources. And triboelectricity is generated theoretically when any two materials contact and separate. Thus, TENGs can be produced very cheaply [8-12].

Triboelectric nanogenerators (TENGs) can play a large role in supplying power to portable electronic devices [4,9]. The fact that triboelectric nanogenerators have a wide range of applications leads to their rapid development and the creation of new types of structures and TENG-based sensors. Sensors of this type facilitate the acquisition of information related to the movement of people and the environment (pressure, temperature, humidity, wind speed, etc.) in everyday life [8-10]. In addition, TENGs can conveniently and safely generate electricity from mechanical and wind energy sources in military technology, camping life, and research at various heights (mining, demarcation, mountaineering, etc.). Also, the use of TENGs in seaports and water technologies enables the continuous power supply of portable devices due to the energy of water waves. The cost of the current obtained using triboelectric nanogenerators is low [11]. Research works have been carried out to increase the output of electricity TENGs. To increase the output parameters of triboelectric nanogenerators, increasing the contact areas of triboelectric materials is the main priority direction. For this purpose, it is considered appropriate to create and use origami structures using more layers

[16]. Thus, with the increase in the number of layers, more contact leads to an increase in the number of charge carriers formed on the surface of the materials. This, in turn, leads to an increase in current and ultimately to an increase in the output power of the TENG [13,15].

This research work developed a three-layer origami structure TENG using nylon and polyurethane films. Comparisons were made between electrical measurements of a single-layer triboelectric nanogenerator and measurements of a three-layer TENG with an origami structure. The obtained electrical measurements show that the TENG with the origami structure gives better results. So, the voltage and current received in such systems are higher. This leads to an increase in the output power of the triboelectric nanogenerator.

2. Experience and materials

2.1 Fabrication of triboelectric films

Nylon (nylon socks, nylon 100%) and polyurethane (PU) were used as triboelectric materials. A nylon double-sided adhesive is attached to the pre-made aluminum foil. Then, on the next day, 5x6 cm layers are cut and removed. In the same way, PU is applied to aluminum foil by drop casting and dried at room temperature for a day. After drying, 5x6 cm sheets are cut and a triboelectric nanogenerator is created together with nylon. The obtained triboelectric materials are shown in Figure 1a.



Figure 1. a) description of nylon and PU materials b) description of TENG with origami structure

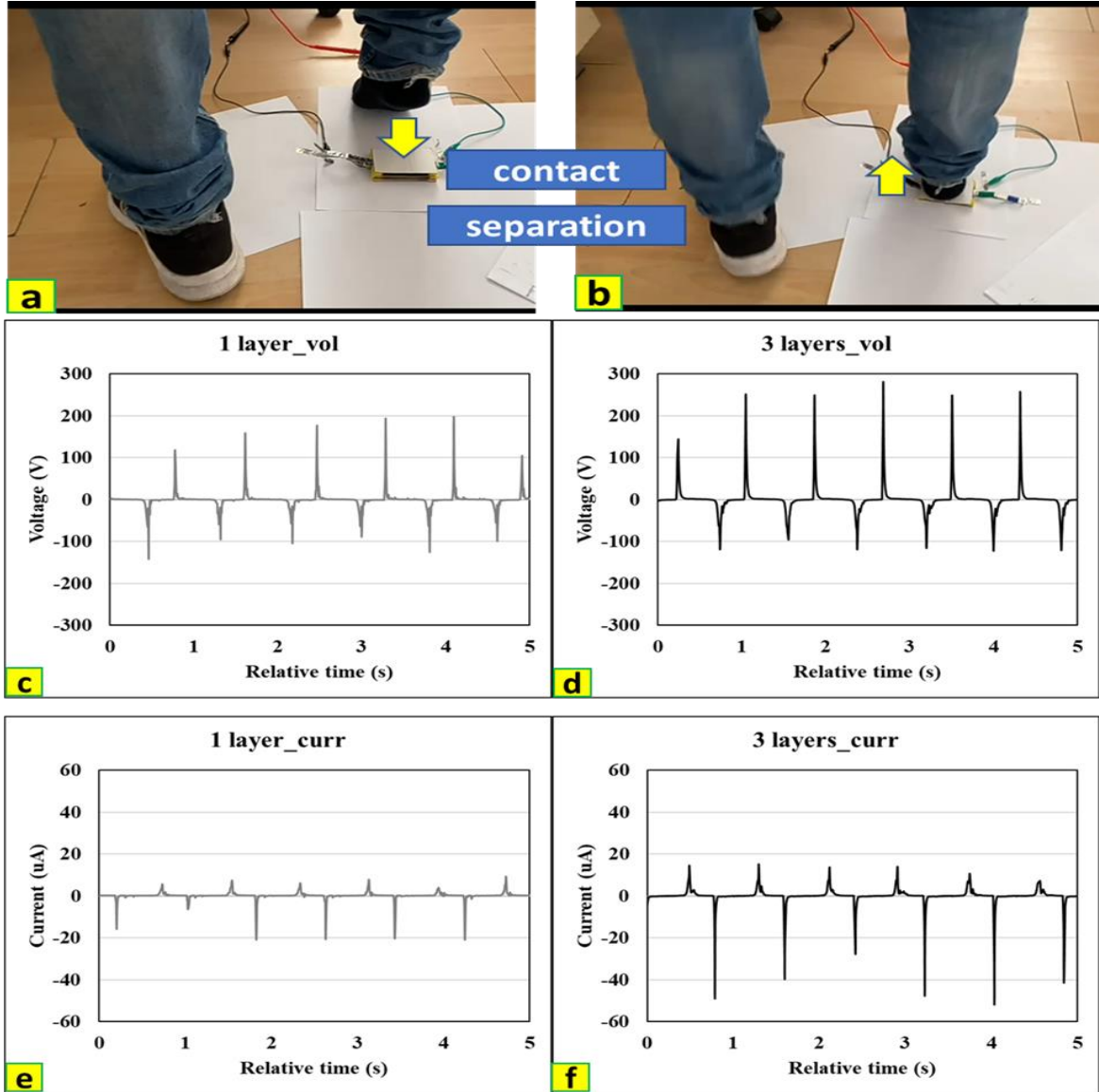


Figure 2. a) carrying out tests on the triboelectric nanogenerator (separation mode) b) carrying out tests on the triboelectric nanogenerator (contact mode) c) voltage graph of a single-layer triboelectric nanogenerator d) voltage graph of a three-layer triboelectric nanogenerator e) voltage graph of a single-layer triboelectric nanogenerator f) current graph of a single-layer triboelectric nanogenerator

2.2 Fabrication of triboelectric nanogenerator and measurement equipment

Nylon and PU are used as dielectric materials and aluminum foil as metal electrodes in the manufacture of triboelectric nanogenerators. Nylon and PU are considered good triboelectric pairs because of their distance from each other in the triboelectric series [14]. Samples of both materials measuring 5.5x6 cm are cut and glued to the pre-prepared Al foil using double-sided glue. A schematic representation of the fabricated structure is shown in Figure 1b.

Tests on a triboelectric nanogenerator based on PU and nylon materials were performed using a digital multimeter (DMM6500 6-1 / 2 digit multimeter, Keithley). Temperature and relative humidity during the analysis were 28 ° C, and 45%, respectively.

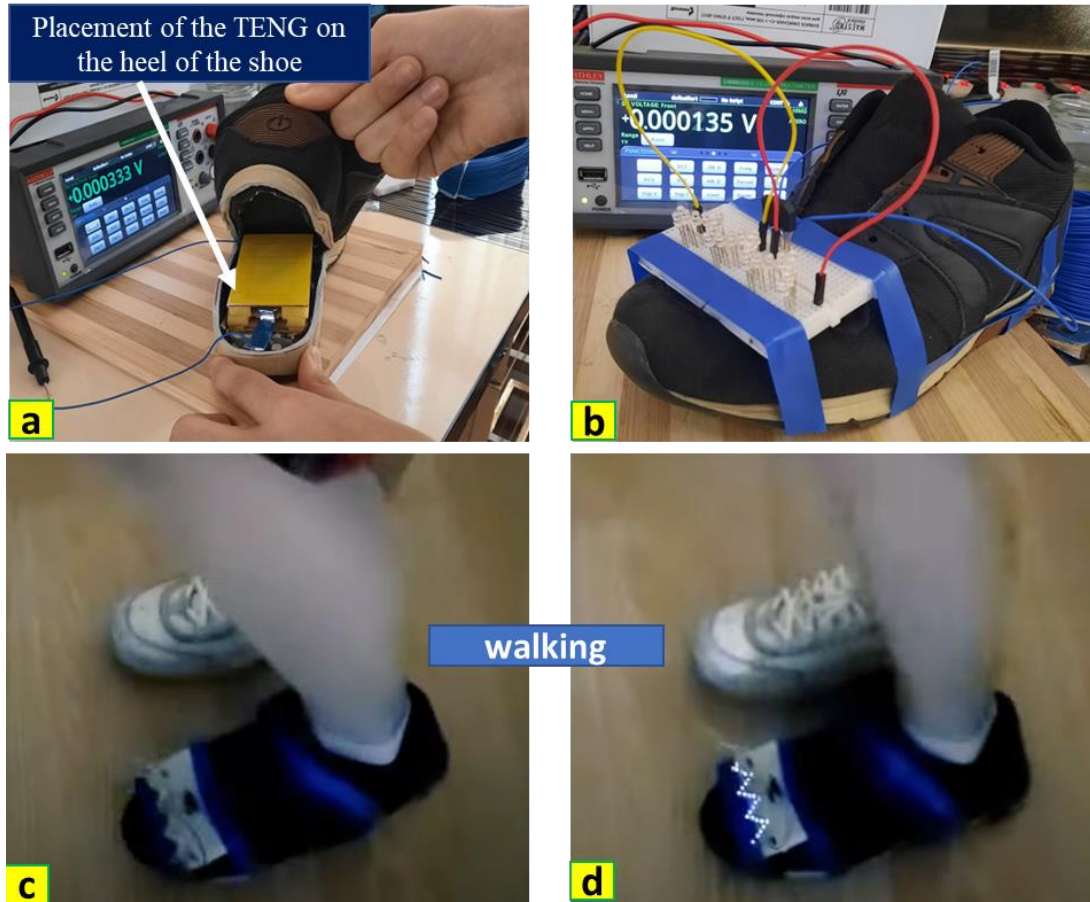


Figure 3. a) The process of placing the TENG on the heel of the shoe b) Assembling the circuit of 25 LEDs c) Conducting tests on the TENG placed on the heel of the shoe (separation mode) d) Conducting tests on the TENG placed on the heel of the shoe (contact mode)

3. Results and discussion

A triboelectric nanogenerator made of nylon and PU films, and Al foil as an electrode, is placed in the heel part. Figure 2a and Figure 2b show the testing process. When conducting electrical measurements on a single-layer triboelectric nanogenerator, it was determined that the maximum voltage value for such a system was 200V, as shown in Figure 2c. As shown in Figure 2d, when using the origami structure, the voltage value increased to 290 V. It is clear from the graph shown in Figure 3e that the maximum value of the current of the single-layer triboelectric nanogenerator was 20 μA . In the case of a triple origami structure, it is known from the experiment that the maximum value of the current increases to 50 μA , as shown in Figure 2f. So, it is clear from all these graphs that the value of voltage and current increased when using a triboelectric nanogenerator with an origami structure. This can be explained by the fact that the number of surface charge carriers increases due to the increase in contact areas in the case of a multilayer compared to a single-layer structure [16,17]. This, in turn, leads to an increase in the price of electricity. Due to the increase in the number of charges of the opposite sign collected on the surface, the number of free electrons generated at the electrodes increases. This leads to an increase in the potential difference.

In order to investigate the application of the triboelectric nanogenerator, the prepared origami TENG was placed on the heel part of the shoe insole as shown in Figure 3. Later, an electric circuit was built, and a bridge rectifier was used. Using 25 LEDs, the circuit was

assembled and tested on the front part of the shoe as shown in Figure 3b. After placing the origami-structured TENG in the heel part of the shoe, the generation of electricity from the TENG has been verified by turning on LEDs as a person walks in the shoe as shown in Figures 3c and 3d. In Figures 3c and 3d, the LED lights are observed to blink. Thus, the process of TENG generating electricity during human movement has been successfully implemented. Figure 3 shows all these processes.

4. Conclusion

The presented work developed a triboelectric nanogenerator consisting of nylon and polyurethane materials. The application of such systems in portable electronic devices as a power source in the future shows great promise. During the experiments on the single-layer triboelectric nanogenerator, 200 V and 20 μ A were determined for the maximum values of voltage and current, respectively. A triboelectric nanogenerator with a triple origami structure increases the maximum voltage and current values, which are 290V and 50 μ A, respectively. This increase in voltage and current values can be explained by the increase in contact areas in multilayer structures. The results again show that more contact areas can be achieved by introducing origami structures, which ultimately leads to an increase in the output power of the TENG. The use of origami structures has a positive effect on the output performance of the triboelectric nanogenerator.

Acknowledgments

We appreciate Baku State University for supporting our study.

REFERENCES

1. Wu, Changsheng, et al. "Triboelectric nanogenerator: a foundation of the energy for the new era." *Advanced Energy Materials*. 2019, v. 9, p. 1-25.
2. Chen, Aihua, et al. "Polymer materials for high-performance triboelectric Nanogenerators". *Advanced Science*. 2020, v. 7, p. 1-25.
3. Fan, Feng-Ru, Zhong-Qun Tian, and Zhong Lin Wang. "Flexible triboelectric generator." *Nano Energy*. 2012, v. 1, p. 328-334.
4. Kim, M.P., Um, D.S., Shin, Y.E. et al. High-Performance Triboelectric Devices via Dielectric Polarization: A Review. *Nanoscale Res Lett* 16. 2021, v.35
5. Z.L. Wang, A.C. Wang. On the origin of contact-electrification. *Mater. Today*. 2019, v. 30, p. 34–51.
6. Zi, Yunlong, et al. "Standards and figure-of-merits for quantifying the performance of triboelectric nanogenerators." *Nature communications*. 2015, v. 6, p. 1-8.
7. Daewon Kim., Il-Woong Tcho., Yang-Kyu Choi. Triboelectric nanogenerator based on rolling motion of beads for harvesting wind energy as active wind speed sensor. *Nano Energy*. 2018, v. 52, p. 256-263.
8. Gulahmadov, Orkhan, Mustafa B. Muradov, and Jiseok Kim. "Gait analysis by using electric signals from a triboelectric nanogenerator." *Engineering Research Express*. 2022, v. 4, p. 1-8.
9. LináWang, Zhong. "Triboelectric nanogenerators as new energy technology and self-powered sensors–Principles, problems and perspectives." *Faraday discussions*. 2014, v. 176, p. 447-458.
10. Wang Z. L., Zhu G., Yang Y., Wang S. H., Pan C. F. Progress in Nanogenerators for Portable Electronics. *Mater. Today*. 2012, v. 15, p. 532–543.
11. Zhou, Linglin, et al. "Triboelectric nanogenerators: fundamental physics and potential applications." *Friction*. 2020, v. 8, p. 481-506.
12. Jiseok Kim., Orkhan Gulahmadov., Mustafa B. Muradov. Enhancement of performance of triboelectric generators by introduction of micro- and nano-structures on triboelectric films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2021, v. 32, p. 24661–24680.
13. Tao, Kai, et al. "Origami-inspired electret-based triboelectric generator for biomechanical and ocean wave energy harvesting." *Nano Energy*. 2020, v. 67, p. 1-24.
14. Zou, H., Zhang, Y., Guo, L. et al. Quantifying the triboelectric series. *Nature Communications*. 2019, v. 10, p. 1-9.
15. Chung, Jihoon, et al. "Triangulated cylinder origami-based piezoelectric/triboelectric hybrid generator to harvest coupled axial and rotational motion." *Research*. 2021, v. 2021, p. 1-9.
16. Tao, Kai, et al. "Miura-origami-inspired electret/triboelectric power generator for wearable energy harvesting with water-proof capability." *Microsystems & Nanoengineering*. 2020, v. 6, p. 1-11.
17. Xi, Yinhu, Fan Zhang, and Yijun Shi. "Effects of surface micro-structures on capacitances of the dielectric layer in triboelectric nanogenerator: A numerical simulation study." *Nano Energy*. 2021, v. 79, p. 1-21.
18. Lin, Shiquan, et al. "Electron transfer in nanoscale contact electrification: effect of temperature in the metal-dielectric case." *Advanced Materials*. 2019, v. 31, p. 1-9.

UOT: 532PACS: 77.22.Ej, 64.75.Bc, 31.70.Dk, 61.70.Og

EFFECT OF SOME ALKALINE SALTS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF AGAROSE GEL

E.A. MASIMOV, A.R. IMAMALIYEV, A.H. ASADOVA

Baku State University

aynurasadova19@gmail.com

ABSTRACT

The effect of agarose concentration as well as of alkaline salts (NaCl, KCl and CaCl₂) on some rheological properties, such as yield stress, lowest Newtonian viscosity, etc., was studied using a rotation viscometer. Increasing the concentration of agarose leads to an increase in the values of mentioned quantities. Adding these salts to the gel in small amounts (0.2%) significantly increases its viscosity. The salts also increase the value of the yield strength, but to a different degree. NaCl almost does not change the yield strength, CaCl₂ appreciably, and KCl strongly increase this parameter. The temperature dependences of the lowest Newtonian viscosity are considered and the activation energies of each composition are determined. A discussion of the results based on current agarose gel models is given.

Key words: agarose, alkaline salts, rheological properties, Newtonian viscosity, yield stress

AQAROZA GELİNİN REOLOJİ XASSƏLƏRİNƏ BƏZİ QƏLƏVİ DUZLARIN TƏSİRİ

XÜLASƏ

Fırılma viskozimetrindən istifadə etməklə aqarozanın konsentrasiyasının, eləcə də qələvi duzların (NaCl, KCl və CaCl₂) bəzi reoloji parametrlərə məsələn, axma gərginliyi, ən aşağı Nyuton özlülüyü və s., təsiri tədqiq edilmişdir. Aqarozanın konsentrasiyasının artması qeyd olunan kəmiyyətlərin dəyərlərinin artmasına səbəb olur. Bu duzları gəl əz miqdarda (0,2%) əlavə edilməsi onun özlülüyünü əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Duzlar axma gərginliyinin qiymətini də artırır, lakin fərqli dərəcədə. NaCl demək olar ki, axma gərginliyini dəyişməyir, CaCl₂ nəzərəcarpaq dərəcədə və KCl bu parametri güclü şəkildə artırır. Ən aşağı Nyuton özlülüyünün temperaturdan asılılıqları nəzərdən keçirilir və hər bir tərkibin aktivləşmə enerjiləri müəyyən edilir. Cari aqaroza geli modelinə əsaslanan nəticələrin müzakirəsi verilir.

Açar sözlər: aqaroza, qələvi duzlar, reoloji xassələr, Nyuton özlülüyü, sürüşmə modulu

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ЩЕЛОЧНЫХ СОЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГАРОЗОВОГО ГЕЛЯ

РЕЗЮМЕ

Влияние концентрации агарозы, а также щелочных солей (NaCl, KCl и CaCl₂) на некоторые реологические свойства, такие как предел текучести, минимальная ньютоновская вязкость и др., изучали с помощью ротационного вискозиметра. Увеличение концентрации агарозы приводит к увеличению значений указанных показателей. Добавление этих солей в гель в небольших количествах (0,2%) значительно увеличивает его вязкость. Соли также увеличивают величину предела текучести, но в другой степени. NaCl почти не изменяет предел текучести, CaCl₂ заметно, а KCl сильно увеличивает этот показатель. Рассмотрены температурные зависимости низшей ньютоновской вязкости и определены энергии активации каждого состава. Дано обсуждение результатов, основанных на современных моделях агарозного геля.

Ключевые слова: агароза, щелочные соли, реологические свойства, Ньютоновская вязкость

INTRODUCTION

Some polymer solutions and colloids transit into a gel state below some critical temperature and at a certain concentration interval of polymer (or colloidal particles). The main feature of gels is that they retain their shape (or lose their fluidity) under small mechanical stresses. Gels, as a special state of matter, attract great scientific interest. This is confirmed by modern monographs devoted to this subject [1-4]. Due to their unique mechanical properties, gels are widely used in materials science, food technology, biotechnology, cosmetology, etc. These include ceramic technology (manufacturing of thin parts using a 3D printer), pharmacology (storage, prolongation of action and targeted transport of drugs), organ engineering (replacement of some organs such as bones, teeth, cartilage and soft tissue with appropriate biocompatible artificial organs) etc. [5,6].

Many famous scientific centers and research groups in the world are conducting important research on the properties and practical applications of biopolymer gels because of their biocompatibility with the human body. These works can be divided into two groups.

Works of purely research nature. For example, works [7-9] investigate the influence of associates of different levels on the dynamic rheological properties of an agar gel. The works [10, 11] experimentally investigated the dependences of storage and loss moduli of such polysaccharide gels as rhamosan, wellan gum on temperature and concentration of the polymer. A group of researchers from Yale University studied the effect of inorganic salts on the viscoelastic properties of an alginate gel [12]. In [13] the effect of concentration and size of air bubbles on the rheological properties of an agar gel was investigated. In [14], the kinetics of the gel formation process was studied using the methods of dynamic light scattering and shear oscillation rheology. In the work of Richter et al [15], by using original rheomechanical and rheooptical methods, it was possible to measure the rheological properties and acquire valuable information about the microstructure of polysaccharide gels. Another group [16] investigated the dependence of the rheological properties of agar gel on the origin, molecular weight, and concentration of the agar. The change in the transmission spectrum of agarose gel with increasing and decreasing of temperature gives us certain information about the process of decomposition and formation of the gel network [17].

The following works can be noted as bright examples of purely applied research. A biomaterial made on the basis of alginate hydrogel makes it possible to successfully replace the damaged part of the heart in case of a massive infarction [18]. In recent years, "smart hydrogels" based on polyelectrolytes can claim to be in the list of promising materials in terms of developing artificial muscles [19, 20].

The use of the gel in solving a specific practical problem requires a certain selection of its rheological parameters (elastic constants, strength, viscosity, etc.). And to purposefully adjust the values of these parameters it is necessary to study the effect of various additives (inorganic salts, micro- and nanoparticles, etc.) introduced into the gel medium on the specified properties of the gel. In this work, the effect of temperature and some alkaline salts (NaCl, KCl and CaCl₂) on the rheological properties (yield stress and structural viscosity) of agarose hydrogel was studied using a rotation viscometer.

EXPERIMENT

High-purity powdered agarose used in the experiment was purchased from the firm HISPANAGAR and acquires. Agarose has a high gel-forming ability in aqueous medium. According to our estimates, the critical concentration of agarose gel formation is 0.14 %.

The main structural unit of agarose is the agarobiose disaccharide, the chemical structure of which is shown in Figure 1.

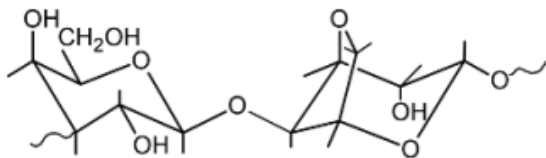


Figure 1.

The agarose gels were prepared according to the following scheme. Agarose powder was weighed in ADAM PW 124 scales (0.1 mg accuracy), added to bidistilled water, and kept for 24 h to swell the agarose. The mixture is then heated to 95 °C and the resulting homogeneous solution is cooled to room temperature. Transition to the gel state is accompanied by a loss of fluidity and transparency of the solution.

The rotational viscometer [21] used in this experiment consists of two coaxial cylinders with radii R_1 and R_2 . The rotation of the outer cylinder in relation to the inner one causes the shear deformation. The value of

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{\phi R_1}{(R_2 - R_1)t} \quad (1)$$

is taken as shear rate. ϕ is the angle of rotation of outer cylinder for time of t .

принимается как скорость сдвига, где - угол поворота внешнего цилиндра за время t .

The mechanical stress is created by a discrete set of weights and is defined by the expression

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi R_1 h} \quad (2)$$

Here R_1 is the radius of the inner cylinder, m is mass of the load, g is the free fall acceleration.

RESULTS

The rotational viscometer allows to study the flow curve (dependence of shear rate on mechanical stress), with the help of which some important rheological properties of the gel can be determined: the yield stress, as well as plastic and structural viscosity. The characteristic shape of the gel flow curve is shown in Fig. 1.

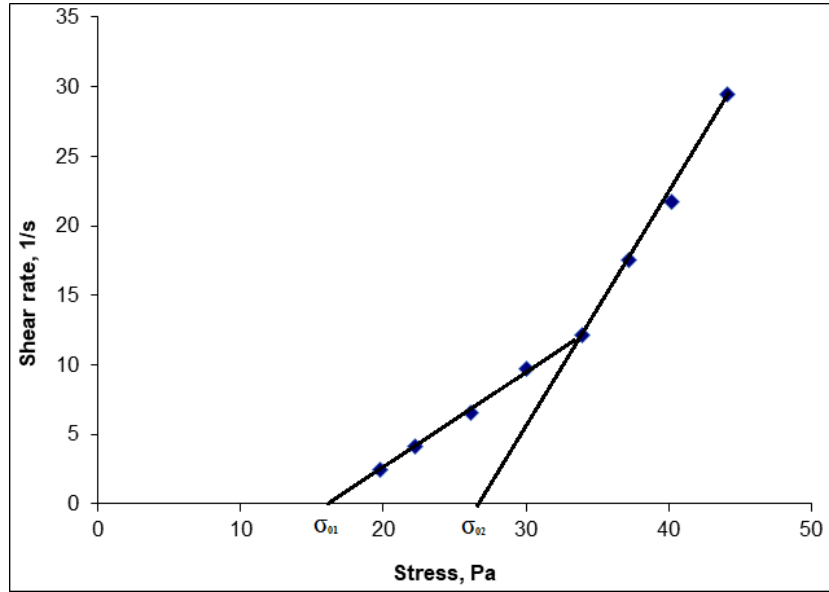


Fig.1

Analysis of this curve shows that

1) gel flow has a threshold character, i.e. gel starts flowing after the stress exceeding some critical value σ_{01} ;

2) the flow curve consists of two lines with different slopes: in the low-stress region the line is described by the equation

$$\sigma = \eta_{p1}\dot{\gamma} + \sigma_{01} \quad (3)$$

and by the equation in the high voltage region

$$\sigma = \eta_{p2}\dot{\gamma} + \sigma_{02} \quad (4)$$

In this case the regularities are fulfilled. $\eta_{p2} > \eta_{p1}$ и $\sigma_{02} > \sigma_{01}$.

In other words, in each region the gel behaves like a Bingham fluid with different values of yield stress σ_0 and plastic viscosity η_p .

The quantity

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (5)$$

is called the apparent or structural viscosity.

The dependence of structural viscosity on stress carries certain information about the structure of complex liquids. A similar dependence for 0.5% agarose gel is shown in Fig. 2. As expected, the structural viscosity decreases with increasing tension and tends to a constant value called the lowest Newtonian viscosity at high tension values.

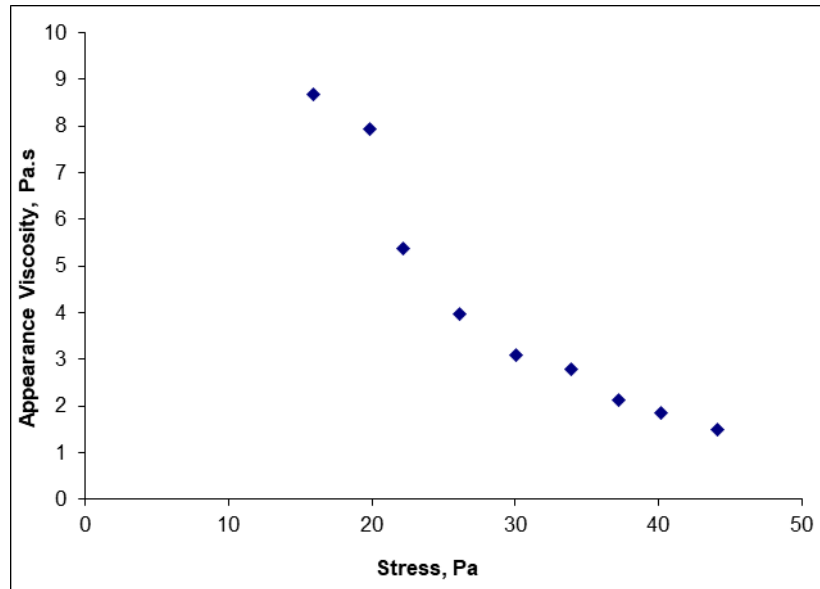


Fig.2

In the experiment we measured the effect of the concentration of agarose and inorganic salts NaCl, KCl and CaCl₂ added in an amount of 0.2 % on the above rheological properties of the agarose gel. The obtained results are shown in Table 1.

Table 1

Gel composition	σ_{01}, Pa	σ_{02}, Pa	$\eta_{\infty}, Pa \cdot s$
Agarose 0.2%	12	21	0.45
Agarose 0.5%	16	24	0.65
Agarose 1%	25	33	0.9
Agarose 0.5%+0.2%KCl	32	47	2.2
Agarose 0.5%+0.2%NaCl	14	17	2.7
Agarose 0.5%+0.2%CaCl ₂	23	32	5.8

As follows from the Table 1:

- 1) yield stresses and structural viscosity increase with increasing agarose concentration;
- 2) the addition of NaCl almost does not change the first yield stress σ_{01} , but slightly reduces the second yield stress σ_{02} and significantly increases the lowest Newtonian viscosity η_{∞} ;
- 3) the addition of KCl significantly increases the values of all of these values;
- 4) addition of CaCl₂ weakly increases the value of critical stresses and strongly (by an order) increases the value of structural viscosity.

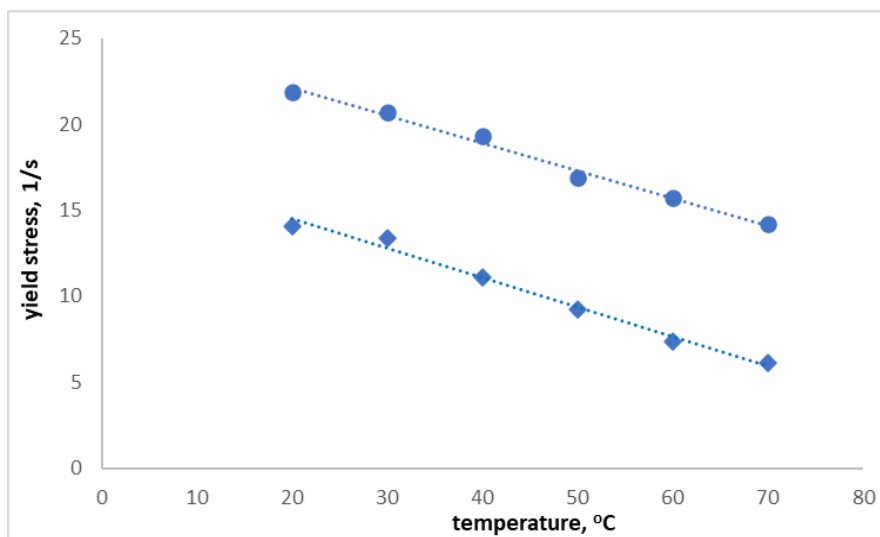


Fig.3

The values of mentioned rheological quantities also change with temperature. Temperature dependences of these quantities are shown in Figures 3 and 4, respectively. As can be seen from Fig. 3, critical stresses decrease almost linearly with increasing temperature. The lowest Newtonian viscosity also decreases with increasing temperature (Fig. 4). Plotting of this dependence in logarithmic scale (dependence of $\ln \eta$ on $\frac{1000}{T}$) gives the straight line (Fig. 5) showing that the temperature dependence of the lowest Newtonian viscosity obeys to Arrhenius law

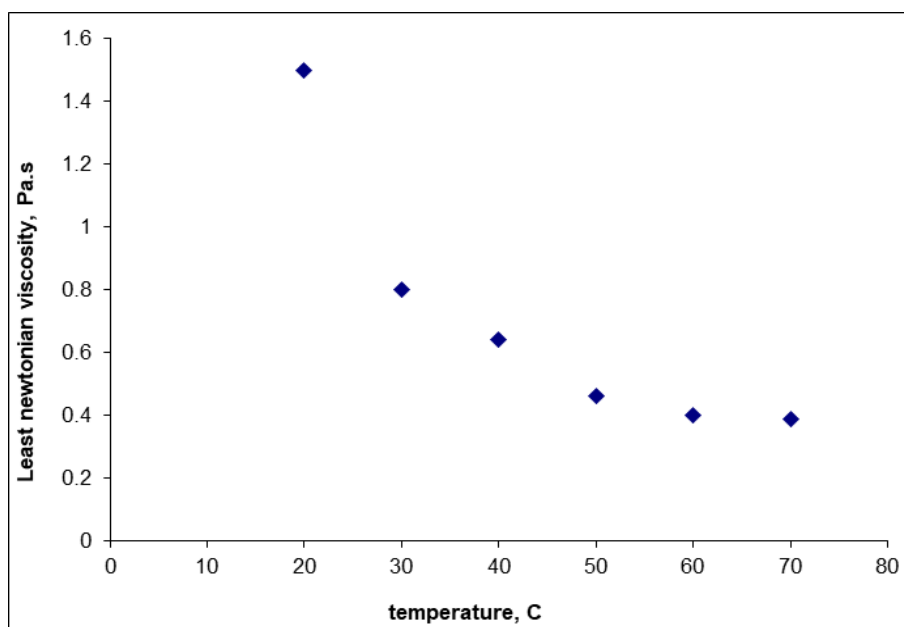


Fig.4

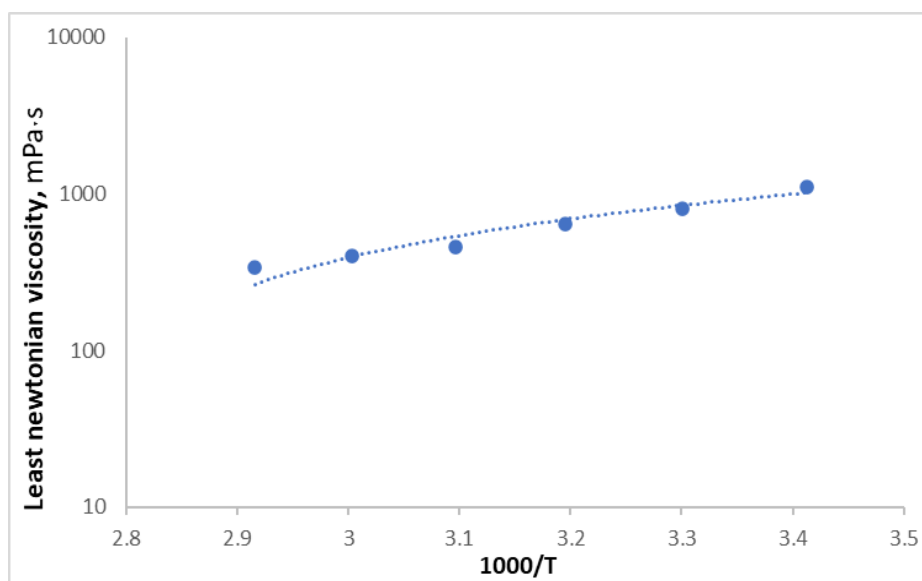


Fig.5

$$\eta_{\infty} = \eta_0 e^{E_a/RT} \quad (6)$$

where E_a is the activation energy of the viscous flow. R is the molar gas constant.

It is not difficult to determine the value of the activation energy E_a from the slope of this curve. The effect of selected additives on the value of the activation energy is shown in Table 2. As can be seen from the table

Table 2

Состав геля	E_a , кДж·моль
0,5% -й агар	58
0,5% -й агар +0,2%NaCl	67
0,5% -й агар +0,2%KCl	41
0,5% -й агар+0,2%CaCl ₂	107

- 1) NaCl increases the value of the activation energy;
- 2) KCl decreases the activation energy;
- 3) CaCl₂ sharply increases the value of this value;

DISCUSSIONS

The observed experimental data can be explained on the basis of existing models. The reason that makes the gel hard, i.e. its form preservation, is the existence of network that covers its whole volume [1,3]. According to modern models the network of agarose gel consists of individual associates of double helices and cross-links connecting these associates [8,9,16]. Associations in agarose gel are clusters of bispirals connected by hydrogen bonds. That's why, agarose gel belongs to thermoreversible physical gels, where bonds between associates have a fluctuational nature (with a finite lifetime). Experiments on light scattering [22], as well as atomic force microscopy [23] make it possible to estimate the average size of these associates. It is of the order of 0.1-1 μm .

The fact that the flow curve consists of two straight lines is due to the fact that the gel reacts differently to external mechanical action in the areas of low and high stress. The flow, i.e. irreversible deformation of the gel requires destruction of the network by breaking bonds between associates, which occurs above a certain threshold value (σ_{01}) of the mechanical stress applied to the gel. At even higher stresses exceeding σ_{02} large associates are crushed into small ones and gel flow becomes easier. σ_{01} and σ_{02} can be named critical stresses of cross-links breakage and associates breakage respectively. They are found from the intersection of lines marked in Fig. 1 with the σ -axis.

The tending of viscosity to a constant value at high stresses (Fig. 2) shows that gel associates are crushed to a certain minimum size and are not destroyed further. It is natural to assume that the value of the lowest Newtonian viscosity is determined by the number and average size of these associates after fragmentation.

The increase in first critical (yield) stress σ_{01} with increasing of the agarose concentration (Table 1) shows that an increase in the number of polymeric molecules leads to an increase in the number of cross-links between associates, and an increase in second critical stress σ_{02} is associated with an increase in the average size of associates. Since the growth of σ_{02} is relatively weak compared to σ_{01} , we can state that with the increase of agarose concentration the number of associates mainly increases rather than their size.

Based on the presented model and the data in Table 2, it can be argued that the addition of the sodium salt leads to an increase in the size of the associates. Potassium salt decreases the size of associates but increases the number of cross-links between them. Calcium salt sharply increases the number and size of associates, but also slightly increases the number of bonds between them.

Thermal motion leads to a decrease in the stability of the associates and the bonds between them, which is reflected in a decrease in critical stresses with increasing temperature (Fig. 3).

Inorganic salts have the same effect on the values of the lowest Newtonian viscosity as well as the activation energy of the viscous flow, showing that the values of these quantities are related to the same interaction.

CONCLUSION

The analysis of the results of the conducted work shows that there is a possibility of purposeful control of the rheological properties of the agarose gel by changing its micro-structure (the number and size of associates forming the gel) with the help of alkaline salts.

REFERENCES

1. Gels Handbook, ed. by Y. Osada and K. Kajiwara, 3 volume set, 2001, 1478p
2. Polymer Gels: Perspectives and Applications ed by V. K. Thakur, M. K. Thakur, S. I. Voicu, Springer, 2018, 419p
3. M. Djabourov, K. Nishinary, S.B. Ross-Murphy – Physical Gels from Biological and Synthetic Polymers, Cambridge University Press, 2018, 368 p
4. Physics of Polymer Gels, ed. by T. Sakai, Wiley-VCH, 2020, 287p
5. Y. Osada, J. P. Gong, Y. Tanaka, Polymer Gels, Journal of Macromolecular Science, Part C - Polymer Reviews, Vol. C44, No. 1, pp. 87–112, 2004
6. R.M. Ottenbrite, K. Park, T. Okano - Biomedical Applications of Hydrogels Handbook, Springer, 2010, 453p.
7. K.C. Labropoulos, S. Rangarajan, D. E. Niesz, S. C. Danforth - Dynamic Rheology of Agar Gel Based Aqueous Binder, Journal of American Ceramic Society, 2001, 84, 6, 1217
8. K.C.Labropolus, D.E.Niesz, S.C.Danforth, P.G.Kevrekidis - Dynamic rheology of agar gels: theory and experiments. Part I. Development of a rheological model, Carbohydrate Polymers, 2002, 50, p.393-406
9. K.C.Labropolus, D.E.Niesz, S.C.Danforth, P.G.Kerrehidis - Dynamic rheology of agar gels: theory and experiments. Part II: gelation behavior of agar sols and fitting of a theoretical rheological model, Carbohydrate Polymers, 2002, 50, p.407-415
10. E.A.Foegeding, C.Gonzales, D.D.Hamann, S.Case - Polyacrylamide gels as elastic models for food gels,, Hydrocolloids, 1994, 8(2), p.125-134
11. U.Florjaneie, M.Zumer – Influence of Temperature and Polymer Concentration on Rheological properties of RHAMSAN, Acta. Chem. Slov, 1998, 45 (4), p.407
12. U.Florjaneie, M.Zumer – Influence of Temperature and Polymer Concentration on Rheological properties of RHAMSAN, Acta. Chem. Slov, 1998, 45 (4), p.419
13. A.J. de Kerchove, M.Elimelech – Macromolecules, Structural growth and viscoelastic properties of adsorbed alginate layers in monovalent and divalent salts, 2006, 39, p.6558-6577
14. K.A.Ross, L.J.Pyrak-Nolte, O.H.Campanella - The effect of mixing conditions on the material properties of an agar gel - microstructural and macrostructural considerations, Hydrocolloids, 2006, 20, p.79-87
15. W. Richtering, K.D. Gagnon, R.W. Lenz, R.C. Fuller, H.H. Winter. – Physical gelation of a bacterial thermoplastic elastomer, Macromolecules, 1992, 25, p.2429-2933
16. Kh. Lahrech, A. Safonane, J. Peyerellase – Sol State Formation and Melting of Agar Gels Rheological Study, Physica A, 2005, 358, p.205
17. Masimov E.A., Imamaliyev A.R., Asadova A.H. – Spectrophotometric investigation of gelformation in water solution of agar, Modern Physics Letters B, 2020, 2050147-1
18. J. Leor, S. Cohen – Miocardial Tissue Engineering: Creation of Muscle Patch for a Wounded Heart, Annals of New York Academy of Sciences, 2004, 1015, p.312
19. N. Park and J. Kim, Hydrogel-Based Artificial Muscles: Overview and Recent Progress, Adv. Intell. Syst. 2020, 190013
20. K. Jilie, M. Li, Smart Hydrogels, (Smart Polymers: Applications in Biotechnology and Biomedicine, Edited By I. Galaev, B. Mattiasson), 2007, 247-268
21. Howard A. Barnes – A Handbook of Elementary Rheology, 2000, University of Wales, 212p
22. Burchard W (1992). Static and dynamic light scattering approaches to structure determination of biopolymers. In: Harding SE, Settele DB, Bloomfield VA (eds) Laser light scattering in biochemistry. Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp 3–22
23. J.M.Guenet, Polymer Solvent Molecular Compounds, 2008, 319 p.

UOT: 29.05; 41.17PACS: 72.80.Ng

РАСШИРЕННЫЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ПЯТИМЕРНОЙ ТЕОРИИ

Б.Г. АЛИЕВ

*Домашняя лаборатория**Альтендорфер штр. 28, 09113 Хемниц, Германия**bgaliyev@mail.ru*

РЕЗЮМЕ

Показано, что пятимерные геодезические уравнения и пятимерные тождества Риччи позволяют по-новому взглянуть на некоторые проблемы современной физики, астрофизики и космологии. В частности, применение пятимерных геодезических уравнений в $(4+1)$ и $(3+1+1)$ расщепленных формах, полученных с помощью монадного и диадного методов, позволило ввести новое эффективное обобщенное понятие массы покоя элементарной частицы. Последнее приводит к новым связям между общей теорией относительности и квантовой теорией поля, и все это, включая $(4+1)$ расщепление пятимерных тождеств Риччи, приводит к лучшему пониманию проблемы магнитного монополя и существенного различия в происхождении уравнений Максвелла и приводит к поразительным и нетривиальным связям между ними. Полученные результаты также дают новое представление о механизме расширения четырехмерной Вселенной и его последующего ускорения.

Ключевые слова: монадный и диадный методы; концепция эффективной обобщенной массы покоя; скалярное гравитационное поле; пятимерные геодезические уравнения; условия цилиндрической симметрии (цилиндричности); пятимерные тождества Риччи; уравнения Максвелла; магнитный монополю; топологический фазовый переход второго рода в космологии.

BEŞÖLÇÜLÜ NƏZƏRİYYƏDƏ GENİŞLƏNDİRİLMİŞ NİSBİLİK PRİNSİPİ XÜLASƏ

Məlumdur ki, beşölçülü geodeziya tənlikləri və beşölçülü Ricci eynilikləri bizə müasir fizikanın, astrofizikanın və kosmologiyanın bəzi problemlərinə yeni baxış bucağı yaratmağa imkan verir. Konkret olaraq monad və dyad üsullarının köməyi ilə alınan $(4+1)$ və $(3+1+1)$ bölünmüş formalarda beşölçülü geodeziya tənliklərinin tətbiqi elementar zərrəciyin sükunət kütləsinin yeni, effektiv ümumiləşdirilmiş konsepsiyasını tətbiq etməyə imkan verir. Bu, ümumi nisbilik və kvant sahə nəzəriyyələri arasında yeni əlaqələrə gətirib çıxarır və bütün bunlar, o cümlədən beşölçülü Ricci eyniyyətlərinin $(4+1)$ bölünməsi maqnit monopolu probleminin daha aydın anlamına gətirərək Maksvell tənliklərinin mənşəyini müəyyənləşdirir və onlar arasında son dərəcə və qeyri-ənənəvi əlaqələr yaradır. Əldə edilən nəticələr həmçinin dördölçülü kainatın genişlənməsi mexanizmi və onun sonrakı sürətlənməsi haqqında yeni fikirlər yaradır.

Açar sözlər: monad və dyad üsulları; effektiv ümumiləşdirilmiş sükunət kütləsi konsepsiyası; skalyar qravitasiya sahəsi; beş ölçülü geodeziya tənlikləri; silindrik simmetriya (silindriklik) şərtləri; beş ölçülü Ricci eyniyyətləri; Maksvell tənlikləri; maqnit monopolu; topoloji ikinci dərəcəli kosmoloji faza keçidi

EXTENDED RELATIVITY PRINCIPLE IN FIVE-DIMENSIONAL THEORY

ABSTRACT

It is shown that the 5D geodetic equations and 5D Ricci identities give us a way to create a new viewpoint on some problems of modern physics, astrophysics, and cosmology. Specifically, the application of the 5D geodetic equations in $(4+1)$ and $(3+1+1)$ splintered forms obtained with the help of the monad and dyad methods made it possible to introduce a new, effective generalized concept of the rest mass of the elementary particle. The latter leads one to novel connections between the general relativity and quantum field theories, and all that, including the $(4+1)$ splitting of the 5D Ricci identities, brings about a better understanding of the magnetic monopole problem and the vital difference in the origins of the Maxwell equations and gives rise to surprising and non-trivial connections between them. The obtained results also provide new insight into the mechanism of the 4D universe's expansion and its following acceleration.

Keywords: monad and dyad methods; effective generalized rest mass concept; scalar gravitational field; 5D geodetic equations; cylindrical symmetry (cylindricity) conditions; 5D Ricci identities; Maxwell equations; magnetic monopole; topological second-order phase transition in cosmology

В одной из своих ранних работ по пятимерии [1] знаменитый физик Луи де Бройль, проанализировав различные подходы к обобщению ОТО на другие поля, точнее говоря на электромагнитное, сделал убедительный вывод о том, что пятимерный подход, развитый в работе Т. Калуцы [2], глубже и намного предпочтительнее, чем подход Г. Вейля [3]. В частности, он сумел показать, что при переходе к квантовой теории в пятимерном подходе возникает такое обобщение понятия массы покоя заряженной пробной частицы, которое здесь заменяется на некий инвариант I следующего вида:

$$I = \sqrt{m_0^2 + \frac{e^2}{16\pi k_0}}. (1)$$

Здесь m_0 , e и k_0 обозначают затравочную массу покоя заряженной пробной частицы (в данном случае электрона), заряд электрона и ньютоновскую гравитационную постоянную. Он также сделал интересный и можно сказать глубоко провидческий вывод, что разгадка причины такого обобщения может привести в будущем к открытию новых и весьма глубоких тайн нашей Вселенной.

В работах [4-8] нам удалось совсем другим путём, исследуя пятимерное уравнение геодезической, показать, что при анализе (4+1)-редуцированных с помощью монадного и (4+1+1)-редуцированных с помощью диадного методов этих уравнений пятимерных геодезических с наложенными на них естественными условиями цилиндричности относительно пятой координаты получается следующий результат (здесь индексы $\alpha, \beta, \gamma, \dots = 0, 1, 2, 3$):

$$\frac{D^+ \bar{p}^\alpha}{ds} = \frac{Q_0}{\hat{m}_0 c^2} \bar{p}^\beta F_{\beta}^{\alpha} + \partial^{\alpha+} \hat{m}_0. (2)$$

Таким образом, у нас возникает обобщение вышеупомянутого результата Луи де Бройля ($I \rightarrow \hat{m}_0$) с физически более чем обоснованным его объяснением и, кроме того, чего нет у Луи де Бройля, с самосогласованным в итоге результатом как для случая рассмотренного нами вышеприведённого уравнения геодезической (2), так и для волнового уравнения квантовой теории:

$$g^{\alpha\beta} \bar{\nabla}_\alpha^+ \bar{\nabla}_\beta^+ \Psi + \Phi^\alpha \bar{\nabla}_\alpha^+ \Psi + \frac{\hat{m}_0^2 c^2}{\hbar^2} \Psi = 0. (3)$$

Эта пятимерная обобщённая «релятивистская» масса покоя весьма напоминает нам по своей структуре лоренцевскую релятивистскую массу m в СТО и имеет вид [4-8]:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\bar{v}^2}} \Rightarrow \hat{m}_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1-\hat{u}^2}} = \sqrt{m_0^2 + \frac{n^2 e^2}{4k_0 \varphi^2}}. (4)$$

Здесь под $\hat{u} = d\lambda/ds$ понимается «скорость» заряженной пробной частицы вдоль пятой координаты, а $\varphi \equiv \sqrt{-G_{55}}$. Легко видеть, что инвариант I в формуле Луи де Бройля (1) является частным случаем нашей обобщённой пятимерной «релятивистской» массы покоя $\hat{m}_0$ в формуле (4) при $n = 1$ и $\varphi = 2\sqrt{\pi}$ [4-8].

Необходимость введения такой обобщённой массы покоя $\hat{m}_0$ подтверждается ещё и тем важным фактором, что только лишь в этом случае становится возможным дальнейшее $(3 + 1 + 1)$ -расщепление с помощью диадного метода уравнения геодезической (2), которое тогда представимо в стандартном виде как следующая система [4]:

$$\frac{D^+ \hat{m}}{d\tau} = \hat{p}^i (\bar{F}_i - \bar{v}^k \bar{D}_{ik}) - \frac{Q_0}{c^2} \bar{v}^i \bar{E}_i + \frac{Q_0 \sqrt{1-\bar{v}^2}}{2\sqrt{k_0} \varphi} \partial_\tau^+ \hat{m}_0, \quad (5)$$

$$\frac{D^+ \hat{p}^i}{d\tau} = \frac{Q_0}{c^2} (\bar{E}^i - \bar{v}^k H_{\cdot k}^i) - \hat{m} \bar{F}^i + 2\hat{p}^k \bar{D}_k^i + \frac{Q_0 \sqrt{1-\bar{v}^2}}{2\sqrt{k_0} \varphi} \partial^+ \hat{m}_0. \quad (6)$$

Здесь обобщённая четырёхмерная релятивистская масса $\hat{m} = \hat{m}_0 / \sqrt{1 - \bar{v}^2}$, далее 3-скорость $\bar{v}^i = d\bar{x}^i/d\tau$, а скорость вдоль пятой координаты $\hat{v} = d\lambda/d\tau$. Обобщённый релятивистский 3-импульс $\hat{p} = \hat{m} \bar{v}^i$, обобщённый «релятивистский» импульс, то есть импульс пробной частицы при движении вдоль 5-й координаты, $\hat{p} = \hat{m} \hat{v} = \hat{m}_0 \hat{u}$, а $d\tau = c dt$. В ином же случае эти уравнения системы (5) и (6) у нас сплетаются так, что распутать их становится практически невозможно. Индексы $i, j, k, \dots = 1, 2, 3$.

При этом, как легко видеть, становится также очевидной связь пятимерия со скалярно-тензорными теориями. Действительно, как и в этих теориях, масса заряженной пробной частицы становится функцией скалярного поля φ да ещё к тому же становится ясно, что нам не требуется мифический скалярный заряд, который так и не найден до сих пор, так как его роль успешно играет «по совместительству» электрический заряд. В этом факте, как нам думается, проявляется некий присущий мудрой Природе «Принцип Экономии». Кроме того, из системы уравнений (5) и (6) следует, что, как и в вышеупомянутых нами скалярно-тензорных теориях [9], скалярная 4-сила обращается в нуль для безмассовых частиц, благодаря фактору $\sqrt{1 - \bar{v}^2}$.

Кроме того, здесь уместно введение массового угла χ_n , что позволяет нам записать формулу (4) в компактном виде как функцию этого угла:

$$\hat{m}_0 = m_0 \operatorname{ch} \chi_n, \text{ где } \operatorname{sh} \chi_n = \frac{n \cdot e}{2\sqrt{k_0} m_0 \varphi} = \frac{n \cdot \hat{m}_{Pl}}{m_0 \varphi}. \quad (7)$$

Мы тут для краткости ввели понятие пятимерной «планковской массы»: $\hat{m}_{Pl} \equiv e/(2\sqrt{k_0})$.

Формула (4) для обобщённой пятимерной «релятивистской» массы $\hat{m}_0$ даёт также возможность представить её как модуль комплексной массы [8]: $\hat{m}_0 = \sqrt{\hat{m}_{0z} \cdot \hat{m}_{0z}}$. Здесь

комплексная масса $\hat{m}_{0z} = m_0 + i \cdot n \cdot \hat{m}_{Pl}/\varphi = \hat{m}_0 e^{i \cdot \psi_n}$, где $\operatorname{tg} \psi_n = \operatorname{sh} \chi_n$, а комплексно сопряжённая ей величина $\hat{m}_{0z} = m_0 - i \cdot n \cdot \hat{m}_{Pl}/\varphi$. А уж это позволяет нам выдвинуть здесь предположение о возможной связи введенной нами выше пятимерной «релятивистской» массы покоя $\hat{m}_0$ с квантовыми свойствами материи. Записав это комплексное число в общем виде в алгебраической форме, мы тогда получаем, что $\hat{m}_{0z} = (\hat{m}_{0x}, \hat{m}_{0y})$, откуда для фотона следует, что он является в этом смысле комплексной ноль-частицей: $\hat{m}_{0z} = (0, 0)$. Для нейтрино же мы получим частицу уже с вещественной массой: $\hat{m}_{0z} = (\hat{m}_{0x}, 0)$, а для гипотетического тахиона масса будет чисто мнимой: $\hat{m}_{0z} = (0, \hat{m}_{0\tau})$. Кроме того, напрашивается мысль о том, что само существование тахионов может быть связано с пятимерием нашего Мира.

Далее мы получаем, что проекция нашего пятимерного уравнения геодезической на пространственно-временную гиперповерхность V_4 даёт нам, как и упоминалось выше, обычную четырёхмерную геодезическую, правда с обобщённым 4 – импульсом $\bar{p}^\alpha = \hat{m}_0 \bar{u}^\alpha$, но зато со стандартной 4 - силой Лоренца: $f_L^\alpha = \frac{q_0}{c^2} \bar{u}^\beta F_{\beta}^\alpha$ и, кроме того, что вызвано появлением обобщённой «релятивистской» массы покоя, с ещё одной, уже скалярной гравитационной 4-силой нового типа, которую мы предлагаем назвать силой Дикке [8]: $f_D^\alpha = -\frac{Q_0^2 P^{\alpha\beta} \Phi_{,\beta}}{4k_0 \hat{m}_0 \varphi^2}$. Она вообще говоря отрицательна и может давать свой вклад в известное нам из модели А. Фридмана расширение Вселенной. В результате уравнение (2) примет следующий вид:

$$\hat{m}_0 \frac{D^+ \bar{u}^\alpha}{ds} = f_L^\alpha + f_{BD}^\alpha. \quad (8)$$

Затем мы получаем, что проекция нашего пятимерного уравнения геодезической на пространственно-временную гиперповерхность V_4 даёт нам, как и упоминалось, обычную четырёхмерную геодезическую (2), правда с обобщённым 4 – импульсом $\bar{p}^\alpha = \hat{m}_0 \bar{u}^\alpha$, но в отличие от силы Лоренца эта сила зависит от заряда квадратично и поэтому носит здесь кумулятивный характер. Ввиду этого отметим, что несмотря на её малую величину, она может быть весьма значительной в космологических масштабах и поэтому претендовать на роль генератора вклада в так называемые тёмную материю и тёмную энергию. Эта сила присуща вообще говоря всем теориям с переменной массой покоя. В данном случае такая сила у нас зависит от появившегося в пятимерной теории нового, назовём его здесь скалярного гравитационного поля φ . Появляется она и в скалярно-тензорных теориях гравитации в первую очередь из необходимости соответствовать принципу Маха [9]. Кроме того, структура формулы (4) наводит нас на мысль, что истинно электрически нейтральные частицы четырёхмерны и отличаются лишь наличием или отсутствием массы покоя, как например фотон и нейтрино. Все остальные частицы Вселенной, образующие в нашем мире видимую материю, а может быть и тёмную тоже, включая и электрически нейтральные, являются, по-видимому, составными, то есть содержат в себе электрический заряд явно или в связанном виде, как, скажем, нейтрон. Это вытекает из выдвинутого как Р. Дике [9], так и нами [5] и кажущегося естественным требования выполнения принципа эквивалентности не только для гравитационного, но также и для введённого нами выше нового фундаментального скалярного гравитационного поля φ .

С помощью полученного нами обобщения понятия пятимерной «релятивистской» массы покоя частицы можно, как нам думается, попытаться получить ряд новых и весьма интересных следствий. Например, знаменитое соотношение Луи де Бройля: $\lambda = h/p$ сразу расширяет свои границы, переходя, например, в $\hat{\lambda} = h/\hat{p} = 2\sqrt{k_0} \cdot h \cdot \varphi/e$, и наполняется ещё более глубоким смыслом, а поскольку импульс становится функцией скалярного поля $\varphi(t)$, адиабатически зависящего от космологического времени t , то отсюда следует вывод, что у нас по мере эволюции Вселенной длины волн излучающих атомов будут меняться и это могло бы внести свой вклад в космологическое красное смещение [8] и позволить более точно определить возраст нашей Вселенной.

Хотелось бы также добавить, что изложенные нами результаты дали возможность расширить понятие о тормозном излучении и получить формулы для возникающих трёх видов этого излучения: электромагнитного, скалярного и смешанного [7].

В заключение хотелось бы отметить, что пятимерный подход позволяет, как нам кажется, приоткрыть завесу ещё и над проблемой магнитного монополя, которую в 1931 году поставил Поль Дирак [10]. В работах [7,8] нам удалось показать, что в настоящее время мы живём в эпоху электронов, а эпоха монополей существовала лишь в самой начальной стадии эволюции Вселенной и в нашу эпоху их скорее всего уже нет или осталось небольшое количество реликтовых в дальних областях Вселенной. Точка перехода между этими эпохами является точкой так называемого топологического фазового перехода 2-го рода во Вселенной и переводит её в некий аналог сверхтекучего состояния, которое, как нам кажется, и приводит к наблюдаемому по вспышкам сверхновых типа Ia ускоренному расширению нашей Вселенной. Геометрически это означает, что пятимерная Вселенная стала цилиндрической относительно пятой координаты. Следовательно, мы можем утверждать, что принцип относительности четырёхмерной СТО Альберта Эйнштейна может быть расширен в рамках пятимерной единой теории поля. Более того, можно показать, что это расширение имеет место при каждом увеличении размерности нашей исходной Вселенной.

Таким образом, мы всё больше убеждаемся во всё новых и новых возможностях пятимерной теории поля и можем полагать, что на этом пути нам ещё придётся встретить, как и предсказывал великий Луи де Бройль, немало новых и весьма впечатляющих результатов. Последние эксперименты по поиску пятой силы на ускорителе в Батавии дают нам на это новую надежду.

ЛИТЕРАТУРА

1. De Broglie L. L. *Univers a cinq dimensions et la mecanique ondulatoire*. J. de Physique et la Rad. ,Serie VI, **1927**, Vol. 8, № 2, pp. 65-73.
2. Калуца Т. К проблеме единства физики. Сб. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М., Мир, 1979.
3. Вейль Г. Гравитация и электричество. Сб. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М., Мир, 1979.
4. Алиев Б.Г. 5-мерная теория скалярно-тензорной гравитации и электромагнетизма в диадном виде. Проблемы теории гравитации и элементарных частиц , вып. 10, М.,Атомиздат, 1979, с. 141 -149.
5. Алиев Б.Г. Поведение заряженных частиц в 5-мерной теории гравитации. Современные проблемы общей теории относительности, ИФ АН БССР, Минск, с.154-159, 1979.
6. Aliyev B.G. Abstracts of the IXth International conference on General Relativity and Gravitation. "Motion equations in the 5-dimensional unified field theory", Germany (GDR), Jena, v.3, 1980, pp. 679-680.
7. Aliyev B.G. "The effective rest mass concept and magnetic monopole problem in 5D Theory", The Proceedings of the ICGAC-12, World Scientific, Singapore, 2016, pp.321-326.
8. Aliyev B.G. Generalized Rest Mass and Dirac's Monopole in 5D Theory and Cosmology. *Universe*, (2021), 7, 295. <http://doi.org/10.3390/universe7080295>.
9. Дикке Р. Многоликий Мах, Сб. Гравитация и относительность, М., Мир, (1965), Главы 7, 8; стр. 221-294.
10. Dirac P.A.M. Quantized singularities in the electromagnetic field. Proc. Roy. Soc. London, A, 1931, Vol.133, pp. 60-72.

UOT: 621. 315. 592PAC:65.40.-B

SYNTHESIS AND PHOTOCONDUCTIVITY OF CRYSTAL InGaTe_2

ULKER ABDURAHMANOVA

Baku Engineering University, Dept of Physics,

Baku, Azerbaijan

uabdurahmanova@beu.edu.az

ABSTRACT

In this researching work has been investigated monocrystal InGaTe_2 which gained by the method of Bridgeman Stockbarger. This paper presents the different sized of images of crystal after synthesis and results of researching photoconductivity of compound InGaTe_2 , based on this research it has determined the band structure of this compound. Determination photoconductivity of this crystal under the action of 1st and 2nd harmonic of neodymium laser radiation and the results of the investigation of an experimental study of photoconductivity at wide range of temperatures and at different levels of optical excitation has been presented. Photocurrent spectra of InGaTe_2 crystal at laser excitation described by figure. The magnitude of band gap that determined by other methods and by the photoconductivity had been compared. The values given from different methods are approximately the same.

Keywords: monocrystal InGaTe_2 , photoconductivity, tetragonal syngony, laser radiation, solid state physics, Bricman-Stockbarger method

InGaTe_2 KRİSTALININ SİNTEZİ VƏ FOTOKEÇİRİCİLİYİ

XÜLASƏ

Bu işdə Bridgeman Stockbarger metodu ilə əldə yetişdirilmiş InGaTe_2 monokristal tədqiq edilmişdir. Bu sintez edilmiş InGaTe_2 kristalının müxtəlif ölçülü nümunələrindən istifadə etməklə fotokeçiriciliyin tədqiqi aparılmış, tədqiqat əsasında bu birləşmənin zolaq quruluşu müəyyən edilmiş və nəticələri işdə öz əksini tapmışdır. İşdə Neodim lazer şüalanmasının 1-ci və 2-ci harmonikaları ilə kristalın fotokeçiriciliyinin təyini və geniş temperatur diapazonunda, optik həyəcanlanmanın müxtəlif səviyyələrində fotokeçiriciliyin eksperimental tədqiqinin nəticələri təqdim edilmişdir. Lazer şüalanması ilə həyəcanlanmanın nəticəsində InGaTe_2 kristalının fotocərəyan spektrləri şəkildə təsvir edilmişdir. Digər üsullarla və fotokeçiriciliklə müəyyən edilən zona quruluşunun hesablanması nəticələri müqayisə edilmişdir. Müxtəlif üsullarla alınmış nəticələr arasında uyğunluq olduğu müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: InGaTe_2 monokristal, fotokeçiricilik, tetragonal sinqoniya, lazer şüalanması, bərk cisim fizikası, Bricmen-Stokbarger üsulu.

СИНТЕЗ И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ КРИСТАЛЛА InGaTe_2

РЕЗЮМЕ

В данной работе дано результаты исследования кристалла InGaTe_2 , полученного методом Бриджмена-Стокбаргера. Используя образцы разного размера кристалла InGaTe_2 , исследовано фотопроводимость и определена зонная структура этого кристалла. На работе дано определения фотопроводимости этого кристалла под действием 1-й и 2-й гармонической излучения Неодимового лазера и результаты экспериментального исследования фотопроводимости в широком диапазоне температур при различных уровнях оптического возбуждения. Получение спектры фототока кристалла InGaTe_2 при лазерном возбуждении представлены на рисунке. Величины ширины запрещенной зоны, полученные другими методами и в т.ч. по фотопроводимости также дано данной работе. Значения, величины ширины запрещенной зоны, полученные разными методами, примерно одинаковы.

Ключевые слова: монокристалл InGaTe_2 , фотопроводимость, тетрагональная сингония, лазерное излучение, физика твердого тела, метод Бриджмена-Стокбаргера.

Introduction

Obtaining of new materials, a detailed study of their properties and functionality is important for development of electronics, computing techniques, dielectric electronics, solid state physics and other fields. Complex research of physical processes in new class semiconductor compounds has practical importance which has attracted the attention of researchers. Therefore chains and layered structures of $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ types of compounds were obtained based on the Tl atoms 3 and 1 valence in the TlSe cage, their physical- chemical and X-ray analyzes confirmed their existence. Studies have shown that these type compounds have specific properties [1]. Anisotropy of chemical communication in these crystals causes changeable in the optical, electrical, thermal, photoelectric properties of these compounds. Because of these crystals have high sensitivity, memory-converting properties, they are based on X-ray converters, photoconductors operating in visible and near-infrared regions, high-sensitivity sensors and other components. Another feature of these compounds is that their properties can be controlled by external factors. It seems that studying some samples of $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ type compounds has revealed the possibility of their application in different areas. Therefore, the study of such compounds has been extensively investigated, some properties have been studied. Some of these compounds have a layered structure and others have a chain crystal structure.

Based on the properties found in the optical and photoelectric properties of these compounds, they are used in a wide range of applications from solar cells to nonlinear technologies. One of these compounds is InGaTe₂ with chained structure crystallize in a tetragonal syngony [2,3]. Research data of this compound is less than other structural analogues.

Single crystal of the InGaTe₂ compound was grown by the Bricman-Stockbarger method.

The semiconductor properties of this compound are explained by the Muzer-Pearson model. Band structure has been calculated by different methods. The results of these calculations have been compared each other.

The temperature dependence of specific conductivity of this compound, the Holl and thermal coefficients was studied, based on these determined the band gap, concentration and conductivity of the carriers. This semiconductor compound has complex energy zone.

On the basis of the band structure calculated theoretical atomic coordinates and the unit cell parameters of InGaTe₂. Revealed that the theoretically calculated and experimentally determined lattice parameters values are in good agreement. By authors of [4] the lattice parameters were determined and given $a=8.3945 \text{ \AA}$, $c=6.8352 \text{ \AA}$. For the first time on the different size of thin samples of this crystal we investigated the voltage-ampere characteristic in static and dynamic modes at different temperatures [5].

In this work has been presented the result of investigation of this compound and photoconductivity with the effect of laser radiation. The measurements have been done in a monocrystal InGaTe₂ which was grown by the Bridgeman method. In this paper we report the results of the investigation of an experimental study of photoconductivity in InGaTe₂ crystal at wide range temperature and at different levels of optical excitation.

Content

The tellurides of $A^{\text{III}}B^{\text{III}}C_2^{\text{VI}}$ complex compounds are the receivers of radiation. Thus, the effect of radiation on the properties of such compounds is being investigated. Although some properties of InGaTe₂ that one of the samples of this type compounds has been investigated, this crystal has not been completely studied. So, in this work experiment was carried out on this crystal that synthesised by Bricman-Stockbarger method.

One of the main advantages of this method is the ability to grow perfectly structured crystal. The essence of this method is that a crystal core is created inside the crystal and crystallization is carried out in the temperature gradient field [6].

The purity of elements used in the synthesis of InGaTe₂ compounds was checked.

The same conditions were created for all samples in the device used for synthesis. The quartz ampoule used in the synthesis was initially washed with a mixture of HF and distilled water. After dry cleaning elements dried in a special oven and the air of the ampoule which filled with stoichiometric elements is removed to 0.0133 Pa. The samples placed in a special oven at 1000 °C and kept at this temperature for 24 hours. The mixture was kept at 973°C for another 24 hours to ensure the homogeneity of the alloy. During synthesis the ampoule is frequently shaken to ensure good mixing of the elements. Then the ampoule was transferred from the high temperature zone to the low temperature zone at a rate of 1.33 mm/h, after storage for 8 hours cooled to room temperature. In the next stage X-ray phase analysis of the crystal that formed in an ampoule cooled to room temperature can be carried out.

The figure shows the unexpanded surface, 2, 4 and 10 times expanded images of a single crystal InGaTe₂

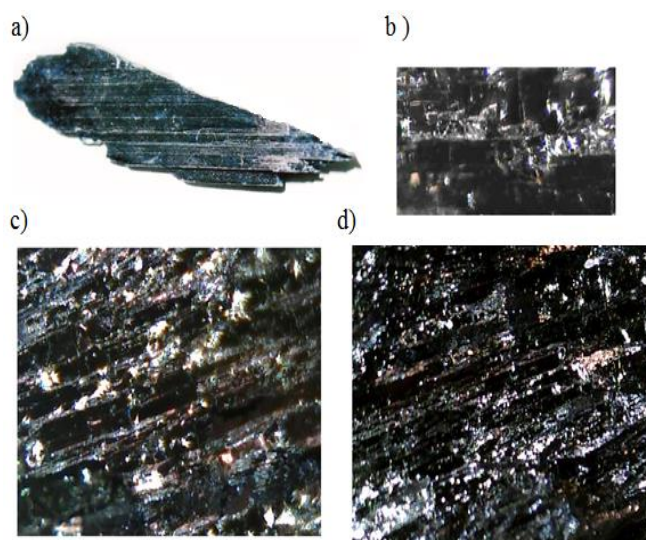


Fig. Unexpanded (a), 10 times -(b), 4 times -(c) and 2 times -(d) expanded shown of crystal InGaTe₂

During the determining photoconductivity in the experiment measurements was done on the sizes of crystal sample 6×3×1 mm³. The lighting happens in the direction parallel to the crystallography axes “c” [7- 9].

It has determined that InGaTe₂ monocrystals had p-type conductivity. At a high level of optical excitation, the pulse laser Nd: YAG with built-in generators of the second and third harmonics for generating radiation with a wavelength of 1064, 532, 355 nm. Intensity of laser radiation was changed by means of calibrated neutral filters. The photoconductivity of compound InGaTe₂ was investigated in the temperature range 132–373 K and dependence has been described in figure.

The character optic transition in InGaTe₂ is seen from dependence $I_f(h\nu)$. Here I_f - is the photocurrent. In the $I_f^{1/2} \sim h\nu$ in the long-wave edge experimental points fall on a same line. It shows that there is indirect transfer of energy 1, 02 eV in this crystal (Fig. a).

By this method is quite justified determination width of the band structure of semiconductors. Obtained values of band structure for InGaTe₂ by other methods and by this method has been compared. It shows that they are approximately the same ($E_g=1,38$ eV-1,42 eV).

The absorption coefficient for indirect transition for equals

$$\alpha \sim (h\nu - E_g \pm E_p)^2 \quad (1)$$

Where α - absorption coefficient, $h\nu$ - is the energy of quantum, E_g - the width of the band structure, E_p - is the energy of the phonon that participating in indirect optic transitions.

For semiconductors photoconductivity is determined by the following equation:

$$\Delta\sigma = e\mu\alpha\beta I_0 \tau \quad (2)$$

Where, e - is the elementary charge, m - is the mobility of carriers, α - is the absorption coefficient, β - is the quantum access, I_0 - is light intensity, τ - is the lifetime of nonequilibrium carriers.

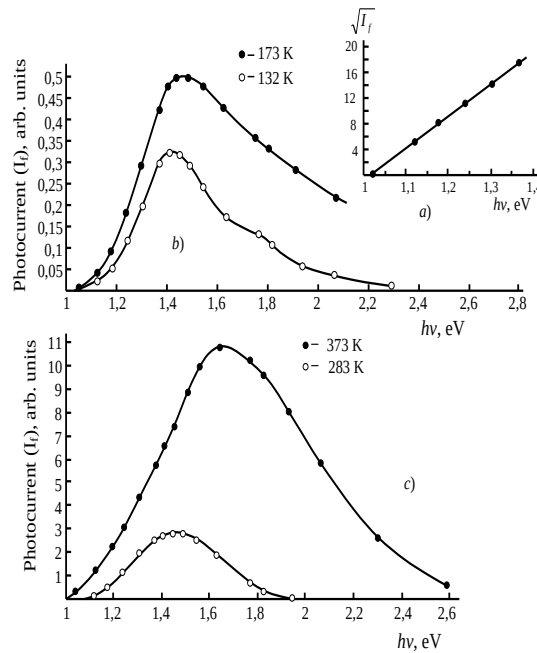


Fig. Photocurrent spectra of InGaTe₂ crystals with different temperatures

At one photon absorption the absorption coefficient is independent of light intensity, so $\Delta\sigma \sim I_0$. But at two photon absorption is $\alpha^2 \sim I_0$, that is why $\Delta\sigma \sim \alpha^2 \cdot I_0 \sim$. There is a square dependence in Lux-Ampere characteristic of photoconduction in this sample. It shows that under the effect of laser radiation in the crystal InGaTe₂ appearances two photon photoconduction. By investigating the optical and photoelectric properties, the bandgap of compound InGaTe₂ and the type of inter-zone transitions were determined. It has been shown that this compound has p type conductivity.

Photocurrent range is wide range of energy from 1,2 eV to 2,6 eV and photosensitivity of the crystals increases according to temperature increase.

Materials and methods

In this work has been presented investigation of crystal InGaTe₂ which crystallizes in the tetragonal syngony, space group symmetry D_{4h}^{18} , having the unit cell with parameters $a=8,463 \text{ \AA}$; $c = 6,981 \text{ \AA}$ and chain-like structure. The surface of crystal that obtained by Bridgeman method researched by atomic microscope. The microrelief of surface of InGaTe₂ compound was studied with the Atomic Force Microscope using MD mode. X-ray phase analysis of the compound was carried out on the DPOH-2 diffractometer, in CuK radiation using a nickel filter. Experiments carried out in different condition and in a wide temperature range. In experiments as contact has been used silver paste. Photoconductivity of the crystal investigated by collinear source of light at stationary mode. At higher level of optic excitation, the pulse laser Nd: YAG with built in generators of the second and third harmonic intended for generation of radiation.

Conclusion

Synthesis process carried out in different high temperatures and conditions. After synthesis can be done X-ray analysis of crystal. By X-ray phase analysis of InGaTe₂ found in the InTe-GaTe system revealed that the compound is in a chain crystalline structure and crystallized in tetragonal syngony. Experiments of determining photoconductivity were carried out under the effect of laser radiation, on the sample of InGaTe₂ crystal at wide temperature range. It has determined that in this crystal appearance indirect transition. In photogeneration of nonequilibrium current carriers by laser radiation, the mechanism of one-photon and two-photon absorption of quantum is detected.

It should be noted that when the InGaTe₂ crystal is excited by the second harmonic of the neodymium laser, the energy of the quantum ($\omega\hbar=2.34 \text{ eV}$) is much higher than the width of the band gap ($E_g=1.42\text{eV}$) and photoconductivity is in bipolar character.

REFERENCES

1. V.Hahn, G.Frank, W. Klinger et.al. Über einige ternare Chalkogenide mit Chalkopyristriktur Z.Anorg allg. Chem. 271,p. 153–155, 1953
2. M.Mobarak, H.Berger, G. F. Lorusso, V.Capozzik, G.Pernak, M. M. Ibrahim and G. Margaritondo, The growth and properties of single crystals of GaInTe₂, a ternary chalcogenide semiconductor Journal of Physics D: AppliedPhysics, 31, p.1433-1437, 1998
3. E.M.Godzhaev, Z.A.Dzhakhangirli, U.S. Abdurahmanova, S.M. Mehdieva Optical functions and effective masses of electrons and holes in InGaTe₂ Physical Science International Journal;4, p. 699-707, 2014
4. X.Gonze, J.M.Beuken, R.Caracas First_Principles Computation of Material Properties: the ABINIT Software Project // Allan. Comput. Mater. Sci., 25, p. 478-492, 2002
5. У.С.Абдурахманова, С.О. Кулиева Вольтамперная характеристика InGaTe₂ Известия Томского политехнического университета 326, p. 131–138, 2015
6. С.А. Медведев Введение и технологию полупроводниковых материалов. М: Высшая школа, 1979.
7. A.G.Kyazym-zade, V.M.Salmanov, A.A. Salmanov, A.M. Aliyev, R.Z. Ibaeva Photoconductivity and luminescence of crystals GaSe at high levels of optical excitation. FTS., 44, p. 306-309, 2010
8. E.M.Gojayev, A.G. Kazimzade, V.M. Salmanov, A.G. Guseynov, U.S. Abdurahmanova, R.M. Mamedov Electrical and Photoelectric Properties of Crystal InGaTe₂ Physical Science International Journal; 8, p. 1-8, 2015
9. R.H. Al- Orainy, A.T. Nagat, F.S. Bahabri, E.M. Saed, H.I. El-Saady Experimental Investigation of Electrical Conductivity and Hall Effect in GaInTe₂ Single Crystals Australian Journal of Basic and Applied Sciences; 6, p. 323-328, 2012

UOT: 537.84:621.315.92PACS:541.183.539.26

TERMİK BUXARLANMA ÜSULU İLƏ ALINMIŞ GaSe NAZİK TƏBƏQƏSİNİN STRUKTUR, MORFOLOJİ VƏ VOLT-AMPER XAREKTERİSTİKASININ TƏDQIQI

NURMƏMMƏDOVA FƏRİDƏ^{1,2}

Bakı Mühəndislik Universiteti¹ Pedaqoji fakültə/Fizika kafedrası,
AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu², Azərbaycan, Bakı şəhəri
fanurmammadova@beu.edu.az,

XÜLASƏ

Təqdim olunan işdə termik buxarlanma üsulu ilə alınmış GaSe nazik təbəqəsinin alınma metodikası, strukturu, səth morfolojiyası və 100-300 K temperatur intervalında volt-ampere xarakteristikası (VAX) verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun artması ilə nümunələrin VAX-da qeyri xəttilik azalır və omik oblast kiçik gərginliklər oblastına doğru sürüşür. Müşahidə olunan omik hissədən tutma mərkəzlərinin konsentrasiyası və Fermi səviyyəsinin tarazlıq halından sürüşməsi, yürüklük və sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası hesablanmışdır. Alınmış təbəqənin səth morfolojiyasının və rentgenostruktur analizləri əsasında müəyyən edilmişdir ki, soyuq altlıq üzərində alınmış təbəqələr amorf quruluşa, 100-300 C intervalında termik dəmlənmiş nümunələrdə isə qismən kristallaşma müşahidə olunur.

Açar sözlər: GaSe nazik təbəqəsi, Termik buxarlanma, VAX, yarımkeçirici, atom -qüvvə mikroskopu(AQM)

STUDY OF STRUCTURAL, MORPHOLOGICAL AND VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF GaSe THIN FILM OBTAINED BY THERMAL EVAPORATION METHOD

ABSTRACT

In the presented work, the obtaining methodology, structure, morphology and VAC at different temperatures of GaSe thin film by thermal evaporation method are given. It was found that the Volt-Ampere-characteristic (VAC) shifts towards the region of low voltages at different temperatures. From the observed ohmic part, the concentration of capture centers and the shift of the Fermi level from the equilibrium state, the mobility and the concentration of free charge carriers were calculated. The surface morphology and X-ray structural analyzes of the obtained layer were performed. It was determined that the layers obtained on a cold substrate have an amorphous structure, and the samples thermally annealed in the range of 25-300°C have a polycrystalline structure.

Key words: GaSe thin film, thermal evaporation, VAC, semiconductor, atomic force microscope (AFM)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ, MORFOЛОГИЧЕСКИХ И ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GaSe ТОНКОЙ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО

РЕЗЮМЕ

В представленной работе приведены методология получения, структура, морфология и ВАХ при различных температурах тонкой пленки GaSe методом термического испарения. Обнаружено, что Вольт-амперная характеристика (ВАХ) смещается в область низких напряжений при различных температурах. Из наблюдаемой омической части, концентрация центров захвата и смещение уровня Ферми от равновесного состояния, подвижность и концентрация свободных носителей заряда были рассчитаны. Были проведены морфологический и рентгеноструктурный анализы поверхности полученного слоя. Установлено, что слои, полученные на холодной подложке, имеют аморфную структуру, а образцы, термически отожженные в диапазоне 25-300°C, имеют поликристаллическую структуру.

Ключевые слова: тонкая пленка GaSe, термическое испарение, ВАХ, полупроводник, атомно-силовой микроскоп (АСМ)

GİRİŞ

Günəş enerjisinin elektrik enerjisinə çevirmək üçün yarımkeçirici əsasında hazırlanan fotoçeviricilərdən istifadə olunur. Belə fotoçeviriciləri hazırlamaq üçün yarımkeçirici materiallar aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

- Yarımkeçirici materialın qadağan olunmuş zonası Günəş spektrinə uyğun olmalıdır və qadağan olunmuş zona 1,4- 2.0 eV olmalıdır.
- Yarımkeçirici material yüksək fotohəssaslığa malik olmalıdır.
- Sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası aşağı və yürüklüyü yüksək olmalıdır.
- Temperatura qarşı davamlı olmalıdır.

Bu şərtlər əsasında hazırlanan fotoçeviricilərin faydalı iş əmsalı 20-24% təşkil edir. Fotoçeviricilər əsasən Si və GaAs əsasında hazırlanır. Hər iki elementin fotohəssaslığı spektrin uzundalğa oblastına düşdüyündən onların f.i.ə. aşağıdır. Digər tərəfdən monokristaldan istifadə edildiyindən onlar iqtisadi cəhətdən səmərəli deyil. Ona görə də nazik təbəqəli (amorf maddələr – a-Si) istifadə olunur. Belə materialların parametrləri güclü deqradasiyaya uğradığından praktiki cəhətdən əlverişli deyil.

Yuxarıda qeyd olunanların təhlili göstərir ki, fotoçeviricilərin effektivliyini artırmaq məsədi ilə daha səmərəli, yəni parametrləri Günəş spektrinə uyğun materialların alınması və onlar əsasında yeni strukturların alınması və xarakteristikasının tədqiqi elmi və praktiki cəhətdən əhəmiyyət daşıyır.

Belə materiallardan biri də nazik təbəqəli GaSe monokristalıdır. Bu kristalın qadağan olunmuş zonası 1.8-2.0 eV təşkil edir. Günəş spektrində yüksək fotohəssaslığa malikdir. Alınma üsulu praktiki cəhətdən əlverişlidir. Vakuum postunda müəyyən texnoloji şəraitdə amorf- GaSe nazik təbəsi alınır. Onu Se –mühitində termik dəmlədikdən sonra monokristallik təbəqə almaq mümkündür. Alınmış təbəqələrin elektrik və foto xassələri geniş temperatur intervalında tədqiq edilir. Defektlərin kompensasiyasını idarə etmək üçün gamma şüaların təsiri ilə emal olunur. Sonra uyğun olaraq heteroqat hazırlanır.

TƏDQIQAT METODU

Ga-Se ərintisi almaq üçün təmizlik dərəcəsi yüksək olan selen və qalliumdan istifadə etməklə homogen GaSe bərk məhlulu sintez edilmişdir. Alınmış p-GaSe bərk məhlul termik buxarlanma üsulu ilə, seçilmiş optimal rejimdə və müxtəlif temperaturalarda qızdırılmış sitall lövhə üzərinə çökdürülmüşdür [1]. Gümüş kontakt ilə kristalın yaratdığı kontaktın Volt-Amper xarakteristikası (VAX) müxtəlif temperaturalarda tədqiq olunaraq kontaktın omik xarakterli olduğu müəyyən edilmişdir. Nazik təbəqələrin üst səthlərinə vakuumba termik buxarlandırma üsulu ilə arasındakı məsafə 2-3 mm olan gümüş kontaktlar çəkilmişdir. Hazırlanmış nümunələrin xüsusi müqavimətləri 10^3 - 10^5 Om·sm intervalında dəyişmişdir. Nümunələrin volt-ampere xarakteristikası və xüsusi elektrik keçiriciliyi sabit cərəyanda ölçülmüşdür [2].

Alınmış təbəqənin səth morfolojiyası və rentgenostruktur analizləri aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, soyuq altlıq üzərində alınmış təbəqələr amorf quruluşa, 25-300 C intervalında termik dəmlənmiş nümunələr işə polikristallik quruluşa malikdir. Lakin sitall üzərində alınmış amorf quruluşa malik olduğundan onun səthində müxtəlif formalı və

dərinlikli potensial çuxurların olması səbəbindən belə səthə adsorbsiya olunan molekulların yürüklü olmasını və nəticədə müxtəlif ölçülü və formalı fazaların yaranmasına şərait yaranır. 250-300 °C temperaturda təsirsiz qaz mühitində 3-5 saat müddətində termik dəmlənmiş nazik təbəqələrdə isə periodik payalanan çökük və hamar relyev müşahidə olunur.

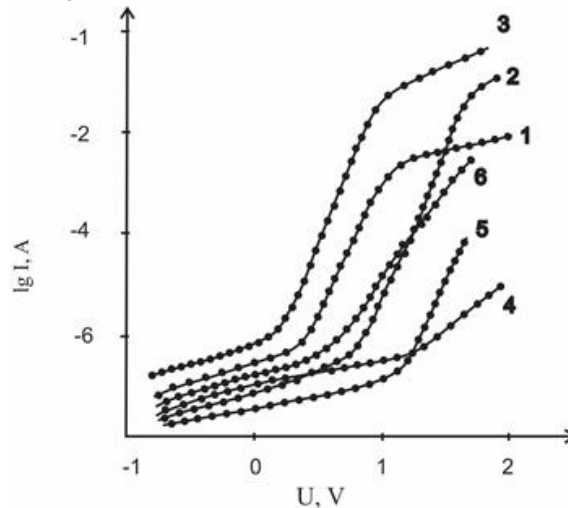
Alınmış strukturun elektrik və fotoelektrik xassələrinə, o cümlədən VAX-na ionlaşdırıcı şüaların və onun radiasiya şüalarına qarşı davamlığı öyrənilir

TƏDQIQAT İŞİNİN MÜZAKİRƏSİ VƏ ONUN NƏTİCƏLƏRİ

Şəkil 1-də müxtəlif rejimlərdə alınmış GaSe- təbəqəsinin VAX- verilmişdir.

Şəkil 1-dən görünür ki, VAX-rı $T=300$ K-də hər 3 qrafik iki hissədən – kvadratik və kəskin qalxma hissəsindən ibarətdir. 1-3 əyilərinin müqayisəsi göstərir ki, altlığın temperaturu artdıqca GaSe – nümunəsində lokal kristallaşma mərkəzi yaranır və nəticədə nüminədən keçən cərəyanın qiyməti həm kvadratik hissədə , həm də kəskin qalxma oblastında artır. 1-əyri- amorf hal nümunənin amorf halına uyğundur və sahə intensivliyinin artması ilə cərəyan eksponensial qanunla artır.

2 və 3 əyrilərilərinin xarakterindən görünür ki, altlığın müxtəlif temperaturlarda qızdırılması zamanı lokal kristallaşma mərkəzləri yarandığından cərəyanın qiyməti dəyişir və VAX- kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Şəkil 1-də 4-6 əyrilərindən görünür ki, 100 K- temperaturunda nazik təbəqələrin müqavimətin artması səbəbindən VAX-nın kvadratik və kəskin qalxma oblastının gərginliyin yüksək qiymətləri tərəfə sürüşməsi baş verir. GaSe təbəqəsinin VAX-ı lampertin injeksiya nəzəriyyəsi əsasında təhlil edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif temperatur və elektrik sahələrində VAX-nın qeyri xətti olma səbəbi monopolyar injeksiya ilə bağlıdır.

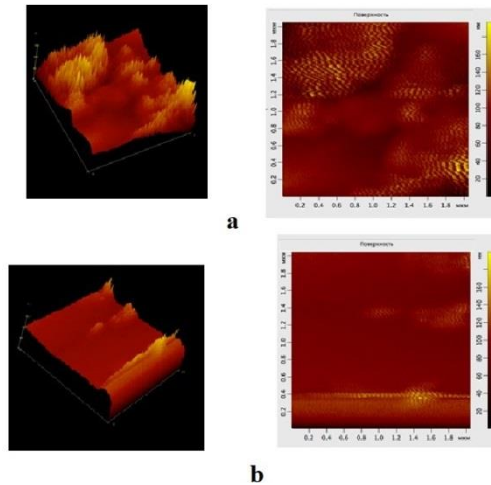


Şəkil 1. Müxtəlif rejimlərdə alınmış GaSe nazik təbəqələrin VAX-sı

Müşahidə olunan omik hissədən tutma mərkəzlərinin konsentrasiyası və Fermi səviyyəsinin tarazlıq halından sürüşməsi, yürüklük və sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası hesablanmışdır. Beləliklə, p-GaSe nazik təbəqələrində cərəyanın keçmə mexanizminə elektrik sahəsinin və temperaturun təsiri araşdırılmış və uyğun nəzəri, o cümlədən təcrübi nəticələrlə [3-5] müqayisəli araşdırmaya əsasən müəyyən edilmişdir ki, GaSe nazik təbəqələrində cərəyanın keçmə mexanizmi dəmlənmə temperaturundan asılı

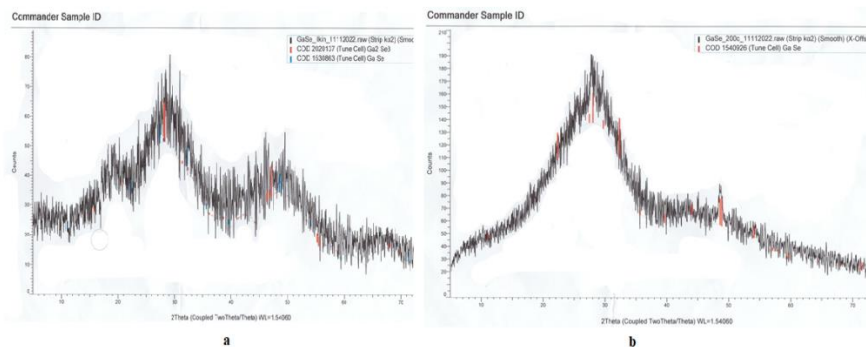
olaraq qismən dəyişir. Termik dəmlənmə zamanı defektlərin nizamlanması nəticəsində qırılmış Ga- Se rabitələrin bərpası hesabına yaranan kristallaşma mərkəzləri təbəqələrdə yükün daşınma mexanizmində əsas rol oynayır.

Alınmış təbəqənin səth morfolojiyası (şəkil 2) və rentgenostruktur analizləri aparılmışdır (şəkil 3). Müəyyən edilmişdir ki, soyuq altlıq üzərində alınmış təbəqələr amorf quruluşa, 25-300^o C intervalında termik dəmlənmiş nümunələr polikristallik quruluşa malikdir. Şəkil 2.b-də göstərilən atom -qüvvə mikroskopunda (AQM) aparılan GaSe təbəqəsinin səth relyefinin mikroskopik tədqiqatlarından alınan nəticələr də, kiçik ölçülü kristallaşma mərkəzinin olduğunu göstərir.



Şəkil 2. a. Soyucuq altlıq və b-termik dəmlənmiş GaSe təbəqələrinin 2D və 3D təsvirləri.

[6]-işində göstərilədiyi kimi maddələrin kristallik və amorf hallarında atomların yaxın düzlüş faktının olması onlar arasında kəskin sərhəddin olmadığını deməyə imkan verir. Amorf maddələrdə atomların uzaq düzlüş faktının olması isə, qadağan olunmuş zonada yüksək sıxlıqlı lokal səviyyələrin yaranmasına səbəb olur. Onların yaranma səbəbi isə icazəli zonanın kənarının əyilməsidir [7].



Şəkil 3. a-ilkin və b-termik dəmlənmiş GaSe nazik təbəqələrinin Rentgen analizi

Şəkil 3. a-də ilkin nümunə, b- də isə 200^oC-də termik dəmlənmiş GaSe nazik təbəqələrinin rentgen analizləri təsvir olunmuşdur. Ədəbiyyat araşdırmalarından və alınmış təcrübə nəticələri əsasında demək olar ki, termik dəmlənmə zamanı defektlərin paylanması nəticəsində kiçik ölçülü kristallaşma mərkəzləri yaranır [8-10]. Qeyd olunan faktlar əsasında

demək olar ki, amorf GaSe nazik təbəqədə Ga-Ga və Se-Se, o cümlədən (Ga-Se) rabitələrinin qırılması hesabına lokallaşmış energetik səviyyələr yaranır. Bu səviyyələr özünü defekt toplusu kimi aparır. Yaranan defekt toplusu qeyri-stabil olduğundan dissosasiya edərək yüklü mərkəzlərə çevrilir ($F^0 \rightarrow F^+ + F^-$) və sistemə enerji verdikdə (qızdırıldıqda) isə, qırılmış rabitələr boyunca elektronların keçidi hesabına sistem dayanaqlı hala gəlir. Bu zaman yaranan defektin elektron konfigurasiyası dəyişdiyindən materialın xassələri də dəyişir. Alınmış təcrübi faktlar əsasında demək olar ki, soyuq atlıq üzərində alınmış GaSe nazik təbəqəsində müşahidə olunan energetik səviyyələr Ga –atomunun qırılmış rabitənin hesabına yaranır və termik dəmlədikdə isə, qismən bərpa olunur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. А.И.Курносов,В.В.Юдин.Технология производства полупроводниковых приборов. Москва.Высшая школа.1992,с.40
2. Л.Павлов. Методы измерения параметров полупроводниковых материалаов. Москва.Высшая школа.1987,с.240
3. А.Н.Зюганов, С.В.Свечников, *Электрон. моделирование*. **12**(1990), 6.
4. Y.I.Frenkel., *Phys.Rev.*, **54** (1938), 657 .
5. Б.Г.Тагиев,О.Б.Тагиев, Н.Н.Мусаева. *ФТП*, **29**(1995), 1403.
6. Н.Мот.,Э.ДэвисЭлектронные процессы в некристаллических полупроводниках.М.,1982,с.373-457.
7. М.Бродски (под редак.) .Аморфные полупроводники.М.,1982,315 с.
8. H. Ertap, Y. Alkan, M. Karabulut. Farklı Alt Tabanlar Üzerinde Büyütülen Galyum Selenit (GaSe) İnce Filmlerinin Yapısal, Morfolojik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 9(1): 11-19, 2019
9. H. Ertap , M.Yüksek , M. Karabulut. Structural and Optical Properties of Indium Selenide (InSe) Thin Films Deposited on Glass and GaSe Single Crystal Substrates by SILAR Method. Cumhuriyet Sci. J., Vol.40-3 ,2019, p. 602-611
10. M.Ohyama. Electrical and Optical Properties of GaSe Thin Films, Tokyo National College of Technology, , J. Mater. Sci. Technol., Vol. 13,p. 1997, p.299-301

UOT 532PACS: 77.22.Ej, 64.75.Bc, 31.70.Dk, 61.70.Og

PEQ-LİMON TURŞUSUNUN NA DUZU-SU İKİFAZALI SİSTEMİNİN FAZALARININ FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

ŞAHBAZOVA G.M., ƏLİYEV E.Z., MİRZƏZADƏ A.V., TEYMUROVA J.Z.

Bakı Dövlət Universiteti, Azərbaycan

shahbazova.gunel@mail.ru

XÜLASƏ

Təqdim olunan işdə PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazalı sisteminin fazalarının fiziki-kimyəvi xassələri tədqiq olunmuşdur. Bunun üçün ilk öncə limon turşusunun natrium duzu məhlulunun struktur xüsusiyyətləri araşdırılmış (özlü axının aktivləşmə parametrləri, struktur temperaturu) və ona PEQ-in təsirinə baxılmışdır. Daha sonra baxdığımız məhlullar ikifazalı sistem verdikdən sonra onu fazalarına ayıraraq, aşağı və yuxarı fazadakı məhlulların kinematik və dinamik özlülükləri, sıxlıqları ölçülmüşdür. Özlülüğün temperatur asılılığından istifadə edərək özlü axının aktivləşmə parametrləri (ΔG_{η} , ΔH_{η} , ΔS_{η}), struktur temperaturu (T_{str}) təyin olunmuşdur.

Açar sözlər: ikifazlı sistemlər, polietilenqlikol, limon turşusunun natrium duzu, özlülük, aktivləşmə parametrləri

STUDY OF THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF THE PHASES OF THE PEG-SODIUM CITRATE-WATER TWO-PHASE SYSTEM

ABSTRACT

In the presented work, the physicochemical properties of the phases of the two-phase system PEG-sodium citrate-water were studied. For this, first of all, the structural properties of sodium salt solution of citric acid were investigated (viscous flow activation parameters, structural temperature) and the effect of PEG on it was examined. Then, after the two-phase system was formed by the solutions we considered, it was separated into its phases, and the kinematic and dynamic viscosities and densities of the solutions in the lower and upper phases were measured. The activation parameters of the viscous flow (ΔG_{η} , ΔH_{η} , ΔS_{η}) and structure temperature (T_{str}) were determined from the temperature dependence of viscosity.

Keywords: two-phase systems, polyethylene glycol, sodium salt of citric acid, viscosity, activation parameters

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФАЗ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПЭГ- ЦИТРАТ НАТРИЯ-ВОДА

РЕЗЮМЕ

В представленной работе исследованы физико-химические свойства фаз двухфазной системы ПЭГ-цитрат натрия-вода. Для этого прежде всего были исследованы структурные свойства раствора натриевой соли лимонной кислоты (параметры активации вязкого течения, структурная температура) и рассмотрено влияние на него. Затем, после образования двухфазной системы из рассмотренных нами растворов, ее разделяли на фазы и измеряли кинематическую и динамическую вязкости и плотности растворов в нижней и верхней фазах. По температурной зависимости вязкости определяли активационные параметры вязкого течения (ΔG_{η} , ΔH_{η} , ΔS_{η}) и температуру конструкции (T_{str}).

Ключевые слова: двухфазные системы, полиэтиленгликоль, натриевая соль лимонной кислоты, вязкость, активационные параметры.

Bioloji hissəciklər qarışıqlarının komponentlərinin hər birinin ayrılıqda tədqiq etmək məqsədi ilə ayrılması və təmizlənməsi qarşısında tibbi və farmakoloji sənayələrin qoyduğu tələblər gün gündən artmaqdadır. Kimyəvi maddələrin ayrılması və təmizlənməsi üçün

mövcud olan çoxlu sayda metodlar bioloji maddələrin təmizlənməsi üçün yaramır, bioloji materiallar müxtəlif faktorların təsiri nəticəsində asanlıqla öz bioloji aktivliklərini itirirlər, denaturasiyaya uğrayırlar. Ona görə də son zamanlar bioloji maddələrin təmizlənməsi üçün “yumşaq” mühit təmin olunmaqla bir sıra xüsusi metodlar işlənib hazırlanmışdır, lakin bu metodlar böyük əmək tələb edir və baha başa gəlir.

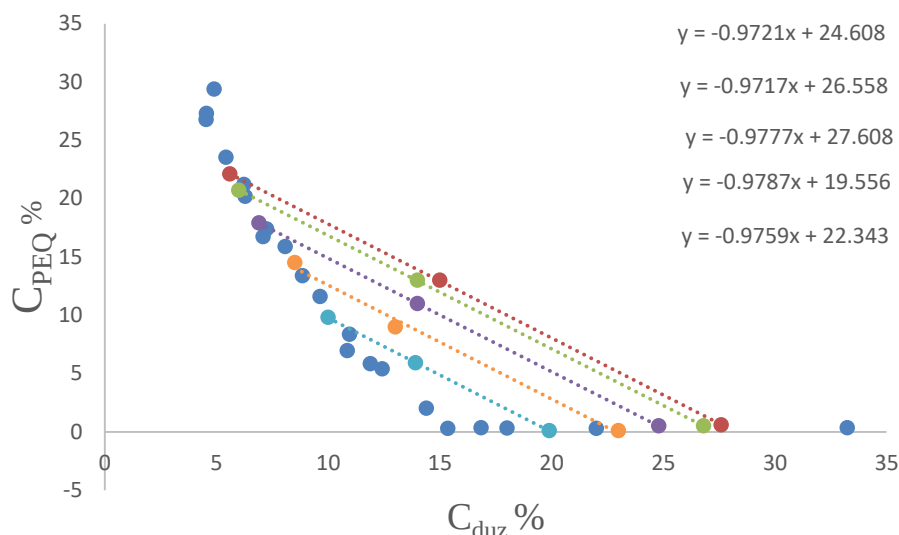
Albertson [1] bioloji materialların ayrılması və təmizlənməsi üçün sadə, ucuz və səmərəli metod-maddələrin ikifazlı su-polimer sistemlərində qeyri-bərabər paylanmasına əsaslanan metodu işləyib hazırlanmışdır. Məlumdur ki, kimyəvi xassələri bir-birindən fərqlənən iki polimerin və ya bir polimer və bəzi elektrolitlərin sulu məhlullarının qarışığının, komponentlərin konsentrasiyasının müyyən bir qiymətindən böyük qiymətlərində iki fazaya ayrılır. Belə ikifazlı sistemin fazalarının biri polimerin biri, digəri isə ikinci polimerlə zəngin olur. Fazalarda həlledici sudur və hər iki fazanın əsasını təşkil edir (~70-95%). Belə sistemə bioloji obyektlər (zülallar, hüceyrələr, viruslar və c.) qarışığı daxil edildikdə, onların hər bir növü sistemin bu və ya digər fazasında toplanırlar. Biomaterialların ikifazlı sistemdə paylanması onların fərdi xüsusiyyətlərindən, fazaəmələgətirən komponentlərinin təbiətindən və konsentrasiyasından, sistemə edilən əlavələrin konsentrasiyasından və təbiətindən asılıdır.

Müasir təsəvvürlərə görə sistemin fazalarda strukturuna və termodinamik halına görə fərqlənən iki su-polimer strukturu formalaşır [1]. Bu iki fazalar bir birlərindən fiziki-kimyəvi xassələrinə görə və müxtəlif paylanan hissəciklərə hərisliklərinə görə fərqlənirlər. hesan edirik ki, homogen-heterogen faza keçidinin baş vermə ardıcılığını izləsək, onların ayrılıqda bir sıra fiziki-kimyəvi xassələrini tədqiq etmək aktualdır.

Özlü axının aktivləşmə parametrləri dedikdə, baxılan sistemin özlü axının aktivləşmə parametrlərinin - Gibbs sərbəst enerjisinin (ΔG_n), entalpiyanın (ΔH_n) və entropiyanın dəyişməsi (ΔS_n) başa düşülür [2, s.32- 35] Özlü axının aktivləşmə parametrlərinin (ΔG_n , ΔH_n , ΔS_n) müxtəlif xarici amillərdən (temperatur, konsentrasiya və s.) asılılıqlarının təhlili, mayelərdə, o cümlədən məhlullarda yaranan struktur dəyişmələrinin tədqiqində mühüm rol oynayır [2, s.32-35]. Mayələrin özlü axının aktivləşmə parametrləri, müxtəlif xarici amillərin təsiri ilə mayelərdə yaranan enerji və struktur dəyişikliklərini müəyyən etməyə, sulu məhlullarda hidrogen rabitələrinin əmələ gəlməsi və qırılması haqqında müəyyən informasiya əldə etməyə imkan verir [3, s.23], [4, s.7185], [5, s.1457]. Özlü axının aktivləşmə Gibbs enerjisi (ΔG_n) verilmiş təzyiq və temperaturda 1 mol maye molekullarının axın halına keçməsinə sərf olunan enerjidir. Özlü axının aktivləşmə entalpiyası (ΔH_n) məhlulda yaranan dəyişmələri enerji baxımından xarakterizə edir. Belə ki, ΔH_n -in qiymətinin böyük olması baxılan sistemin daha möhkəm struktura malik olmasını göstərir. Özlü axının aktivləşmə entropiyası (ΔS_n) isə mayədə mövcud nizamlılıq haqqında qiymətli məlumatlar verir.

İşdə İspaniyanın “Panreac” firmasının istehsal etdiyi molekulyar çəkisi $M_n=6000$ olan PEQ və limon turşusunun natrium duzundan istifadə edilir. Bütün təcrübələr kvars plitələrində iqiqat distillə edilmiş su ilə aparılmışdır. PEQ-in ilkin məhlulunu (adətən 39%) hazırlamaq üçün müəyyən miqdarda polimer tərəzidə çəkilmiş və su hamamında 100°C-də qızdırılmaqla 10-15 dəqiqə suda həll edilmişdir. Sterilizasiya etmək üçün polimer məhlulu isti halda süzülür və 20 q qablarda soyuducuda saxlanılır. Limon turşusunun natrium duzunun sulu məhlulları (adətən 37%) hazırlanmış və sonra faizlə ifadə edilmişdir. Məhlulun özlülüyünü ölçmək üçün SVM3000 Stabinger viskozimetrindən istifadə etdik.

İkifazlı sulu polimer sistemlərinin əsas xarakteristikalarından biri onun binodal əyrisidir (hal diaqramı). İkifazlı sulu polimer sistemlərinin binodalı dedikdə, C_{pol1} və C_{pol2} asılılığında birfazlı oblastdan ikifazlı oblasta keçən nöqtələrin həndəsi yeri başa düşülür. Şəkil 1-də sxematik olaraq baxdığımız PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sisteminin tipik hal diaqramı verilmişdir.



Şəkil.1-PEQ-limon turşusunun natrium duzu-su ikifazlı sisteminin hal diaqramı və binodal əyrisi

Şəkil 1-də binodal əyrisindən aşağıdakı oblast birfazlı-homogen oblast, yuxarıdakı oblast isə ikifazlı-heterogen oblastdır. Başqa sözlə, yuxarı oblastdan götürülmüş istənilən nöqtənin koordinatlarına uyğun sistem termodinamik tarazlıq halına gəldikdə iki fazaya ayrılmış olacaq. Müasir təsəvvürlərə görə sistemin fazalarda strukturuna və termodinamik halına görə fərqlənən iki su-polimer strukturu formalaşır [1]. Bu iki fazalar bir birlərindən fiziki-kimyəvi xassələrinə görə və müxtəlif paylanan hissəciklərə hərisliklərinə görə fərqlənirlər. hesan edirik ki, homogeny-heterogen faza keçidinin baş vermə ardıcılığını izləsək, onların ayrılıqda bir sıra fiziki-kimyəvi xassələrini tədqiq etmək aktualdır.

Təqdim olunan işdə PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sisteminin fazalarının ayrılıqda fiziki-kimyəvi xassələri tədqiq olunmuşdur. Bunun üçün həm heterogen oblastda, həm də homogen oblastdan götürdüyümüz nöqtəyə uyğun məhlul hazırlayıb, baxdığımız ikifazlı sistemi fazalarına ayıraraq, aşağı və yuxarı fazadakı məhlulların özlülükləri, sıxlıqları, sındırma əmsalı, elektrikkeçiriciliyi ölçülmüşdür. Özlülüyn temperatur asılılığından istifadə edərək özlü axının aktivləşmə parametrləri (ΔG_η , ΔH_η , ΔS_η), struktur temperaturu (T_{str}) təyin olunmuşdur.

Baxılan sistemlərin normal atmosfer təzyiqində müxtəlif temperaturalarda sıxlığının, dinamik, kinematik özlülüynünün təcrübi qiymətləri cədvəl 1-2-də, özlü axınının aktivləşmə parametrlərinin ($\Delta G_\eta^\#$, $\Delta H_\eta^\#$ və $\Delta S_\eta^\#$) hesablanan qiymətləri cədvəl 3,4-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1. PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sistemini fazalara ayırdıqdan sonra aşağı fazadakı məhlulların dinamik, kinematik özlülükləri, sıxlıqları

N	t, °C	η , mPa*san	ν , mm ² /s	ρ , q/sm ³
1	25	4.3453	3.5603	1.2205
2	30	3.7592	3.0819	1.2198
3	35	3.2992	2.7176	1.2140
4	40	2.8371	2.3410	1.2119
5	45	2.5623	2.1271	1.2046
6	50	2.2908	1.8997	1.2059
7	55	2.0843	1.7331	1.2026

Cədvəl 2. PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sistemini fazalara ayırdıqdan sonra yuxarı fazadakı məhlulların dinamik, kinematik özlülükləri, sıxlıqları

N	t, °C	η , mPa*san	ν , mm ² /s	ρ , q/sm ³
1	25	149.72	137.22	1.0911
2	30	124.68	114.60	1.0880
3	35	102.37	94.561	1.0826
4	40	78.743	72.856	1.0808
5	45	73.925	68.670	1.0765
6	50	63.345	59.040	1.0729
7	55	53.642	50.200	1.0686

Cədvəl 3. PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sistemini fazalara ayırdıqdan sonra yuxarı fazadakı məhlulların müxtəlif temperaturalarda özlü axınının aktivləşmə parametrləri ($\Delta G_{\eta}^{\neq}$, $\Delta H_{\eta}^{\neq}$ və $\Delta S_{\eta}^{\neq}$)

T	ΔG	ΔH	ΔS
298.15	1244197	72471.5	242.0706
303.15	1247741	72086.64	236.792
308.15	1245197	68809.54	222.2989
313.15	1223972	62915.66	199.9122
318.15	1243812	54654.66	170.789
323.15	1237213	44253.06	135.9428
328.15	1242414	31916.58	96.26217

Cədvəl 4. PEQ-limon turşusunun Na duzu-su ikifazlı sistemini fazalara ayırdıqdan sonra aşağı fazadakı məhlulların müxtəlif temperaturalarda özlü axınının aktivləşmə parametrləri ($\Delta G_{\eta}^{\neq}$, $\Delta H_{\eta}^{\neq}$ və $\Delta S_{\eta}^{\neq}$)

T	ΔG	ΔH	ΔS
298.15	367198.7	-9481.05	-32.7996
303.15	365639.9	-9482.02	-32.2783
308.15	365609.8	-9482.96	-31.7738
313.15	359130	-9483.86	-31.2854
318.15	354918.7	-9484.74	-30.8122
323.15	345750.2	-9485.59	-30.3535
328.15	356736.1	-9486.42	-29.9088

Cədvəllərdən göründüyü kimi, temperatur artdıqca özlü axının aktivləşmə entalpiyası və entropiyası azalır. Baxdığımız ikifazlı sistemdə yuxarı faza PEQ-lə zəngin olduğundan, həmin fazada özlü axının entalpiyası da böyük olmalıdır. Bu nəticə də təcrübədə təsdiq olunur.

Cədvəl 5-də Su-limon turşusunun Na duzu və PEQ-su-limon turşusunun Na duzu sistemlərinin ikifazalı sistem vermədən, ikifazalı verdikdən sonar sistemin yuxarı və aşağı fazalarındakı məhlulların struktur temperaturu verilmişdir.

Cədvəl 5. Su-limon turşusunun Na duzu və PEQ-su-limon turşusunun Na duzu (ikifazalı vermədən, ikifazalı sistemin yuxarı və aşağı fazaları) sisteminin struktur temperaturu

Məhlullar	T_{str}
Su-limon turşusunun Na duzu-PEQ (yuxarı-PEQ çox olan faza)	177
Su-limon turşusunun Na duzu-PEQ (aşağı-limon turşusunun natrium duzu çox olan) fazadakı məhlul	211
Su-limon turşusunun Na duzu	148
Su-limon turşusunun Na duzu-PEQ (ikifazalı vermir)	160

Struktur temperaturu bilavasitə mayedə olan strukturlaşdırıcı qarşılıqlı təsirlərlə əlaqədar parametrdir. Bu səbəbdən də hər hansı faktorların təsiri ilə mayenin (məhlulun) strukturunun dəyişməsi struktur temperaturunun qiymətini dəyişdirəcək. Belə ki, sulu məhlulun struktur temperaturu təmiz suyun struktur temperaturundan böyükdürsə, suya əlavə edilən maddə suyu strukturlaşdırır. Əgər sulu məhlulun struktur temperaturu təmiz suyun struktur temperaturundan kiçikdirsə, suya əlavə edilən maddə suyun strukturunu dağıdır.

Təmiz suyun struktur temperaturu $T_{str}=146K$ olduğundan, deyə bilərik ki, limon turşusunun Na duzu suya neytral təsir edir, lakin PEQ-in təsirlə bu sistem suyu strukturlaşdırır. PEQ-in suyu strukturlaşdırdığı məlumdur. ona görə ikifazalı sistemin yuxarı fazasında PEQ çox olduğundan struktur temperaturu da həmin fazada daha çoxdur.

ƏDƏBİYYAT SIYAHISI

1. Zaslavsky B.Y, Masimov E.A, Methods of Analysis of the relative hydrophobity of biological solutes// Topics current chemistry. 1988-146.-p.171-202
2. Məsimov E.Ə., Həsənov H.Ş., Paşayev B.G., Həsənov N.H. Özlü axının aktivləşmə parametrlərinin təyini üsulları. Bakı Universitetinin Xəbərləri, fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, 2005, № 2, s.138-150
3. Альбертсон П.О. Разделения клеточных частиц и макромолекул – М: Мир, 1974, 392 с.
4. Масимов, Э.А., Гасанов, Г.Ш., Пашаев, Б.Г. Изменение структуры воды в водных растворах уксусной кислоты в зависимости от концентрации и температуры по данным денситометрии, вискозиметрии и ИКспектроскопии // Журнал физической химии, – 2013. 87, № 6, – с. 969-972.
5. Abbasi, A., Ziad Saghir, M., Kawaji, M. Evaluation of the activation energy of viscous flow for a binary mixture in order to estimate the thermodiffusion coefficient // Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics, – 2011. 36, № 1, – p. 23-40.
6. Piskulich, Z.A., Mesele, O.O., Thompson, W.H. Activation Energies and Beyond // Journal of Physical Chemistry A, – 2019. 123, – p. 7185-7194.
7. Rohindra, D.R., Lata, R.A., Coll, R.K. A simple experiment to determine the activation energy of the viscous flow of polymer solutions using a glass capillary viscometer // European Journal of Physics, – 2012. 33, № 5, – p. 1457-1464.

UOT:532PACS:77.22.Ej, 64.75.Bc, 31.70.Dk, 61.70.O**MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏ MEXANİZMLƏRİ****G.G. MIRZAYEVA¹, A.S.ƏLƏKBƏROV¹, R.B.BAYRAMLI²**¹Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,

Bakı, AZ-1000, Azərbaycan

²Azərbaycan Mühəndislik Universiteti,

Bakı, AZ-0101, Azərbaycan

fizik-3@rambler.ru

XÜLASƏ

Tədqiqat işində mayelərin səthi gərilmə hadisəsinin Nyuton və Laplas mexanizmləri verilmişdir. Laplasın statik modeli əsasında mayelərdə səthi gərilmənin və bununla bağlı təzyiqin yaranması izah edilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu modelə görə hissəciklərarası itələmə qüvvəsini sıxılmayan mayenin bütün həcmində təsir göstərən daxili təzyiqə ifadə etmək olar. Mayelərin səthi gərilməsini xarakterizə etmək məqsədi ilə riyazi hesablamalar aparılmış və ilkin şərtlərdən asılı olan model müəyyən edilmişdir. Kapilyarlıq şərti üçün Yung modeli araşdırılmış və başlanğıc şərtləri müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: maye, səthi gərilmə, kapilyarlıq, Laplas modeli, Yung modeli.

**МЕХАНИЗМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ
РЕЗЮМЕ**

В этом исследовании изучены механизмы поверхностного натяжения жидкостей. Показаны механизмы поверхностного натяжения Ньютона и Лапласа и дано объяснение этих механизмов. Установлено, что статическая модель Лапласа может быть применена к формированию поверхностного натяжения и связанного с ним давления в жидкостях. Показано, что в рамках этой модели сила отталкивания между частицами может быть заменена внутренним давлением, действующим на весь объем несжимаемой жидкости. Для характеристики поверхностного натяжения жидкостей были проведены математические расчеты и определена модель, зависящая от начальных условий. Исследована модель Юнга для условия капиллярности и определены начальные условия.

Ключевые слова: жидкость, поверхностное натяжение, модель Лапласа, модель Юнга.

MECHANISMS OF SURFACE TENSION OF LIQUIDS**ABSTRACT**

This study explored the mechanisms of surface tension in liquids. The mechanisms of Newton's and Laplace's surface tension are shown and an explanation of these mechanisms is given. It has been established that the static Laplace model can be applied to the formation of surface tension and associated pressure in liquids. It is shown that, within this model, the repulsive force between

particles can be replaced by internal pressure acting on the entire volume of an incompressible fluid. To characterize the surface tension of liquids, mathematical calculations were carried out and a model was determined that depends on the initial conditions. The Young model for the capillarity condition is investigated and the initial conditions are determined.

Key words: liquid, surface tension, Laplace model, Young model

Giriş

Mayelərdə baş verən proseslərin tədqiq edilməsi fizika və texnikanın əsas tədqiqat istiqamətlərindən hesab olunur [1-3]. Mayelərin bərk cisimlər və qazlarla oxşar xüsusiyyətlərinin olması onların aralıq mövqe tutması ilə bağlıdır. Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki,

ərimə prosesi zamanı bərk cisimlərdə atomlar (ionlar) arasındakı rabitələrin yalnız 20÷25%-i qırılır. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, ərimə zamanı, miqdar baxımından, rabitələr o qədər də ciddi dəyişikliyə məruz qalmır. Bu xüsusiyyətlər qaynama temperaturuna kimi bütün mayelər üçün öz gücünü saxlayır. Qaynama prosesi zamanı alınmış qaz halı isə maddələrin xassələrini tamamilə dəyişir. Deyilənlər onu göstərir ki, mayelər bir çox fiziki xassələri ilə müvafiq bərk fazaların fiziki xassələrini özündə daşıyır [4-7].

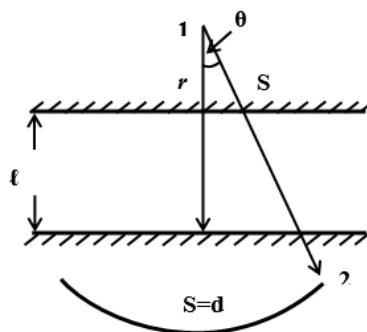
Mayələrin müxtəlif fiziki və kimyəvi xassələri arasında səthi gərilmə xassələri xüsusi yer tutur. Belə ki, səthi gərilmə qüvvələrinin öyrənilməsi, həm mayələrin səthində baş verən prosesləri izah etməyə, həm də başqa mayelərlə qarşılıqlı əlaqəsi zamanı baş verən prosesləri tədqiq etməyə imkan verir [8-10]. Ona görə də mayələrin müxtəlif səthi gərilmə mexanizmləri araşdırılmış və bu hadisələrin modelləri göstərilmişdir.

Nyuton və Laplas mexanizmləri

Mayelərdə səthi gərilmə hadisəsini və onunla bağlı digər hadisələri izah etmək məqsədi ilə, tarixən müxtəlif yanaşmalardan, modellərdən istifadə olunmuşdur. İlk elmi model statik, yaxud molekulyar model adlanır. Bu model qaz təzyiqinin yaranmasına dair Nyuton təsəvvürlərinə əsaslanır. Nyutona görə qaz təzyiqinin yaranmasının əsas səbəbi qaz hissəcikləri arasında statik itələmədir. Statik modeldə hissəciklər arasında itələmə və cəzibmə qüvvələrinin birgə təsiri eyni zamanda nəzərdən keçirilmir. İlk dəfə Laplas statik modeli mayelərdə səthi gərilmə və bununla bağlı təzyiqin yaranmasına tətbiq etmişdir. Laplasa görə hissəciklərarası itələmə qüvvəsini sıxıl-mayan mayenin bütün həcmində təsir göstərən daxili təzyiqlə ifadə etmək olar.

Deyilən yaxınlaşma baxımından mayedə daxili təzyiqin yaranması nəzərdən keçirilmişdir. Daxili təzyiq mayedaxili ilişmənin tarazlamasını təmin edir və onu sonsuz ölçülü mayeni bir-birindən kifayət qədər böyük məsafədə yerləşən müstəvi səthlə məhdudlaşan iki hissəyə ayırmaqdan ötrü lazım olan vahid səthə düşən cəzibmə (ilişmə) qüvvəsi ilə əvəz etmək olar. Bir-birindən l qalınlıqlı təbəqə ilə ayrılan iki yarımsonsuz maye təbəqəsini nəzərdən keçirək (Şəkil 1).

Maye hissələrinin hər birində elementar həcm ayıraq.



Şəkil 1. Laplas təzyiqini hesablaması sxemi.

Aşağı müstəvi səthdən r qədər məsafədə yerləşən birinci (yuxarı) maye cisimdəki elementar həcm (dx, dy, dr)-dir. Başlanğıcı birinci elementar həcmdə yerləşən polyar koordinat sistemində ikinci həcm elementi $s^2 \sin \theta \cdot ds \cdot d\theta \cdot d\varphi$ olar. Tutaq ki, bir-birindən s qədər məsafədə yerləşən iki molekul arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsi $f(s)$ -dir. Bu qüvvənin təsir sferasının radiusunu d ilə işarə edək. Cəzibə təbiətli bu qüvvə aşağıdakı şərti ödəyir:

$$f(s < d) < 0; f(s \geq d) = 0. (1)$$

Baxılan hər iki hissədə mayenin həcmi eyni və sıxlığını ρ –a bərabər götürsək, 1 və 2 elementləri arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsinin şaquli toplananı

$$f_{\perp} = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dr \cdot \rho \cdot s^2 \sin \theta \cdot ds \cdot d\theta \cdot d\varphi \cdot f(s) \cdot \cos \theta (2)$$

olar. Vahid səthə düşən tam cəzəbmə qüvvəsi isə

$$F(l) = -\rho^2 \int_l^d dr \int_r^d s^2 f(s) ds \int_0^\pi \sin \theta \cos \theta d\theta = -\pi \rho^2 \int_l^d dr \int_r^d ds (s^2 - r^2) f(s) (3)$$

Molekullararası qarşılıqlı təsir potensialını $U(s)$ -lə işarə etsək,

$$U(s) = \int_s^d f(s') ds', \text{ yəni } \frac{dU}{ds} = -f(s); U(s \geq d) = 0 \text{ və}$$

$$F(l) = \pi \rho^2 \int_l^d dr \int_r^d dU(s) (s^2 - r^2) = -2\pi \rho^2 \int_l^d dr \int_r^d s \cdot u(s) ds (4)$$

kimi yazıla bilər. (4) ifadəsini hissə-hissə integrallasaq,

$$F(l) = -2\pi \rho^2 \int_l^d r(r-l)u(r)dr (5)$$

alırıq.

Daxili Laplas təzyiqi (K) iki müstəvi səth təmasda olduqda onların vahid səthləri arasındakı cəzəbmə qüvvəsi olduğundan, onu aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$K \equiv F(0) = -\frac{1}{2} \rho^2 \int_0^d U(r) dr. (6)$$

Mayenin bütün həcmində $U(r)$ funksiyası mənfi, yaxud sıfıra bərabər olduğundan K həmişə müsbətdir.

Səthi gərilmə, vahid sərbəst səth yaratmaq üçün görülən işi təyin etmək üçün (5) düsturundan istifadə etmək lazım gəlir. Təmasda olan iki yarımsonsu, müstəvi səthli cismi bir-birindən molekulyar təsir sferanın radiusundan böyük məsafəyə ayırmaq üçün görülən işi aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$H = \int_s^d F(l)dl = -\pi \rho^2 \int_0^{d_3} lu(l)dl. (7)$$

Molekulyar səviyyədə təmasda olan cisimləri (hissələri) iki sərbəst səthə ayırmaq üçün lazım olan işi vahid sərbəst səthə düşən səth enerjisinin iki mislinə bərabərləşdirsək, səthi gərilmə əmsali

$$\sigma = \frac{1}{2} H = -\frac{1}{8} \rho^2 \int_0^d rU(r)dr (8)$$

olar.

(6) və (7) ifadələrindən göründüyü kimi Laplas modelində mayenin daxili təzyiqi K molekullararası qarşılıqlı təsir potensialının integralına, vahid səth yaratmaq üçün tələb olunan iş isə bu potensialın birinci momentinə bərabərdir. (8)-dən göründüyü kimi səthi gərilmə ilk növbədə molekullararası qarşılıqlı təsir potensialı ilə $[U(r)]$ təyin olunur. Lakin mayenin səthi və həcmi molekullar arasında qarşılıqlı təsirin təbiəti fərqlidir. Başqa sözlə, σ –nın tədqiqində həcmi potensialdan istifadə etmək korrekt deyil. Bu məqsədlə φ –mayenin hər hansı nöqtəsində koqeziya enerjisinin sıxlığından istifadə olunur: $\phi = \frac{\delta U}{\delta V}$ –dir. (δU –baxılan nöqtə mərkəzində olmaqla seçilən kiçik δV həcmə müvafiq daxili enerjidir). Molekulyar model üçün:

$$2\phi = \rho^2 \int U(r)dr - \text{dır} \quad (9)$$

ifadəsini yazmaq olar. Burada r – nəzərdən keçirilən nöqtədən olan məsafədir. Laplas təzyiqini (K), 2ϕ kəmiyyətinin mayenin səthindəki ($2\phi_s$) və həcmində götürülmüş nöqtədəki (ϕ_l) qiymətlərinin fərqi kimi yazmaq olar. Mayenin səthi üçün (9) inteqralı d radiuslu yarımsfera ilə məhdudlaşdığından, inteqrallama tam sfera boyunca aparıla bilər: $\phi_l = 2\phi_s$ olduğundan

$$\phi_s - 2\phi_l = -\phi_l = 2\pi\rho^2 \int_s^d r^2 U(r)dr = K \quad (10)$$

yaza bilərik.

İndi isə R radiuslu maye damcısını nəzərdən keçirək. Bu halda ϕ_l əvvəlki qaydada hesablanır. Lakin ϕ_s səthin ayrılığı üzündən məhdud həcm oblastında aparılmalıdır. Əgər $\vec{r}$ vektoru ilə fiksə olunmuş $\vec{R}$ vektoru arasındakı bucağı θ ilə işarə etsək, ϕ_s –i aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\phi_s = \pi\rho^2 \int_0^d r^2 U(r)dr \int_0^{\cos^{-1}(r/2R)} \sin\theta \cdot d\theta = \pi\rho^2 \int_0^d r^2 \left(1 - \frac{r}{2R}\right) U(r)dr \quad (11)$$

Onda damcı daxilindəki təzyiq

$$2\phi_s - \phi_l = K + \frac{H}{K} = K + \frac{2\sigma}{R} \quad (12)$$

olar.

Əgər biz sferik damcı əvəzinə, baş ayrılık radiusları R_1 və R_2 olan qabarıq səthli maye damlasını nəzərdən keçirsək, daxili təzyiq üçün:

$$2\phi_s - \phi_l = K + \sigma(R_1^{-1} + R_2^{-1}) \quad (13)$$

yazmaq olar.

Qabarıq səth üçün R müsbət olduğundan, K və H kəmiyyətləri isə həmişə müsbət olduğundan maye damcısında daxili təzyiq müstəvi maye səthi altındakı daxili təzyiqdən böyük olar. Çökük səthə malik damcı daxilində isə təzyiq, əksinə müstəvi səthi altındakı daxili təzyiqdən kiçikdir. Hadisənin formal səbəbi R -in mənfi olmasıdır. Qeyd olunan nəticələr kapilyarlığa dair Laplas nəzəriyyəsinin əsasını təşkil edir. Damcı daxilindəki təzyiqlə (P_m) damcını əhatələndirən qaz mühitinin təzyiqi (qaz təzyiqi P_2) arasındakı fərqi ifadə edən düstur Laplas tənliyi adlanır:

$$\Delta P = P_m - P_2 = \frac{2\sigma}{R} \quad (14)$$

Burada R -damcının radiusudur. Laplas tənliyini molekulyar quruluşdan asılı olmayan digər üsullarla da (termodinamik, statistik) müəyyənləşdirmək olar.

Kapilyarlıq hadisəsi üçün Yunq modeli

Yuxarıda alınan nəticələri bərk cisim-maye-qaz üç fazalı sistemə tətbiq edək. Fərz edək ki, bərk fazanın sıxlığı ρ_2 –dir. Molekullararası qarşılıqlı təsir potensialını maye üçün $U_{1,1}$, bərk cisim üçün $U_{2,2}$ ilə işarə etsək, bir-birindən müəyyən qədər məsafədə yerləşən maye hissələrinin ayrılma səthinin vahid hissəsinə təsir edən qüvvəni aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$F_{12}(l) = 2\pi\rho_1\rho_2 l \int_0^{d_{12}} r U_{12}(r)dr - 2\pi\rho_1\rho_2 \int_0^{d_{12}} r^2 U_{12}(r)dr \quad (15)$$

Maye və bərk cisimləri bir-birindən ayırmaq üçün tələb olunan iş isə

$$H_{12} = \int_0^{d_{12}} F_{12}(l) dl \quad (16)$$

ifadəsi ilə təyin olunacaq. Görülən iş, yeni yaranan maye-qaz (σ_{mq}) və bərk-qaz (σ_{bq}) səthlərinə uyğun səth enerjisinin cəmi ilə artır, dağıdılmış (yox edilmiş) maye-bərk (σ_{mb}) səthinin müvafiq enerjisinin fərqinə bərabərdir:

$$H_{12} = \sigma_{m \cdot 2} + \sigma_{\delta \cdot 2} - \sigma_{m \cdot \delta} \quad (17)$$

Beləliklə, maye-bərk faza sərhədində səthi gərilmə əmsalı üçün

$$\sigma_{m \cdot \delta} = \left(\frac{H_{11}}{2} \right) + \left(\frac{H_{22}}{2} \right) - H_{12} \quad (18)$$

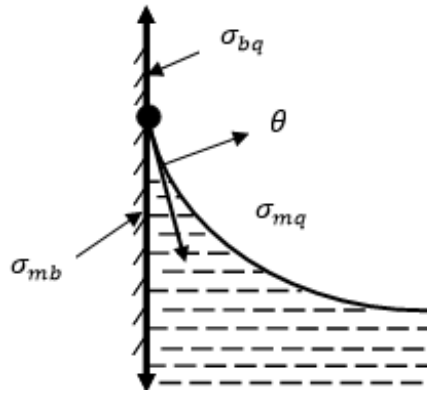
ifadəsini yazmaq olar.

Burada $\sigma_{mq} = \left(\frac{H_{11}}{2} \right)$ və $\sigma_{bq} = \left(\frac{H_{22}}{2} \right)$ –dir. Umumilikdə is

$$H_{ij} = -\frac{1}{2} \rho_i \rho_j \int_0^{d_{ij}} r U_{ij}(r) dr - \text{dir.} \quad (19)$$

Ayrılan səthlərindən biri bərk cisim səthi olduqda səthi gərilmənin araşdırılmasında bir sıra çətinliklər yaranır.

Üçfazlı kontakt sərhədində (17 və 18)-ə müvafiq olaraq U_{11} , U_{22} və U_{12} olmaqla üç molekullararası qarşılıqlı təsir potensialından danışmaq lazımdır. Əgər kontakt xətti bərk cismin səthi boyunca hərəkət etmirsə, onda kontakt nöqtəsində hər üç səthi gərilmələrə müvafiq qüvvələrin əvəzləyicisi sıfır olmalıdır. Üç fazalı kontaktın sxematik təsviri şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 4.2. Üç fazanın birgə kontaktında səthi gərilmənin yaranma sxemi.

Şəkil 2-dən göründüyü kimi

$$\sigma_{bq} = \sigma_{mb} + \sigma_{mq} \cos \theta. \quad (20)$$

(20)-i ilk dəfə Yunq tərəfindən təklif edildiyindən o, Yunq tənliyi də adlanır.

$$K = \left[\frac{\sigma_{b,q} - \sigma_{m,b}}{\sigma_{m,q}} \right] = \cos \theta. \quad (21)$$

K çox vaxt islatma əmsalı adlanır. Əvvəlcədən üç molekulyar qarşılıqlı təsir potensialının qiyməti və təsir dairəsi haqqında məlumatımız olmadığından $\sigma_{b,q}$, $\sigma_{m,b}$, $\sigma_{m,q}$ kəmiyyətlərinin qiyməti və işarələrinə məhdudiyyət qoymaq mümkün deyil. Bu səbəbdən K-nın qiymət və işarəsinin ixtiyari ola biləcəyini də gözləmək olar. Lakin (21) yalnız K-nın [-

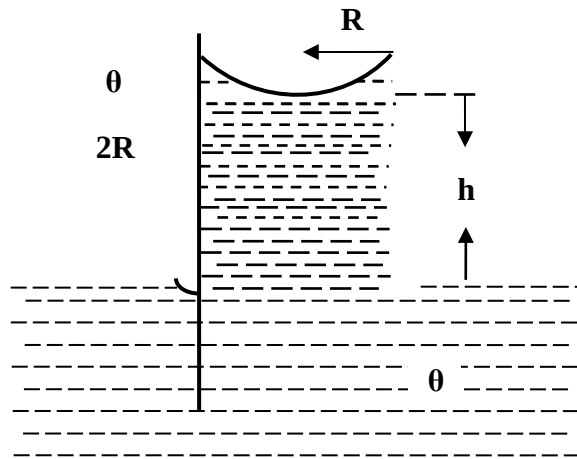
1, +1] intervalında yerləşən qiymətlərində həllə malikdir. Əgər $K = -1$ -dirsə, (21)-dən $\sigma_{m.b} = \sigma_{b.q} + \sigma_{m.q}$ alırıq, yəni maye-bərk maddə sərhədində səthi gərilmə qiymətcə böyük, işarəcə isə müsbət olur. Bu halda maye bərk cisim səthini islatmır. (18)-dən göründüyü kimi son deyilən 1-2 qüvvəsinin 1-1 və 2-1 qüvvələrinə nisbətən zəif olmasına uyğundur. Əgər $(-1 < K < 0)$ -dirsə, onda θ bucağı π ilə $\pi/2$ arasında yerləşir və bu qismən islatmaya, yaxud da islatmanın olmamasına uyğun gəlir. Şüşə lövhə üzərinə qoyulmuş civə damlası üçün son deyilən reallaşır ($\theta \approx 140^\circ$). Əgər $(0 < K < +1)$ -dirsə, bərk cismin səthi islanır və θ bucağı $\pi/2$ ilə 0 arasında dəyişir. Kənar bucağın $\theta = 0$ olması $K = 1$ -ə uyğun gəlir və bu halda bərk cismin səthi tam islanır, maye səth üzrə sərbəst yayılaraq nazik təbəqə yaradır.

Tam islanmaya misal olaraq çox təmiz şüşə səthində suyun yayılaraq molekulyar təbəqəyə

bənzər nazik təbəqə yaratmasını göstərmək olar. Bir daha qeyd edək ki, tam islanma maye molekulaları arasındakı cəzibmədən çox-çox güclü olmasına təvafüq edir. Səthi gərilmə daxili təzyiq və kənar bucağın bilinməsi kapilliarlıqla bağlı bütün hadisələri anlamağa, onları təsvir etməyə imkan verir.

Son deyilənə misal olaraq kapilliar boruda mayenin səviyyəsinin dəyişməsinə nəzərdən keçirək. Kiçik radiuslu ($\sim 1\text{mm}$) şüşə borunu şaquli istiqamətdə geniş qabda yerləşən suya daxil

edək. Borunun daxili divarı üzrə maye təbəqəsi kənar bucaq Yunq şərti ödənilənə kimi yuxarı qalxacaq, nəticədə divarla təmas səthində (divara yaxın yerdə) mayenin səthi çökük forma alacaq (Şəkil 3).



Şəkil 3. İslatma halında kapilliar boruda mayenin səviyyəsi

Laplas təzyiqindən, (14)-dən göründüyü kimi, mayenin çökük səthi altındakı təzyiq müstəvi səth altındakı təzyiqdən kiçikdir. Aydındır ki, bu təzyiqlər fərqi bilavasitə divara yaxın hissədə mayenin divar boyunca şaquli istiqamətdə yuxarıya doğru hərəkətinə səbəb olacaq, yəni xüsusi halda, boru daxilində mayenin səviyyəsi geniş qabdakı səviyyədən yüksək olacaq. Deyilən qalxma boru daxilindəki maye sütununun hidrostatik təzyiqinin daxili təzyiqlər fərqi ilə bərabər olmasına qədər davam edəcək. Onda, göstərmək olar ki, boruda mayenin qalxma hündürlüyü (h) aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$h = \frac{2\sigma_{mq}\cos\theta}{m\rho g R} \quad (22)$$

burada m -molekulun kütləsi, g -sərbəstdüşmə təcili, R -borunun radiusudur. Göründüyü kimi, qalxma hündürlüyü borunun radiusu ilə tərs mütənasibdir və yalnız kənar bucağı $\theta < \frac{\pi}{2}$ qiymətlərində müsbətdir. (20) Yunq tənliyini nəzərə alsaq, deyə bilərik ki, kapilyar boruda mayenin qalxması ancaq $(\sigma_{b,q} - \sigma_{m,b}) > 0$ olduqda mümkündür. Əgər $\theta > 0$ və (4.22)-də ρ –nu daha dəqiq $\Delta\rho = \rho_m - \rho_q$ ifadəsi ilə əvəz etdikdə (22)-dən alırıq:

$$a^2 = \frac{2\sigma_{mq}}{m g \Delta\rho} = R h \quad (23)$$

(23) ifadəsi çox vaxt Puasson düsturu da adlanır. (23) ifadəsi ilə təyin olunan a kəmiyyəti kapilyarlıq sabiti, yaxud da, mayenin kapilyar uzunluğu adlanır. Su üçün 0°C -də $a = 3,93\text{mm}$ –dir və temperaturun artması ilə monoton olaraq azalır, böhran nöqtəsində isə sifıra bərabər olur. Kapilyar uzunluğu kapilyarlıqla əlaqəli olan bir çox hadisələrin, məsələn, asılan damcının formasını, bərk cisimlə təmas sərhəddində maye səthinin formasını və s. təyin edir.

Su, 25°C temperaturda $R = 0,25\text{mm}$ radiuslu boruda $h = 5,87\text{sm}$ hündürlüyə qalxır. Kənar bucaq $\theta \approx 0^\circ$ olduğundan (22)-dən $\sigma \approx \frac{mN}{m} \left(\frac{\text{din}}{\text{sm}} \right) = 72,0 \frac{\text{mC}}{\text{m}^2} (\text{erq}/\text{m}^2)$ alırıq. Bu kəmiyyət təcrübə ilə yaxşı uzlaşır. Mayelərin səthi gərilməsinin təcrübi təyininə dair əksər metodlar kapilyarlıq hadisəsinə əsaslanır. Lakin σ –nın təcrübi təyininin digər metodları da mövcuddur. Onlar arasında lazer şüalarının səpilməsinə əsaslanaraq maye səthində kapilyar damcılarının yayılma sürətinin öyrənilməsi xüsusi maraq kəsb edir. Sıxılmayan özlülüksüz maye səthində yayılan λ uzunluqlu dalğanın faza sürəti (c) aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$qc^2 = g + \left(\frac{\sigma}{m\rho} \right) q^2 = q \left[1 + \frac{(aq)^2}{2} \right]. \quad (24)$$

Burada $q = \frac{2\pi}{\lambda}$ dalğa ədədidir. Uzun dalğalar üçün (24)-dəki birinci hədd əsas rol oynayır və müvafiq dalğa qravitasiya dalğası adlanır. Qısa dalğalar üçün isə ikinci hədd həlledicidir və bu halda dalğa kapilyar dalğa adlanır. Göründüyü kimi, son baxılan halda da, kapilyar uzunluğu a səthi hadisənin baş vermə miqyasını, bir rejimdən digərinə keçid (qravitasiya dalğası $\leftrightarrow$ kapilyar dalğa) şərtini sərhəddini təyin edir.

Nəticə

Mayelərin səthi gərilməsi üçün Nyuton və Laplas mexanizmləri, kapilyarlıq şərti üçün isə Yung modeli araşdırılmışdır. Bu mexanizmlərin işləməsi üçün başlanğıc şərtlər göstərilmişdir. Maye və bərk cisimləri bir-birindən ayırmaq üçün görülməsi tələb olunan işin hesablanması üçün analitik ifadə alınmışdır. Maye-bərk faza sərhəddi üçün müxtəlif parametrlər hesablanmış və səthi gərilmənin analitik ifadəsi müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Laplas modelində mayenin daxili təzyiqi molekullararası qarşılıqlı təsir potensialının integralına, vahid səth yaratmaq üçün tələb olunan iş isə bu potensialın birinci momentinə bərabərdir.

ƏDƏBİYYAT

1. J.N. Coupland, D.J. McClements, Physical properties of liquid edible oils, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74, p.1559-1564 (1997).
2. H.Y.D. Sigaki, E.K. Lenzi, R.S. Zola, M. Perc, H.V. Ribeiro, Learning physical properties of liquid crystals with deep convolutional neural networks, *Scientific Reports*, 10, p.7664 (2020).
3. W.H. De Jeu, Physical properties of liquid crystalline materials in relation to their applications, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 63, p.83-109 (1981).
4. Z. Wang, K. Ito, J.B. Leao, L. Harriger, Y. Liu, S.H. Chen, Liquid-liquid phase transition and its phase diagram in deeply-cooled heavy water confined in a nanoporous silica matrix, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 6, p.2009-2014 (2015).
5. Y. Katayama, T. Mizutani, W. Utsumi, O. Shimomura, M. Yamakata, K. Funakoshi, A first-order liquid-liquid phase transition in phosphorus, *Nature*, 403, p.170-173 (2000).
6. M.W.C. Dharma-wardana, D.D. Klug, R.C. Remsing, Liquid-liquid phase transitions in silicon, *Physical Review Letters*, 125, p.075702 (2020).
7. J.J. Sun, J. Cheng, Solid-to-liquid phase transitions of sub-nanometer clusters enhance chemical transformation, *Nature Communications*, 10, p.5400 (2019).
8. I.M. Hauner, A. Deblais, J.K. Beattie, H.Kellay, D. Bonn, The dynamic surface tension of water, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 8, p.1599-1603, 2017.
9. J.J. Lin, T.B. Kristensen, S.M. Calderon, J. Malila, N.L. Prisle, Effects of surface tension time- evolution for CCN activation of a complex organic surfactant, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22, p.271-284 (2020).
10. A. Fathi-Azarbayjani, A. Jouyban, Surface tension in human pathophysiology and its application as a medical diagnostic tool, *Bioimpacts*, 5, p.29-44 (2015).

UOT:532PACS: 71.15.Mb, 71.20.-b, 71.20.Nr, 71.70.Ch

DIELECTRIC PROPERTIES AND IMPEDANCE OF SOLID SOLUTIONS $(\text{TiInSe}_2)_{1-x}(\text{TiGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$)

¹R.M. SARDARLY, ¹N.A. ALIYEVA, ²R.B.BAYRAMLI,
³R.SH. RAHIMOV, ³J.H. JABBAROV

¹Institute of Radiation Problems, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

²Baku Engineering University, Khirdalan city, Hasan Aliyev str., Baku, Azerbaijan

³Baku State University, Baku, Azerbaijan

sardarli@yahoo.com

ABSTRACT

In the frequency range of 25–10⁶ Hz at a temperature of 300 K, the frequency dependences of the real (ϵ' (v)) and imaginary (ϵ'' (v)) parts of the complex permittivity, as well as the impedance (Z') and (Z'') solid solutions $(\text{TiInSe}_2)_{1-x}(\text{TiGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$). Dependences ϵ'' (ϵ') and Z'' (Z') are plotted, diffraction patterns of the studied solid solutions are obtained, images of the microstructure of the studied solid solutions are obtained by atomic force microscopy. The features of the behavior of the impedance spectra of solid solutions are studied. The variance of the obtained dependences is established, which corresponds to the distribution of relaxation times.

Key words: solid solutions, complex permittivity, atomic force microscopy.

(TiInSe_2)_{1-x}(TiGaTe_2)_x ($x=0; 0.1; 0.2$) BƏRK MƏHLULLARININ DİELEKTRİK XASSƏLƏRİ VƏ İMPEDANSI XÜLASƏ

$(\text{TiInSe}_2)_{1-x}(\text{TiGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$) bərk məhlulların kompleks keçiriciliyin və eləcə də impedansın həqiqi və xəyali hissələrinin tezlik asılılıqları 300 K temperaturda 25–10⁶ Hz tezlik intervalında öyrənilmişdir. ϵ'' (ϵ') və Z'' (Z') asılılıqlarının qrafiki çəkilmiş, difraksiya qanunauyğunluqları və atom qüvvə mikroskopiyası ilə öyrənilən bərk məhlulların mikrostrukturunun təsvirləri alınmışdır. Tədqiq olunan bərk məhlulların impedans spektrlərinin davranış xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Relaksasiya vaxtlarının paylanmasına uyğun gələn asılılıqların dispersiyaları müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: bərk məhlullar, kompleks keçiricilik, atom qüvvə mikroskopiyası.

(TiInSe_2)_{1-x}(TiGaTe_2)_x ($x=0; 0.1; 0.2$) ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИМПЕДАНС РЕЗЮМЕ

Исследованы частотные зависимости комплексной проводимости, действительной и мнимой частей твердых растворов $(\text{TiInSe}_2)_{1-x}(\text{TiGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$) при температуре 300 К в интервале частот 25–10⁶ Гц. Построены графики зависимостей ϵ'' (ϵ') и Z'' (Z'), получены изображения микроструктуры твердых растворов, изученных методами дифрактограммы и атомно-силовой микроскопии. Исследованы поведенческие характеристики спектров импеданса исследуемых твердых растворов. Определены дисперсии зависимостей, соответствующих распределению времен релаксации.

Ключевые слова: твердые растворы, комплексная проводимость, атомно-силовая микроскопия.

1. Introduction

Crystals of the $\text{A}^3\text{B}^3\text{C}_6$ family and solid solutions based on them attract the attention of researchers due to the extremely anisotropic crystal structure, the instability of the crystal lattice to external influences, these crystals are also promising objects in the manufacture of photoelectric converters, strain gauges, X-ray and neutron radiation detectors [1-8].

Increasing requirements for modern solid-state electronic devices make it necessary to obtain and study materials with meta-properties, such as the quantum Hall effect, giant magnetoresistance, giant dielectric relaxation, giant piezoelectric moduli, giant permittivity and superconductivity in alternating electric fields, the ability to control the properties of materials by changing the frequency of the field. In this case, the possibility of using relaxation polarization processes associated with various types of disorder (translational, compositional, positional, topological, nano-porous materials, etc.) and heterogeneity in the properties of components or phases. Disordered materials are the most widespread systems in nature and, as a rule, these are polar systems with a permanent dipole moment. This, in turn, requires obtaining information about the processes of relaxation polarization, due to which, in the main, the described physical properties of materials arise.

Studies of the processes of relaxation polarization, under conditions of high electrical conductivity and in the absence of complete information about its behavior in the entire frequency range in crystals in which features associated with the low dimensionality of the system are observed, make such work relevant. Applied interest is due to the fact that relaxation polarization can be used to create various devices with tunable capacitance and electrical conductivity, to increase the sensitivity of solid-state elements to external influences, and to control the characteristics of solid-state elements by changing the frequency of electrical action.

This work is devoted to an experimental study of the electrical characteristics of solid solution single crystals $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$, by measuring the total complex conductivity and dielectric relaxation in an alternating electric field.

2. Experiment

Solid solutions of compositions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ were obtained by synthesis from extremely pure chemical elements: Tl - 99.999%, In - 99.9999%, Se - 99.99%, Ga - 99.999%, Te - 99.99%. The synthesis was carried out in quartz ampoules evacuated to 10^{-3} Pa by direct fusion of the components taken in a stoichiometric amount corresponding to the composition of the solid solution. The completion of the synthesis and the homogeneity of the obtained composition, as well as its individuality, were controlled by the methods of differential thermal and X-ray phase analyzes (DTA and XRF). The resulting ingots were ground into powder and loaded into a quartz ampoule. After that, the ampoule was evacuated, sealed, and placed in a vertical two-zone furnace with independent temperature control of the installation zones for growing single crystals by the Bridgman method. In the setup, the ampoule moved through the temperature gradient zone at a rate of 0.15 mm/h.

The obtained compositions of solid solutions were homogenized in the lower zone of the furnace by cooling to 700 K, and then the switched off furnace was cooled to room temperature.

Samples from single crystals of solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ for measurements were made in the form of flat capacitors. Silver paste was used as the plates. The capacitance of the samples and the dielectric loss tangent were determined using an E7-25 immittance meter.

Frequency dependences of the impedance modulus $|Z|$ and phase shift angle φ between current and voltage with a step change in frequency in the interval

$f = 25\text{--}10^6$ Hz at a measuring voltage amplitude of 1V. Then the spectra of the real $Z'(f)$ and imaginary $Z''(f)$ components of the impedance were calculated.

To assess the quality and obtain information about the structural features of the surface of the samples of the solid solution, its morphology was studied using an atomic force microscope (AFM). Electron microscopic images were obtained on a Solver Next scanning probe microscope (SPM) in the semi-contact mode under atmospheric conditions at room temperature.

The resulting image (Fig. 1) was characterized by a quasi-periodic wave relief with a scatter in the heights and lateral dimensions of the formations along the base.

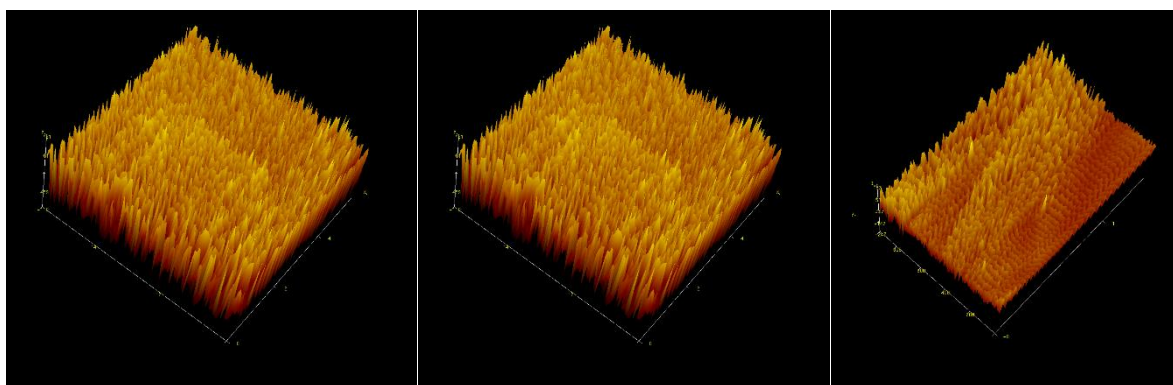


Fig.1. AFM - image in 3D scale of the surface of crystals of solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$).

3. Results and discussion

Dielectric Research

More complete information about the nature of relaxation is obtained from an analysis of the $\epsilon''(\epsilon')$ diagrams. If arcs of semicircles are observed on the diagram, then this indicates the presence of two relaxation processes in different regions of the frequency spectrum. If a straight line is observed on the diagram, located at an angle to the abscissa axis, then this indicates a strong contribution of dc conductivity to the relaxation processes taking place in the compound. In the case of detection of arcs of semicircles, the relaxation times of the compounds under study can be determined as reciprocals of the frequencies at which the maximum is observed in the $\epsilon''(\epsilon')$ diagram. The critical frequency at which the relaxation process prevailing in the low-frequency range changes to another (high-frequency) one corresponds to the point at which one arc of the semicircle passes into another.

As can be seen from the obtained frequency dependences of the real part of the complex permittivity (Fig. 2), for all the studied samples of solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$, with a decrease in the frequency of the measured field ~ 200 Hz to 25 Hz, an increase in the value of $\epsilon'(f)$. In the frequency range greater than $\sim 10^3$ Hz, the real part of the complex permittivity, both for the extreme components of the solution and for solid solutions, shows a weak dependence on the frequency of the measured field.

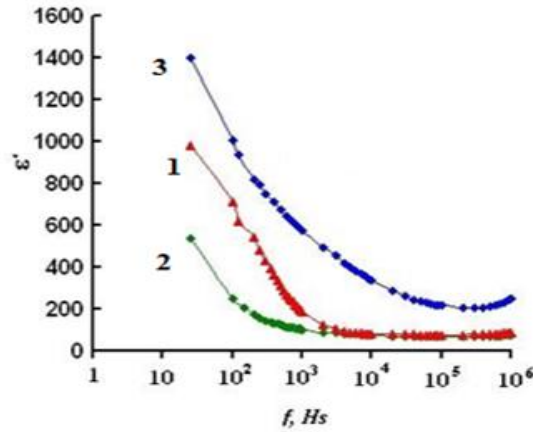


Fig.2. Frequency dependence of ϵ' , ϵ'' for solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$, at 1- $x=0$; 2- $x=0.1$; 3- $x=0.2$.

As can be seen from Fig. 2 (b), for all compositions of solid solutions, there are no features in the frequency dependences of the complex permittivity, i.e., in the entire measured frequency range, no dielectric losses are observed.

The dielectric loss of the composition with $x = 0.2$, that is, with the maximum value of substituting atoms bordering the solubility region, at the minimum frequency of the measured field is $\epsilon'' = 3000$. With an increase in the frequency of the measured field to 10^3 Hz, the dielectric loss decreases to the value $\epsilon'' = 100$. With an increase in the frequency of the measured field, for all compositions of the solid solution, the measured value of dielectric losses remains practically unchanged.

The plotted dependences $\epsilon'(f)$, $\epsilon''(f)$, $\epsilon''(\epsilon')$ are power functions of frequency, therefore, the analysis of these parameters was carried out based on the positions of the Jonscher theory [9] on low-frequency dispersion, according to which the absence of a maximum on the dependence curve $\epsilon''(f)$ can be interpreted in two ways.

1. Two independent parallel processes coexist in the system, one of which dominates at high frequencies due to the normal dielectric response of the material, while the other, highly dispersive, dominates at low frequencies.

2. On the processes of relaxation in the system, makes a significant contribution to the conductivity at direct current.

In recent years, impedance spectroscopy has been widely used in experimental solid state physics, in the study of compounds in which the electrical conductivity is characterized by a significant contribution of ionic conductivity to the complex conductivity of the material. Using this technique, it is possible to obtain information about the microstructure of the material under study, to determine the contributions to the conductivity from grains and grain boundaries in polycrystalline and composite materials, to establish the effect of impurities on the electrical properties in impurity compounds. Experimentally, the work is reduced to measurements in alternating electric field, frequency dependences of the real ($Z'(f)$) and imaginary ($Z''(f)$) components of the complex impedance.

In previous works [2, 3, and 10], it was found that the ionic component makes a significant contribution to the conductivity of TlInSe_2 and TlGaTe_2 compounds above 300 K.

The studies performed have shown that the ionic component of conductivity is associated with jumps of monovalent thallium ions both along and across the chains ($\text{In}^{3+}\text{Se}_2^{2-}$).

Figure 3 shows the dependences of the active and reactive parts of the impedance ($Z'(f)$ and $Z''(f)$) for samples of solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$).

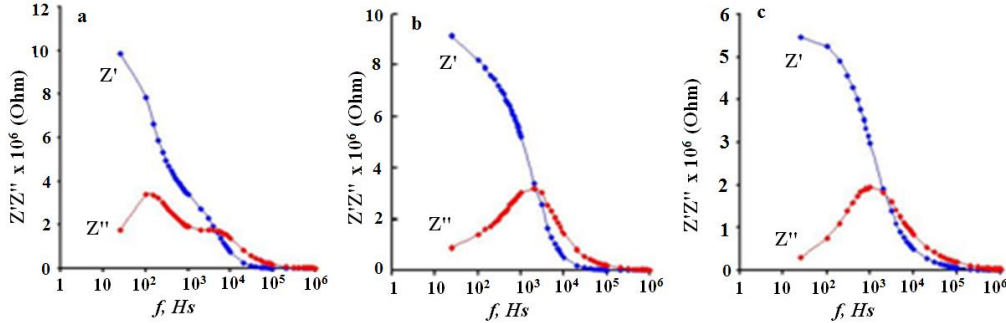


Fig. 3. Spectral dependence of the active and reactive parts of the impedance of solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$, where (a- $x=0$; b- $x=0.1$; c- $x=0.2$).

Silver paste is used as contacts. As can be seen from the figures of the given dependences, dispersion is detected for all solid solutions. As the frequency of the measuring field increases, a monotonous decrease in the real part of the impedance is observed, and a feature in the form of a peak is observed on the imaginary part

The impedance dispersion is characterized by the electrical relaxation time, it is determined by the graphical-analytical method using the hodograph plotted the dependence of the imaginary part of the impedance Z'' on the real Z' (Fig. 4).

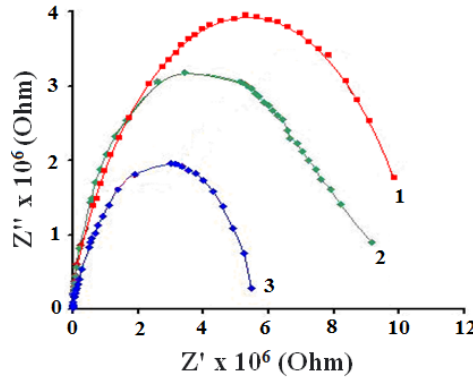


Fig.4. Hodograph of impedance $Z''(Z')$ for solid solutions $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$, where $x=0; 0.1; 0.2$.

As can be seen from Fig. 4, the hodograph of impedance has the form of a semicircle, and the impedance spectrum is represented by one branch. In this case, the equivalent circuit can be represented by a circuit with capacitance C and resistance R connected in parallel.

4. Conclusion

It follows from the presented results that the relaxation properties and impedance of solid solutions based on thallium chalcogenides with simultaneous substitution of cations and anions with the formation of solid solutions weakly depend on the composition of the substitutional solid solution $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ ($x=0; 0.1; 0.2$).

LITERATURE

1. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, E.K. Huseynov, F.T. Salmanov, G.R. Safarov. Features of the conductivity of γ -irradiated TlGaTe₂ crystals with a nanochain structure. FTP, 44, 610 (2010).
2. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, F.T. Salmanov, O.Z. Alekperov, E.K. Huseynov, N.A. Aliyeva. Superionic conductivity, switching and memory effects in TlInSe₂ and TlInTe₂ crystals. FTP, 45, 1441 (2011).
3. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, E.K. Huseynov, E.M. Godzhaev, F.T. Salmanov. Superionic conductivity in TlGaTe₂ crystals FTP, 45, 1009 (2011).
4. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, F.T. Salmanov. Giant dielectric relaxation in TlGaTe₂ crystals. FTT, 53, c. 8, 1488 (2011).
5. Rauf Sardarly, Oktay Samedov, Adil Abdullayev, Famin Salmanov, Andzej Urbanovic, Frederic Garet, and Jean-Louis Coutaz Superionic Conductivity in One-Dimensional Nanofibrous TlGaTe₂ Crystals. Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 05FC09.
6. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, E.K. Huseynov, F.T. Salmanov, N.A. Alieva, R.Sh. Agaeva. Ionic conductivity and dielectric relaxation in TlGaTe₂ crystals irradiated with γ -quanta. FTP, 2013, volume 47, no. 5, pp. 696-701.
7. Rauf Sardarly, Oktay Samedov, Nurana Aliyeva, Rayiha Aqayeva, Turana Musazade, Arzu Sardarli International Journal of Theoretical and Applied Nanotechnology Volume 1, Issue 1, Year 2012, pp. 20-28.
8. Yu.Ya. Gurevich, Yu.I. Harkats. Features of thermodynamics of superionic conductors. UFN 136 4 693 (1982).
9. A.K. Jonscher Universal relaxation law. London (1996). 415 p.
10. R.M. Sardarly, O.A. Samedov, N.A. Alieva, E.K. Huseynov, I.S. Gasanov Polarization caused by space charges and ionic conductivity in TlInSe₂ crystals. FTP, volume 48, issue 4, pp. 442-447 2014).

UOT: 523Pasc: 96.25.-f**KREUTZ QRUPUNDA KOMET CÜTLÜKLƏRİ****Ə. S. QULİYEV***N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası***H. Ə. QASIMOV***Bakı Mühəndislik Universiteti***R. Ə. QULİYEV***N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası***XÜLASƏ**

Məqalə, qısa-perihelli kometlər sisteminə mənsub olan Kreutz kometləri arasında komet cütlüklərinin axtarışına həsr olunur. Günəşətrafı kometlərin ən böyük ailəsi Kreutz qrupudur. İlk dəfə alman astronomu Heinrich Kreutz günəşətrafı kometlərin bir qrupunda ortaqlı xüsusiyyətlərin olduğunu müəyyən etmişdir. Bizim tədqiqat işinə Kreutz qrupuna məxsus 1670 komet cəlb olunmuşdur. Onların periheli məsafəsi $0,0043 < q < 0,009$ a.v. intervalında dəyişir. Təhlillər göstərir ki, qrup əsasən komet cütlüklərindən ibarətdir. Ciddi müqayisə və seçimlərdən sonra 510 cütlük müəyyən edilmişdir. Bunların içərisindən iki növ cütlük ayrılır. Birinci qrupda fraqmentlərin perihelidən keçmə anları arasındakı müddət 3 ildən azdır. Belə cütlüklərin sayı 292-dir. Perihelidən keçmə anları eyni ildə olan cütlüklərin sayı isə 75-dir. İkinci növ komet cütlüklərin perihelidən keçmə anları isə 3 ildən 26 ilədəkdir. Belə cütlüklərin sayı 218-dir. Onların eyni kometin müxtəlif illərdə müşahidə olunması nəticəsində əmələ gəldiklərini təxmin edə bilərik.

Açar sözlər: Günəşətrafı kometlər, Kreutz ailəsi, komet cütlükləri, eyniləşdirmə

PAIRS OF COMETS IN THE KREUTZ GROUP**ABSTRACT**

The article is devoted to the search for twin-comets among the Kreutz comets belonging to the system of sungrazers. The largest family of sungrazers is the Kreutz group. For the first time, the German astronomer Heinrich Kreutz identified the common characteristics of a group of sungrazer comets. 1670 comets belonging to the Kreutz group were involved in our research. Their perihelion distance is varies in the interval $0.0043 < q < 0.009$ a.u.. The analysis shows that the group consists mainly of twin-comets. After rigorous comparisons and selections, 510 pairs were identified. Among them, we distinguish two types of twin-comets. In the first group, the period between the moments of fragments passing through perihelion is less than 3 years. The number of such twin-comets is 292. The number of couples whose perihelion dates are in the same year is 75. Second type of comet pairs have perihelion periods from 3 to 26 years. The number of such couples is 218. We can guess that they were formed as a result of observing the same comet in different years.

Key words: Sungrazers, the Kreutz sungrazers, twin comets, identification

Giriş.

Günəşin yaxınlığından keçən kometlər - "sungrazer"lər böyük bir kometin parçalanmış fraqmentləridir. Qısa-perihelli kometlər qədim zamanlardan məlum olsada əsaslı şəkildə XIX əsrdən tədqiq olunmağa başlanmışdır. Alman astronomu Henrix Kreutz və amerikalı astronom Daniel Kirkwood müəyyən etdilər ki, günəşətrafı kometlər forma və ölçücə müxtəlif olurlar. Bu qrupa mənsub olan kometlərin bəziləri kifayət qədər böyük və parlaq olurlar. Hətta, onları gündüz göyündə müşahidə etmək olur. İlk belə komet 1680-ci ildə müşahidə olunmuşdur və ona "böyük komet" adı verilmişdir. Komet Günəşin səthindən 200 000 km (təxminən Yerlə Ay arasındakı məsafənin yarısı) aralıdan keçmişdir ki,

buda kifayət qədər çox kiçik məsafədir [1]. Komet Günəşətrafı (sungrazers) kometlərin ilk nümayəndəsi kimi elmi ədəbiyyatlara daxil olmuşdur. Zdenek Sekanina and Paul W. Chodas 2007-ci ildə nəşr etdirdikləri elmi-tədqiqat işlərində isə Kreitz kometlərinin valideyin kometi 1106-cı ildə müşahidə olunan X/1106 C1 kometi hesab edirlər. Bu komet Günəşin yaxınlığından keçən zaman qravitasiya gərilimi nəticəsində fraqmentlərə parçalanmışdır. Ümumiyyətlə, böyük və parlaq “sungrazer”-lərin müşahidə olunması yeddi əsirlik periodla baş vermişdir. 1106-cı ildə müşahidə olunan komet öncə V əsrdə, ondan öncə isə b.e.ə. 214-cü ildə müşahidə olunması ehtimal olunur. SOHO “sungrazer”lərin orbit paylanması bunu təsdiq edir və böyük “sungrazer”lərin 2120-ci ilədək gəlmələri proqnozlaşdırılır. X/1106 C1 kometi ilə C/1882 R1 və C/1965 S1 kometlərinin ümumi valideyni bir böyük kometin parçalanmış fraqmentləridir [2]. Elə hallar olur ki, kometlər Günəşə bir Günəş radiusu qədər (0.00465 a.v.) yaxınlaşa bilirlər. Bu da onların güclü istilikdən buxarlanaraq məhv olması ilə nəticələnir [3]. Kreutz kometlərin demək olar hamısı tərsinə hərəkət edir, orbitlərinin ekliptikaya meyl bucaqları 130° - 150° intervalındadır. Meyl bucaqları nəhəng planetlərin təsiri ilə (əsasən Yupiterin) 30° - 40° arası dəyişə bilər. Günəş ətrafında dolanma periodları 500-1000 il təşkil edir. 1843-cü il mart ayının 5-də müşahidə olunan C/1843 D1 kometinin (tarixi qeydlərdə “böyük mart kometi” adlandırılır) Günəş ətrafında dolanma periodu 513 il, meyl bucağı isə $144^{\circ}35'$ -dir. 1882-ci ilin sentyabr ayında müşahidə olunan (“böyük sentyabr” kometi) C/1882 R1-A kometinin Günəş ətrafında dolanma periodu 669 il, meyl bucağı $142^{\circ}01'11''$ -dir. 1963-cü ilin sentyabr ayında müşahidə olunan C/1963 R1 kometinin meyl bucağı $144^{\circ}59'$, Günəş ətrafında dolanma periodu 870 ildir. Bu kometlərin afeli məsafələri 130-180 a.v. məsafə intervalındadır. Biz bu kometləri təsadüfən sadalamadıq. Qeyd olunan kometlər dəyişməyən orbit elementlərinə malik olduqlarına görə Kreutz sisteminin etibarlı üzvləridir. Ümumiyyətlə Kreutz kometlərinin əksəriyyətinin afeli məsafələri dəqiq təyin olunmamışdır.

1887-ci ildə C/1887 B1 kometi aşkar olunduqdan sonra keçən əsrin ortalarında böyük və parlaq kometlər müşahidə olunmadı. 1960-70-ci illərdə iki belə komet peyda oldu. 1963-cü ildə Pereyra C/1963 R1, 1965-ci ildə isə İkeya-Seki C/1965 S1 kometi müşahidə olunmuşdur. İkeya-Seki kometinin diametri bir-neçə km təşkil edirdi və son dərəcə böyük parlaqlığa malik idi. Günəşdən 0,0031 a.v.(466 000 km) məsafə qədər aralı keçdiyi zaman 3 hissəyə parçalanmışdır [4]. Pereyra və İkeya-Seki kometlərinin tədqiqi Günəşətrafı kometlərin öyrənilməsində başlıca rol oynadı [5]. 1979-2011-ci illər arasında Yerdən kifayət qədər böyük Kreitz kometləri müşahidə olunmamışdır. Peyklərin gövdələrinə bərkidilmiş koronoqraflar vasitəsilə 1979-1989-cu illər arasında 19 zəif komet aşkar olunmuşdur. Kreutz kometlərinin tədqiqi 1995-ci ildən sonra geniş vüsət aldı. Günəş və heliosferik teleskopların (SOHO, Brueckner və s.) istifadəyə verilməsindən sonra Kreutz sisteminə mənsub olan kometlərin aşkar olunması artdı. SOHO-nun gövdəsinə bərkidilmiş koronoqraflar vasitəsilə yüzlərlə “sungreyzlər” aşkar olundu. Ölçüləri kiçik olan kometlər Günəşin dağıdıcı istiliyi təsiri nəticəsində tamamilə buxarlanaraq məhv olurlar. Bu cür kometlər kiçik parlaqlıq nümayiş etdirdiklərindən Yerdən müşahidə olunma imkanları azdır.

Məsələnin qoyuluşu və tədqiqat metodu.

Kreutz kometlərinin sayı 1700-ə çatmışdır. Qrupun statistik təhlili həyata keçirilmişdir. Tədqiqatlar göstərir ki, qrup əsasən komet cütüklərindən ibarətdir. Cütüklərin əmələ gəlməsində iki səbəb ola bilər: 1. böyük kometin parçalanması, 2. eyni kometin müxtəlif illərdə müşahidə olunması. Əgər fraqmentlərin fiksə edildiyi anlar – perihelidən keçmə

tarixləri bir neçə il fərqlənirsə, onda onlar nisbətən daha iri nüvənin bu yaxın zamanlarda parçalanmasından əmələ gəlmişlər. Əgər perihelidən keçmə anları arasında müddət daha böyükdürsə, məsələn 5 ildən çoxdursa onda onlar eyni kometin Günəşə tərəf təkrar-təkrar qayıdışları hesab olunur. Kometlərin parçalanmasında Günəşin təsirləri ilə yanaşı komet nüvəsinin intensiv meteorid selindən keçən zaman parçalanması irəli sürülür [6]. Bizim tədqiqat işinə 1670 Kreutz kometləri cəlb olunmuşdur. Oda istisna edilmir ki, bir çox hallarda müşahidəçi eyni bir kometi müxtəlif zamanlarda fərqli kometlər kimi qeyd edir. Az-az müşahidələr səbəbindən orbitin dəqiq təyin edilməsi mümkün olmur. Bu hallarda orbitin eksentrisiteti 1-ə bərabər qəbul olunur, kometlərin identifikasiyası dəqiq aparıla bilmir. Burada köməyimizə statistik təhlillər gələ bilər. Belə təhlillərin vasitəsilə Kreutz qrupunda yaxın zamanlarda parçalanmış kometləri müəyyən etmək olar. Statistik təhlilləri orbitin əsas dörd elementi üzərindən aparmışıq – periheli məsafəsi, perihelinin argumenti, qalxan düyünün uzunluğu və orbitin meyli. Burada periheli məsafəsi $0,0044 < q < 0,0065$ a.v., perihelinin argumenti $40^{\circ},31 < \omega < 94^{\circ},61$, qalxan düyünün uzunluğu $0^{\circ},41 < \Omega < 357^{\circ},80$, orbitin meyli $138^{\circ},69 < i < 147^{\circ},38$ intervalında dəyişir. Sistemin orbit elementlərinin orta qiymətləri aşağıdakı kimidir: $q_{orta}=0.0052$; $\omega_{orta} = 80^{\circ}.68$; $\Omega_{orta} = 355^{\circ}.74$; $i_{cp}=144^{\circ}.15$.

Qeyd etdiyimiz kimi, komet nüvələrinin təkrar-təkrar bölünməsi Kreutz qrupunun içərisində komet cütlüklərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Ona görə də müəlliflər komet cütlüklərinin axtarılmasına cəhd edirlər və axtarışlar parçalanma prosesi barədə daha ətraflı məlumat verəcəyinə ümid edirlər. Kreutz qrupuna daxil olan hər bir komet üçün Θ_j kəmiyyəti aşağıdakı ifadə ilə hesablanır.

$$\Theta_j = \sin^2(\omega - \omega_j) + \sin^2(\Omega - \Omega_j) + \sin^2(i - i_j) \quad (1)$$

burada i 1-dən 1670-dək dəyişir. Qeyd etmək lazımdır ki, (1) ifadəsi şərti və müvəqqəti xarakter daşıyır. Meteor astronomiyasında istifadə edilən Sautuorta və Hokins kriteriyasını e kəmiyyətinin müəyyən olunmaması səbəbindən statistik təhlilimizdə istifadə edə bilmirik. Bundan əlavə, Θ_j cəmindən istifadə edərək, $\Theta_{\min}$ -in dəyəri müəyyən edilir. Bu cür hesablama əvvəlcədən müəyyən edilmiş müəyyən bir şərti təmin etməlidir. Biz onu elə seçdik ki, 0,0008-i keçməsin. Bu, hətta mümkün diapazon uzunluğunun Θ_j (1,1) faizindən də azdır. Sonrakı mərhələdə cütlüklərin periheli məsafələri müqayisə olunmuşdur.

Belə ciddi müqayisə və seçimlərdən sonra 510 cütlük müəyyən etdik. Bunların içərisindən iki növ cütlük ayrılır. Birinci qrupda fragmentlərin perihelidən keçmə anları arasındakı müddət 3 ildən azdır. Belə cütlüklərin sayı 292-dür. Perihelidən keçmə anları eyni ildə olan cütlüklərin sayı isə 75-dir. Bu qrupdan 20 cüt kometin siyahısı cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Parçalanma nəticəsində əmələ gəlməsi ehtimal olunan Kreutz cütlikləri.

Nö	Комета	q	i	Ω (node)	ω (peri)	Θ _i
1.	C/2005 M10	0.0051	145.00	346.00	66.05	0,0002
	C/2005 X9	0.0049	144.99	344.26	66.07	
2.	C/2005 E6	0.0048	144.09	359.69	78.80	0,0002
	C/2005 L7	0.0046	144.13	358.74	78.82	
3.	C/2009 K10	0.0050	144.28	357.49	77.61	0,0005
	C/2009 L6	0.0055	144.29	357.39	77.66	
4.	C/2007 U5	0.0050	146.63	356.78	82.12	0
	C/2007 U9	0.0050	146.59	356.28	82.07	
5.	C/2008 S8	0.0049	143.91	359.10	78.38	0,0002
	C/2008 W8	0.0051	143.96	358.32	78.34	
6.	C/2005 S10	0.0052	144.09	359.92	76.62	0,0003
	C/2005 F1	0.0055	144.16	359.66	76.58	
7.	C/2003 U6	0.0050	144.48	9.07	87.14	0,0001
	C/2003 T10	0.0049	144.53	9.01	87.17	
8.	C/2001 M5	0.0052	143.84	5.25	84.16	0,0002
	C/2001 Y2	0.0054	143.80	5.16	84.14	
9	C/2000 L1	0.0053	144.03	12.66	89.94	0,0001
	C/2000 M2	0.0052	144.01	12.65	90.04	
10	C/2005 P4	0.0048	143.97	1.47	81.35	0
	C/2005 Q7	0.0048	143.97	1.38	81.40	
11	C/2000 H2	0.0055	144.17	2.94	82.11	0,0004
	C/2000 B5	0.0054	144.21	2.86	82.17	
12	C/2003 K10	0.0050	144.20	3.91	82.94	0
	C/2003 L5	0.0050	144.23	3.81	82.97	
13	C/2008 U2	0.0051	143.77	359.41	77.96	0,0002
	C/2008 G4	0.0049	143.66	359.06	78.00	
14	C/2005 L7	0.0046	144.13	358.74	78.82	0,0003
	C/2005 Y9	0.0043	144.25	358.88	78.82	
15	C/2007 N6	0.0053	144.43	357.31	77.01	0,0004
	C/2007 T8	0.0049	144.44	359.12	77.13	
16	C/2008 W8	0.0051	143.96	358.32	78.34	0,00038
	C/2008 N2	0.00481	144.125	357.388	76.962	
17	C/2003 M5	0.0070	139.29	340.42	64.34	0,0003
	C/2003 O5	0.0067	139.42	339.90	64.35	
18	C/2006 J4	0.0050	144.47	5.85	84.69	0
	C/2006 V2	0.0050	144.58	5.89	84.76	
19	C/2003 T7	0.0050	144.54	9.18	87.43	0,0001
	C/2003 Q2	0.0049	144.57	9.12	87.31	
20	C/2006 B3	0.0052	144.43	358.51	77.76	0,0004
	C/2006 T4	0.0051	144.52	357.64	77.65	

Təhlillər göstərir ki, kometlərin orbit parametrlərindəki fərqlər (Θ) nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir. Bu fərqlərin maksimum qiyməti 0,0005-dir, bəzi cütlərdə isə Θ –nin qiyməti sıfıra bərabərdir. Ona görə burada təsadüflərin olması istisna edilir. Kometlərin nömrələnməsi onların perihelidən keçmə tarixləri ilə bağlı olduğuna görə fraqmentlərin yaxın vaxtlarda baş verən parçalanma zamanı əmələ gəlməsini söyləmək olar. Sonrakı təhlillər zamanı ikinci növ komet cütlikləri müəyyən edilmişdir. Bu cütliklərin perihelidən keçmə anları 3 ildən 26 ilədəkdir. Belə cütliklərin sayı 218-dir. Onların eyni kometin müxtəlif illərdə müşahidə olunması nəticəsində əmələ gəldiklərini söyləyə bilərik. Bu cütliklərdən 10-nu cədvəl 2-də verilmişdir. Θ –nin qiyməti 0,0002-dən kiçikdir.

Cədvəl 2. Eyni kometlərin əmələ gətirdikləri cütüklər.

Nö	Kometə	q	i	Ω (node)	ω (peri)	Θ_i
1.	C/1998 G5	0.0050	144.40	359.89	78.29	0,0001
	C/2007 Q9	0.0051	144.40	359.06	78.34	
2.	C/1997 V6	0.0054	144.37	356.55	77.78	0,0002
	C/2006 B3	0.0052	144.43	358.51	77.76	
3.	C/1999 M2	0.0049	144.33	6.91	85.74	0,0001
	C/2005 N7	0.0048	144.42	6.93	85.72	
4.	C/1997 G6	0.0050	144.27	358.15	79.54	0,0001
	C/2007 T9	0.0049	144.17	358.46	79.49	
5.	C/1999 C2	0.0068	144.16	354.19	72.41	0.0002
	C/2005 D3	0.0070	144.22	355.24	72.28	
6.	C/1999 L1	0.0053	143.91	1.10	80.66	0.0002
	C/2007 K8	0.0051	143.86	1.23	80.55	
7.	C/1996 D1	0.0069	143.70	353.75	71.66	0,0001
	C/2006 J1	0.0070	143.58	348.56	71.81	
8.	C/2002 V3	0.0051	144.48	9.49	87.03	0
	C/2007 V9	0.0051	144.36	9.61	87.15	
9	C/2003 Y6	0.0048	144.60	8.49	86.84	0
	C/2007 N7	0.0048	144.60	8.43	86.84	
10	C/1996 S3	0.0059	143.90	357.32	75.07	0,0001
	C/2004 O2	0.0058	143.76	354.61	75.24	

Nəticə.

Təhlillər onu göstərir ki, Kreutz qrupu komet cütüklərindən ibarətdir. Komet cütüklərin iki yolla yaranmasını əsas götürə bilərik: əgər fraqmentlərin qeydə alındığı tarixlər bir-birindən 3 il və daha az fərqlənirsə böyük kometin bir neçə fraqmentə parçalanmasını söyləyə bilərik; əgər fraqmentlərin qeydə alındığı tarix 3 il və daha çoxdursa eyni kometin müxtəlif vaxtlarda müşahidə olunmasını qeyd edə bilərik. İki növ cütüklər arasında kəskin sərhəd yoxdur. Bütövlükdə Kreutz qrupunu təşkil edən fraqmentlər qısa dövrə malik böyük bir kometin parçalarıdır. Valideyn hesab olunan bu kometin nəhəng planetlərdən birinə məxsus olduğu ehtimal olunur.

ƏDƏBIYYAT

1. Marsden, B.G. (1989). "The sungrazing comet group. II". *The Astronomical Journal*. **98** (6): 2306–2321. Bibcode:1989AJ.....98.2306M. doi:10.1086/115301
2. Zdenek Sekanina and Paul W. Chodas, Fragmentation hierarchy of bright sungrazing comets and the birth and orbital evolution of the Kreutz system. II. The case for cascading fragmentation. *The Astrophysical Journal*, 663:657 Y 676, 2007 July 1
3. Zdenek Sekanina¹ and Rainer Kracht², Strong Erosion – driven nongravitational effects in orbital motions of the Kreutz sungrazing system's dwarf comets. *The Astrophysical Journal*. Vol 801, number 2. 12 mart 2015.
4. Sekanina, Zdeněk; Chodas, Paul W. (2007). "Fragmentation Hierarchy of Bright Sungrazing Comets and the Birth and Orbital Evolution of the Kreutz System. II. The Case for Cascading Fragmentation". *The Astrophysical Journal*. 663 (1): 657–676.
5. Sekanina, Zdeněk (2001). "Kreutz sungrazers: the ultimate case of cometary fragmentation and disintegration?" (PS). Publications of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic. 89 (89): 78–93
6. Гулиев А.С. Происхождение коротко-перигелийных комет. Баку. Елм. -2010.- 151с.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. "The Baku Engineering University Journal-Physics" accepts original unpublished articles and reviews in the research field of the author.
2. Articles are accepted in English.
3. File format should be compatible with **Microsoft Word** and must be sent to the electronic mail (journal@beu.edu.az) of the Journal. The submitted article should follow the following format:
 - Article title, author's name and surname
 - The name of workplace
 - Mail address
 - Abstract and key words
4. The title of the article should be in each of the three languages of the abstract and should be centred on the page and in bold capitals before each summary.
5. **The abstract** should be written in **9 point** type size, between **100** and **150** words. The abstract should be written in the language of the text and in two more languages given above. The abstracts of the article written in each of the three languages should correspond to one another. The keywords should be written in two more languages besides the language of the article and should be at least three words.
6. **UDC** and **PACS** index should be used in the article.
7. The article must consist of the followings:
 - Introduction
 - Research method and research
 - Discussion of research method and its results
 - In case the reference is in Russian it must be given in the Latin alphabet with the original language shown in brackets.
8. **Figures, pictures, graphics and tables** must be of publishing quality and inside the text. Figures, pictures and graphics should be captioned underneath, tables should be captioned above.
9. **References** should be given in square brackets in the text and listed according to the order inside the text at the end of the article. In order to cite the same reference twice or more, the appropriate pages should be given while keeping the numerical order. For example: [7, p.15].

Information about each of the given references should be full, clear and accurate. The bibliographic description of the reference should be cited according to its type (monograph, textbook, scientific research paper and etc.) While citing to scientific research articles, materials of symposiums, conferences and other popular scientific events, the name of the article, lecture or paper should be given.

Samples:

- a) **Article:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure af monomerrik and dimeric conapeetes of carnosine üith zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
 - b) **Book:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
 - c) **Conference paper:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information – Commu-nication Technologies in Science and education. II International Conference."Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", *Bakı, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391*
References should be in 9-point type size.
10. The margins sizes of the page: - Top 2.8 cm. bottom 2.8 cm. left 2.5 cm, right 2.5 cm. The article main text should be written in Palatino Linotype 11 point type size single-spaced. Paragraph spacing should be 6 point.
 11. The maximum number of pages for an article should not exceed 15 pages
 12. The decision to publish a given article is made through the following procedures:
 - The article is sent to at least to experts.
 - The article is sent back to the author to make amendments upon the recommendations of referees.
 - After author makes amendments upon the recommendations of referees the article can be sent for the publication by the Editorial Board of the journal.

YAZI VƏ NƏŞR QAYDALARI

1. "Journal of Baku Engineering University" Fizika- əvvəllər nəşr olunmamış orijinal əsərləri və müəllifin tədqiqat sahəsi üzrə yazılmış icmal məqalələri qəbul edir.
2. Məqalələr İngilis dilində qəbul edilir.
3. Yazılar **Microsoft Word** yazı proqramında, (**journal@beu.edu.az**) ünvanına göndərməlidir. Göndərilən məqalələrdə aşağıdakılara nəzərə alınmalıdır:
 - Məqalənin başlığı, müəllifin adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - Elektron ünvanı,
 - Xülasə və açar sözlər.
4. **Məqalədə başlıq hər xülasədən əvvəl** ortada, qara və böyük hərflə xülasələrin yazıldığı hər üç dildə olmalıdır.
5. **Xülasə** 100-150 söz aralığında olmaqla, 9 punto yazı tipi böyüklüyündə, məqalənin yazıldığı dildə və bundan əlavə yuxarıda göstərilən iki dildə olmalıdır. Məqalənin hər üç dildə yazılmış xülasəsi bir-birinin eyni olmalıdır. Açar sözlər uyğun xülasələrin sonunda onun yazıldığı dildə verilməklə ən azı üç sözdən ibarət olmalıdır.
6. Məqalədə UOT və PACS kodları göstərməlidir.
7. Məqalə aşağıdakılardan ibarət olmalıdır:
 - Giriş,
 - Tədqiqat metodu
 - Tədqiqat işinin müzakirəsi və onun nəticələri,
 - İstinad ədəbiyyatı rus dilində olduğu halda orijinal dili mötərzə içərisində göstərməklə yalnız Latın əlifbası ilə verilməlidir.
8. **Şəkil, rəsm, grafik və cədvəllər** çapda düzgün, aydın çıxacaq vəziyyətdə və mətn içərisində olmalıdır. Şəkil, rəsm və grafiklərin yazıları onların altında yazılmalıdır. Cədvəllərdə başlıq cədvəlin üstündə yazılmalıdır.
9. **Mənbələr** mətn içərisində kvadrat mötərizə daxilində göstərilməklə məqalənin sonunda mətn daxilindəki sıra ilə düzülməlidir. Eyni mənbəyə iki və daha çox istinad edildikdə əvvəlki sıra sayı saxlanmaqla müvafiq səhifələr göstərməlidir. Məsələn: [7,səh.15].

Ədəbiyyat siyahısında verilən hər bir istinad haqqında məlumat tam və dəqiq olmalıdır. İstinad olunan mənbənin biblioqrafik təsviri onun növündən (monoqrafiya, dərslik, elmi məqalə və s.) asılı olaraq verilməlidir. Elmi məqalələrə, simpozium, konfrans, və digər nüfuzlu elmi tədbirlərin materiallarına və ya tezislərinə istinad edərkən məqalənin, məruzənin və ya tezisnin adı göstərməlidir.

Nümunələr:

- a) **Məqalə:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kitab:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Konfrans:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Mənbələr 9 punto yazı tipi böyüklüyündə olmalıdır.

10. **Səhifə ölçüləri:** üstədən 2.8 sm, altından 2.8 sm, soldan 2.5 sm və sağdan 2.5 sm olmalıdır. Mətn 11 punto yazı tipi böyüklüyündə, **Palatino Linotype** yazı tipi ilə və tək simvol aralığında yazılmalıdır. Paraqraflar arasında 6 punto yazı tipi aralığında məsafə olmalıdır.
11. Orijinal tədqiqat əsərlərinin tam mətni bir qayda olaraq 15 səhifədən artıq olmamalıdır.
12. Məqalənin nəşrə təqdimi aşağıdakı qaydada aparılır:
 - Hər məqalə ən azı iki ekspertə göndərilir.
 - Ekspertlərin tövsiyələrini nəzərə almaq üçün məqalə müəllifə göndərilir.
 - Məqalə, ekspertlərin tənqidi qeydləri müəllif tərəfindən nəzərə alındıqdan sonra Jurnalın Redaksiya Heyəti tərəfindən çapa təqdim oluna bilər.

YAZIM KURALLARI

1. "Journal of Baku Engineering University-Physics" önceler yayımlanmamış orijinal çalışmaları ve yazarın kendi araştırma alanın-da yazılmış derleme makaleleri kabul etmektedir.
2. Makaleler İngilizce kabul edilir.
3. Makaleler Microsoft Word yazı programında, (journal@beu.edu.az) adresine gönderilmelidir. Gönderilen makalelerde şunlar dikkate alınmalıdır:
 - Makalenin başlığı, yazarın adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - E-posta adresi,
 - Özet ve anahtar kelimeler.
4. **Özet** 100-150 kelime arasında olup 9 font büyüklüğünde, makalenin yazıldığı dilde ve yukarıda belirtilen iki dilde olmalıdır. Makalenin her üç dilde yazılmış özeti birbirinin aynı olmalıdır. Anahtar kelimeler uygun özeti sonunda onun yazıldığı dilde verilmekle en az üç sözcükten oluşmalıdır.
5. Makalede UOT ve PACS tipli kodlar gösterilmelidir.
6. Makale şunlardan oluşmalıdır:
 - Giriş,
 - Araştırma yöntemi
 - Araştırma
 - Tartışma ve sonuçlar,
 - İstinat Edebiyatı Rusça olduğu halde orijinal dili parantez içerisinde göstermekle yalnız Latin alfabesi ile verilmelidir.
7. **Şekil, Resim, Grafik ve Tablolar** baskıda düzgün çıkacak nitelikte ve metin içerisinde olmalıdır. Şekil, Resim ve grafiklerin yazıları onların alt kısmında yer almalıdır. Tablolarda ise başlık, tablonun üst kısmında bulunmalıdır.
8. **Kullanılan kaynaklar**, metin dâhilinde köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı, aynı sırayla metin sonunda gösterilmelidir. Aynı kaynaklara tekrar başvurulduğunda sıra muhafaza edilmelidir. Örneğin: [7,seh.15]. Referans verilen her bir kaynağın künyesi tam ve kesin olmalıdır. Referans gösterilen kaynağın türü de eserin türüne (monografi, derslik, ilmi makale vs.) uygun olarak verilmelidir. İlmî makalelere, sempozyum, ve konferanslara müracaat ederken makalenin, bildirinin veya bildiri özetlerinin adı da gösterilmelidir.

Örnekler:

- a) **Makale:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and Electronic Structure of Monomeric and Dimeric Conapeetes of Carnosine Üith Zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kitap:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
- c) **Kongre:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. *"Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions"*, Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Kaynakların büyüklüğü 9 punto olmalıdır.

9. **Sayfa ölçüleri**; üst: 2.8 cm, alt: 2.8 cm, sol: 2.5 cm, sağ: 2.5 cm şeklinde olmalıdır. Metin 11 punto büyüklükte **Palatino Linotype** fontu ile ve tek aralıkta yazılmalıdır. Paragraflar arasında 6 puntoluk yazı mesafesinde olmalıdır.
10. Orijinal araştırma eserlerinin tam metni 15 sayfadan fazla olmamalıdır.
11. Makaleler dergi editör kurulunun kararı ile yayımlanır. Editörler makaleyi düzeltme için yazara geri gönderebilir.
12. Makalenin yayına sunuşu aşağıdaki şekilde yapılır:
 - Her makale en az iki uzmana gönderilir.
 - Uzmanların tavsiyelerini dikkate almak için makale yazara gönderilir.
 - Makale, uzmanların eleştirel notları yazar tarafından dikkate alındıktan sonra Derginin Yayın Kurulu tarafından yayına sunulabilir.
13. Azerbaycan dışından gönderilen ve yayımlanacak olan makaleler için,(derginin kendilerine gönderilmesi zamanı posta karşılığı) 30 ABD Doları veya karşılığı TL, T.C. Ziraat Bankası/Üsküdar-İstanbul 0403 0050 5917 No'lu hesaba yatırılmalı ve makbuzu üniversitemize faksılmalıdır.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. «Journal of Baku Engineering University» - Физика публикует оригинальные, научные статьи из области исследования автора и ранее не опубликованные.
2. Статьи принимаются на английском языке.
3. Рукописи должны быть набраны согласно программы **Microsoft Word** и отправлены на электронный адрес (**journal@beu.edu.az**). Отправляемые статьи должны учитывать следующие правила:
 - Название статьи, имя и фамилия авторов
 - Место работы
 - Электронный адрес
 - Аннотация и ключевые слова
4. **Заглавие статьи** пишется для каждой аннотации заглавными буквами, жирными буквами и располагается по центру. Заглавие и аннотации должны быть представлены на трех языках.
5. **Аннотация**, написанная на языке представленной статьи, должна содержать 100-150 слов, набранных шрифтом 9 punto. Кроме того, представляются аннотации на двух других выше указанных языках, перевод которых соответствует содержанию оригинала. Ключевые слова должны быть представлены после каждой аннотации на его языке и содержать не менее 3-х слов.
6. В статье должны быть указаны коды UOT и PACS.
7. Представленные статьи должны содержать:
 - Введение
 - Метод исследования
 - Обсуждение результатов исследования и выводов.
 - Если ссылаются на работу на русском языке, тогда оригинальный язык указывается в скобках, а ссылка дается только на латинском алфавите.
8. **Рисунки, картинки, графики и таблицы** должны быть четко выполнены и размещены внутри статьи. Подписи к рисункам размещаются под рисунком, картинкой или графиком. Название таблицы пишется над таблицей.
9. **Ссылки** на источники даются в тексте цифрой в квадратных скобках и располагаются в конце статьи в порядке цитирования в тексте. Если на один и тот же источник ссылаются два и более раз, необходимо указать соответствующую страницу, сохраняя порядковый номер цитирования. Например: [7, стр.15]. Библиографическое описание ссылаемой литературы должно быть проведено с учетом типа источника (монография, учебник, научная статья и др.). При ссылке на научную статью, материалы симпозиума, конференции или других значимых научных мероприятий должны быть указаны название статьи, доклада или тезиса.

Например:

- a) **Статья:** Demukhamedova S.D., Aliyeva I.N., Godjayev N.M. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Книга:** Christie on Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Конференция:** Sadychov F.S, Fydin C,Ahmedov A.I. Appligation of Information-Communication Nechnologies in Science and education. II International Conference. *"Higher Twist Effects In Photon-Proton Collision"*, Baki,01-03 Noyabr, 2007, ss.384-391

Список цитированной литературы набирается шрифтом 9 punto.

10. **Размеры страницы:** сверху 2.8 см, снизу 2.8 см, слева 2.5 и справа 2.5. Текст печатается шрифтом **Palatino Linotype**, размер шрифта 11 punto, интервал-одинарный. Параграфы должны быть разделены расстоянием, соответствующим интервалу 6 punto.
11. Полный объем оригинальной статьи, как правило, не должен превышать 15 страниц.
12. Представление статьи к печати производится в ниже указанном порядке:
 - Каждая статья посылается не менее двум экспертам.
 - Статья посылается автору для учета замечаний экспертов.
 - Статья, после того, как автор учел замечания экспертов, редакционной коллегией журнала может быть рекомендована к печати.