

Nano Studies

20

2020

NANO STUDIES

20

2020

Nano Studies, 2020, 20

UDG [53 + 54 + 620.22] (051.2)
N – 21

Nano Studies is an annual scientific journal published in Georgia.

Nano Studies' topics of interest include Nanoscience and Nanotechnology, and related problems of Physics, Chemistry, and Materials Science.

Nano Studies publishes following categories of scientific articles: research papers, communications, reviews and discussions.

Nano Studies publishes scientific articles in English and also in Georgian and in Russian.

Summaries of all the articles of Nano Studies are referred in **Georgian Abstracts Journal** and **Caucasus Abstracts Journal of Nanoscience and Nanotechnology** and are accessible in Georgia's Central Institute for Scientific and Technical Information **Techinformi** databases: <https://techinformi.ge/qj> and <https://cajnn.techinformi.ge/>.

Full-texts of articles published in Nano Studies are free-accessible at the journal's web-site: www.nanostudies.org

Publisher & Editor-in-Chief:	Levan Chkhartishvili
Executive Editor:	Tamar Berberashvili
Editors:	Tamar Chachibaia
	Guram Chikhladze
	Giorgi Chiradze
	Ivane Murusidze

Address of Editorial Office:	Department of Engineering Physics
	Georgian Technical University
	Campus 4, Room 307
	77 Merab Kostava Avenue
	Tbilisi, 0160, Georgia

E-mails:	chkharti2003@yahoo.com
	levanchkhartishvili@gtu.ge

Phone:	995 322 37 19 42
--------	-------------------------

Mobile:	995 599 34 07 36
---------	-------------------------

© Nano Studies 2020

Published on behalf of the Nano Studies

ISSN 1987 – 8826

CONTENTS

Research Papers

Obtaining of boron carbide based titanium-containing nanocomposites (Mini-review)

L. Chkhartishvili, Sh. Dekanosidze 7-18

Volume of intersection of sphere with pentagonal pyramid:
Case of special practical interest for nano-grained composites

L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, J. Khantadze 19-24

Review of single voxel proton (^1H) magnetic resonance spectroscopy – *in Georgian*

A. Gogishvili 25-30

Predefined magnetic field formation with parallel transmit coils in MRI – *in Georgian*

M. Kelenjeridze 31-36

New engineering approaches for hyperthermia treatments

G. Gavashelishvili, G. Nabakhtiani, B. Surguladze 37-42

Obtaining of geopolymer binders based on thermally
modified clay rocks of Georgia – *in Georgian*

**E. Shapakidze, M. Avaliani, M. Nadirashvili,
V. Maisuradze, I. Gejadze, T. Petriashvili 43-52**

Study of possibility of obtaining new geopolymer binders on
basis of industrial waste and phosphoric acid – *in Georgian*

**E. Shapakidze, M. Avaliani, M. Nadirashvili,
V. Maisuradze, I. Gejadze, T. Petriashvili 53-64**

Contents.

Properties of synthesized inorganic polymeric phosphate materials
and possibilities for production of new environmentally friendly
and economically viable supplies from local industrial waste

**M. Avaliani, V. Chagelishvili, E. Shapakidze,
M. Gvelesiani, N. Barnovi, M. Vibliani, K. Chikovani 65-70**

Synthesis of condensed phosphates of mono- and poly-valent metals, development
of optimal methods for study of their properties and composition – *in Georgian*

M. Avaliani, G. Todradze, E. Shapakidze, V. Kveselava 71-94

Research of redistribution of impurities in silicon wafers
under influence of white light pulses – *in Russian*

A. B. Gerasimov, G. D. Chiradze 95-98

Mathematical approach to “Spanish Flu” pandemic

G. G. Chikhladze, K. G. Kapanadze, J. Liu 99-104

Scanning electron microscopic study of ZnO crystallites

**A. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, D. Jishiashvili,
N. Makhatadze, A. Chirakadze, V. Gobronidze 105-110**

Role of BNCT in modern radiation medicine (Mini review) – *in Georgian*

Sh. Makatsaria 111-118

Problem of interdependence of algae *Spirulina platensis* and pH – *in Georgian*

N. Kuchava 119-124

Measuring of simple sensorimotor reaction time – *in Georgian*

M. Gigineishvili, O. Ketiladze, T. Mikeladze, M. Chikhladze, T. Khachidze 125-130

Chiral magnetic structure of Y-type Ba_{0.6}Sr_{1.4}Zn₂Fe₁₂O₂₂ hexaferrite in intermediate phase

G. Khazaradze, A. Shengelaya 131-136

Studying of biological tissue electrical resistance – *in Georgian*

N. Tavadze, O. Ketiladze, I. Kantaria, M. Chikhladze 137-140

Influence of electric field pulse on electromechanical effect in LiF crystals – *in Russian*

**M. V. Galustashvili, D. G. Driaev, A. A. Iashvili,
V. G. Kvatchadze, V. M. Tavkhelidze 141-144**

Relative mechanical strength of some rare earth elements compounds thin films

Z. Jabua, T. Minashvili, K. Davitadze, A. Gigineishvili, G. Iluridze 145-148

Peculiarities of priorities and challenges of pharmaceutical sciences to be considered in improvement of regulation issues of pharmacists profession

**N. Sulashvili, M. Beglaryan, N. Gorgaslidze, S. Kocharyan,
I. Zarnadze, N. Chichoyan, Sh. Zarnadze 149-162**

C h r o n i c l e s

Problems of nanoscience and nanotechnology at 2019 forums – *in Georgian*

L. Chkhartishvili 163-176

11th Japanese–Mediterranean Workshop – *in Georgian*

N. Barbakadze 177-180

20th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB 2019) – *in Georgian*

L. Chkhartishvili 181-190

Books Review

Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications, Elsevier, 2018 – *in Georgian*

D. Jishiashvili 191-194

Ethical, legal, and societal implications of nanotechnologies
in medicine – New book by Tamar Chachibaia – *in Georgian*

L. Chkhartishvili 195-198

Obituary

Farewell to Guram Chikhladze – *in Georgian*

Editorial 199-200

OBTAINING OF BORON CARBIDE BASED TITANIUM-CONTAINING NANOCOMPOSITES (MINI-REVIEW)

L. Chkhartishvili *, Sh. Dekanosidze **

Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia

* levanchkhartishvili@gtu.ge

** shorenadekanosidze3@gmail.com

Accepted 2019 November 4

Abstract

A mini-review on obtaining methods of boron carbide based titanium-containing nanocomposite materials is presented. Due to their unique physical-mechanical properties, such materials have a wide field of technological applications.

Boron carbide-based ceramic materials are actively used in machine-building, nuclear power engineering, and ballistic armor production as well. This is due to the boron carbide unique physical-mechanical properties: high hardness, high melting point, and high modulus of elasticity, as well as high wear-, corrosion- and radiation-resistances, etc. In addition, boron carbide has the ability to absorb or transmit thermal neutrons depending on boron-isotopic composition since the capture cross sections of thermal neutrons by boron stable isotopes ^{10}B and ^{11}B differ from each other too significantly – by seven orders of magnitude. Among the currently used in technologies hard materials, boron carbide has the highest hardness-to-density ratio [1].

These properties make boron carbide attractive for the manufacture of abrasives and grinding materials, friction pairs in moving parts and machine units working in extreme environments and also nozzles for surface treatment with fluid abrasives, protective coatings (in particular, for the boronizing of steels and refractory metals), light ballistic armors, synthesis of nuclear industry materials (for example, manufacture of the nuclear reactors control rods), neutron detectors; etc.

Besides, there are developed various boron carbide-based thermoelectric converters, boron-carbide/graphite thermocouples, as well as nonlinear resistors. But, at the present time despite its attractive electronic properties boron carbide as a semiconductor material is used relatively rarely. The point is that the preparation of samples of sufficient for this purpose purity is associated with additional difficulties.

As for the superhard boron carbide based composite materials, they can be used for manufacturing indenters and tools for processing other solid materials, and the like.

However, the field of possible applications of boron carbide is significantly narrowed due to its brittleness and low stability against the cracks formation. Today, materials science

with these disadvantages is struggling with the creation of nanocrystalline structures of heteromodular, quasibinary, and multicomponent boron carbide based ceramic and/or metalceramic materials.

As is known, in general the creation of materials with nanostructure laid the foundation for the development of a new class of materials with unique complexes of properties. But, for boron carbide based materials in this direction significant results have not been achieved yet. Therefore, it is interesting to establish how physical-chemical and physical-mechanical properties, and also the performance characteristics of these materials are changed in the transition from crystalline state to nanocrystalline state by varying their morphological parameters.

Heteromodular ceramics successfully combine a high-modulus ceramic matrix with additional components in form of particles or fibers with a much lower modulus of elasticity. In other words, in these materials, the hardness and wear resistance of the ceramic matrix are combined with the impact strength and ductility of binder metal or alloy. It is known that brittle compounds such as carbides, nitrides, and part of borides are characterized by low thermal stability and impact strength and these characteristics can be improved by adding low-modular phases in matrix. In the seminal work [2], on the basis of continuous medium and micromechanics theories it was shown how it is possible to significantly improve the properties of the high-temperature structures with low stability against thermal stresses by introducing the dispersed phases with low modulus of elasticity.

The high stability of heteromodular ceramics against to external influences is due to the peculiarity of easy absorption and / or transmission of energy released during the formation of cracks in their structure. In addition, they effectively dig up the front of the developing crack and / or divert it from the initial direction of propagation.

The creation of a boron carbide based heteromodular material is possible if:

- the starting material is finely dispersed, and
- the good adhesion of the metal binder to the boron carbide surface is combined with its low chemical reactivity.

So, to create effective boron carbide based nanocomposites, it is essential to know how to manipulate by the mechanically and thermally separating surfaces. If the assembling of the ceramic component (i.e. boron carbide) is carried out in the nanocrystalline state, the physical-mechanical properties of the material will be qualitatively improved. This is because the contribution of the surface layers will be decisive in the energy balance of the system. Under these conditions, the spectrum of atomic vibrations will change radically affecting diffusion and, in general, all the transport phenomena. Accordingly, the quality of adhesion relative to passive components will be also improved significantly.

An additional obstacle to the wider application of the boron carbide attractive properties is the complexity of the compacting of its powders. To this day, the main approach to the obtaining sufficiently dense samples of boron carbide based materials is their high-temperature (above 2000 °C) pressing. However, in this way it is possible to obtain only samples of small sizes and simple geometric shapes. At such temperatures the process of agglomeration of the boron carbide crystallites is rather intense. Accordingly, the preservation of the nanostructure in consolidated samples is complicated and the quality of the material is deteriorated. Proceeding from this, it seems expedient to search for such assembling processes of boron carbide based nanocomposites, which will be carried out at relatively moderate temperatures.

Creation of boron carbide based quasibinary and multicomponent ceramic nanosystems will allow maintaining high hardness of this material simultaneously improving its toughness and maximizing the sintering temperature, which will ensure the creation of large-sized machine parts and units of complex shapes.

From number of boron carbide-based ceramic and metalceramic systems, the most promising, respectively, are titanium-containing metal alloys and boron carbide alloys with titanium diboride TiB_2 : $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$. This paper presents a mini-review of developments in technologies for their obtaining.

Methods for preparing eutectic alloys of boron carbide and titanium diboride $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$ are widely known. An example of obtaining a eutectic $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$ alloy was presented in [3]. This composite was also obtained *in situ* by consolidation directly from a mixture of powdered components [4]. In particular, the material containing 10 – 40 % of TiB_2 was obtained by reacting B_4C , TiO_2 , and C (graphite) powders with the traditional sintering method at a temperature of > 2000 °C and a pressure of 35 MPa. In this case, the TiB_2 nanosized particles are located both within B_4C matrix grains and at their boundaries as well. Also the spark-plasma synthesis was used for hot pressing [5]. By the combination of pressing with reaction-synthesis, it is possible to reduce the consolidation temperature by 200 – 400 °C [6]. But, it still remains quite high. The $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$ eutectic powder composite was prepared [7] by plasma treatment using a mixture of B_4C and TiB_2 powders for starting materials. This mixture was fed by argon flow in the plasma discharge region, where its components were fused. The powder passed through the plasma contains crystals both of B_4C and TiB_2 and additional phase of boron oxide B_2O_3 . In relatively large-sized particles (above 10 μm), a plate-structured eutectic was observed, where the phases separation ranges from 100 to 650 nm. A common disadvantage of the above-mentioned technologies is that they are not able to provide product in a nanocrystalline structure.

In the literature, one can find extensive information on such boron carbide based materials, which contain different (usually metallic) additional elements, their oxides, borides and other compounds: Al [8 – 11], Cr [12 – 14], Fe [15 – 19], Hf [20], Mo [21, 22], Nb [22, 23], Ni [14, 17, 24, 25], Sc [12, 26], Si [9, 21, 27 – 45], etc. Bearing in mind the main purpose of this review, below we consider only titanium compounds containing composites.

The $\text{B}_4\text{C-TiB}_2\text{-TiO}_2$ ceramics obtained by hot pressing of the $\text{B}_4\text{C-TiO}_2\text{-C}$ charge were studied in [46]. The addition of TiO_2 helps hot pressing to obtain a heterophase boron carbide-based material [27]. It activates the sintering process and allows the creation of ceramic materials of the $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$ system.

The effect of the addition of B_4C , $(\text{Ti,Cr})\text{C}$ and P on the kinetics of oxidation in air under isothermal heating was studied by the thermogravimetric method [14]. The effect addition of aluminum together with titanium on kinetics of compaction, structure and properties of the materials of $\text{B}_4\text{C-(Ti-Al)}$ system was also studied [47]. In [48], the reaction of boron carbide with titanium carbide was investigated under various conditions. Reactive sintering of the starting mixtures passing through the stage of lower boride formation gives the heterophase material $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$. The concentration of the reaction product, adiabatic temperatures, and other thermal characteristics in the $\text{Ti-B}_4\text{C}$ system containing 99 wt. % B_4C were determined using thermodynamic analysis [49].

For the production of alloys of titanium with its boride and carbide using self-propagating high-temperature synthesis, the composition of the appropriate mixture was

proposed. In isothermal and constant-rate heating, it was studied the sintering (without pressing) of boron carbide containing 0 – 25 vol. % TiB_2 together with a ceramic phase that was obtained by the chemical reaction between B_4C , TiO_2 , and elemental carbon [50]. The study of crack formation in such ceramics shows [51] that both strength and crack-resistance depend on the volume fraction of TiB_2 . The addition of TiO_2 significantly affects the B_4C sintering process [52]. These two powders react approximately at a temperature of 1500 °C according to the reaction: $\text{B}_4\text{C} + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{B}_4\text{C}_{1-x} + \text{TiB}_2 + \text{CO} \uparrow$ (or $\text{CO}_2 \uparrow$). Above the temperature of 2000 °C, sintering of the resultant biphasic mixture $\text{B}_4\text{C}_{1-x}\text{-TiB}_2$ is faster and yields a compacted and fine-grained composite material consisting of substoichiometric B_4C_{1-x} and additives of TiB_2 , TiO_2 , and C. Reactive sintering of B_4C ceramics allows obtaining high-strength materials at a substantially lower temperature than it is possible with traditional sintering, when only C is added [53]. Using of the B_4C containing carbon-coated TiO_2 as a precursor material allows the production of high-quality TiB_2 powders that are suitable for forming composites consisting of submicron particles [54].

The method of chemical furnace is also suitable for the production of B_4C based materials [55]. In particular, in this way it is possible to heat the reagents for the independent formation and synthesis of the $\text{TiC-Al}_2\text{O}_3$ system as a precursor of the composite material obtained in the combustion process.

The effect of impurities and titanium boride additions on the $\text{SiC-B}_4\text{C}$ ceramics structure and mechanical properties have been studied over a wide temperature range [30]. The $\text{W}_2\text{B-TiB}_2\text{-B}_4\text{C}$ ceramics investigated in [56] were hot pressed from these powders during thermal synthesis by reduction together with boron carbide. Ceramic composites $\text{B}_4\text{C-(W,Ti)C}$ with different content of the solid solution (W,Ti)C were obtained by hot pressing as well [57]. The chemical reaction leads to a $\text{B}_4\text{C-TiB}_2\text{-W}_2\text{B}_5$ composite with high density and improved mechanical properties.

The B_4C based composites with TiB_2 content of 20 mol.% were obtained by hot (at 2000 °C) pressing of submicron powders with nanometric additives of TiO_2 and C [58]. It seems that their extremely high strength is associated with the fine granular microstructure of B_4C and the uniform dispersion of the TiB_2 particles. The erosion rate of the $\text{B}_4\text{C-15%TiB}_2$ materials obtained by reactive hot pressing of $\text{B}_4\text{C-TiO}_2\text{-C}$ powder mixtures was measured in [59].

Composites of boron-carbide-titanium-diboride were synthesized and consolidated by the spark-plasma synthesis method from mechanically ground powder mixtures of Ti-B-C elements [60]. It was reported [8] on the creation of ceramics from $\text{B}_4\text{C-TiB}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ powders obtained by self-propagating high-temperature synthesis using a phosphate binder. Directionally crystallized eutectic composite $\text{B}_4\text{C-TiB}_2$ was obtained by the method of floating zone (crucible-free) melting of compacted powders [61]. In the final product matrix, the fibers of diboride phase are distributed homogeneously reducing its fragility.

A study of phase composition, structure, and erosion properties of $\text{B}_4\text{C-Al}$ composite materials obtained by hot pulsed pressing showed [62] that the powder components interact actively, which causes the formation of some new phases, including TiB_2 , during the pressing process since titanium served for substrate. The $\text{B}_4\text{C-TiB}_2\text{-SiC}$ composite was also proposed [44]. Curves of polarization and Auger electron spectroscopy were used to study growth kinetics, formation mechanism, and the phase-composition of oxide layers growing on $\text{SiC-TiB}_2\text{-B}_4\text{C}$ ceramics [45].

The microstructure and mechanical properties of multiphase composites obtained from Nb–Ti–C–B systems have been studied in [23]. Composites contain (Nb,Ti)B boride and (Nb,Ti)C carbide phases. In the (Nb,Ti)B–(Nb,Ti)C hybrid, the united network microstructure is created. Boride and carbide phases effectively improve the strength and hardness of these composites. Also compounds with V [12, 63, 64], W [56, 57], and Zr [27, 30, 46, 65 – 67] were used in the boron carbide based composites.

The processes of accumulative recrystallization occurring in the grains of hot pressed boron powdered carbide during the subsequent vacuum annealing were studied in [68]. The morphology of a number of ceramic, graphite, and diamond-like, including boron carbide, powders was studied by a scanning electron microscope and their specific surface was determined by the BET-method [69]. Thermal treatment of some crushed hybrids at a temperature of 1500 °C in the argon atmosphere gives B₄C powders [70]. In them, the content of free C varies depending on the C/B ratio in the initial solutions.

The morphology and structure of B₄C nanocrystals in a thin film grown on a Si substrate by enhanced plasma deposition from vapor were studied before and after exposure to the synchrotron radiation [71]. It was found out that in nanocrystals and bulk samples the lattice parameters differ each from other. Ultra-fine-grained B₄C powders were successfully synthesized at temperature of 450 °C by the so-called self-reduction method [72]. The synthesis was carried out in an autoclave using BBr₃ and CCl₄ for reagent gases and metallic Na for co-reducer material. Typical of obtained B₄C crystals consisted of homogeneous spherical or whiskers-like particles. The formation of B₄C whiskers and plates was studied by carbothermal reduction of B₂O₃ [73]. In the absence of any additives of B₂O₃ and C, they were not formed. It was noted that NiCl₂ and K₂CO₃ also able to cause the growth of boron carbide whiskers and plates. Boron carbide nanoparticles were obtained by thermal decomposition in the reaction of boron with multi-walled carbon nanotubes at a temperature of 1150 °C in vacuum [74]. Sizes of formed nanoparticles were less than 100 nm. Evidently, each of them was a single crystal.

As is noted, the production of boron carbide requires high temperature, a deep vacuum and the use of toxic substances. To a certain extent, these problems were overcome in [75], where boron carbide in form of spherical particles was obtained under normal conditions by pulsed laser irradiation of boron particles introduced in an organic solvent (e.g. ethylacetide) served for a carbon source.

In general, the compacting of boron carbide during its sintering is achieved in a two-stage process: first by heating the powder to ~ 2000 °C in a vacuum and then by sintering at a temperature of 2190 °C in argon [76]. Sufficiently fine-grained starting powder allows reaching 95 % of the theoretical density. Often these stages are preceded by treatment of boron carbide powder at a temperature of 1900 °C in nitrogen (for example, infiltration of an Al-based melt into a boron carbide pressform), during which boron nitride is formed and the residual carbon settles in the form of graphite. Vacuum heat treatment in the first stage causes the decomposition of the material. In the second stage, boron is interacted with graphite and forms boron carbide, but in a much finer-grained structure.

Work [77] aimed at developing a low-cost low-temperature method for synthesizing boron carbide from polymer precursors. The polymer precursor was obtained in the reaction of boric acid with polyvinyl alcohol, which after pyrolysis at 400 and 800 °C gives boron carbide. The effect of the preliminary deformational processing – grinding in a spherical mill and the impact of shock waves – on boron carbide specimens of various sizes and compositions pressed

from powders, as well as on their structures and mechanical properties were investigated in [78]. The production of boron carbide nanoparticles in the reactor of a high-temperature furnace was also studied [79]. The reaction was carried out by heating a mixture of amorphous carbon and amorphous boron to a temperature of 1550 °C. The influence of selection of a liquid medium on the process of obtaining boron carbide was studied separately. A number of organic compounds were tested [80] and it turned out that the average particle size decreases inversely proportional to the permittivity of the solvent.

Finally, we list here the author's (L. Chkhartishvili) GTU (Georgian Technical University) and FTMMISI (Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute) teams reports on the subject: [81 – 104]. The key stages of the technology suggested by them are:

- obtaining of biphasic B_4C - TiB_2 nanopowder (each particle of which consists of homogeneously distributed components) from a liquid charge at relatively moderate temperatures, and
- their consolidation by fast spark-plasma synthesis allowing to retain nanostructure in the solid state and, therefore, production of hard composite materials with significantly improved performance.

Acknowledgement

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) – Grant # AR-18-1045: “Obtaining of boron carbide-based nanostructured heterophase ceramic materials and products with improved performance characteristics”.

References

- [1] F. Thevenot. Boron carbide – A comprehensive review. J. Eur. Ceram. Soc., 1990, 6, 4, 205-225.
- [2] D. P. H. Hasselman, P. F. Becher, K. S. Mazdizyani. Analysis of the resistance of high- E , low- E' brittle composites to failure by thermal shock. Z. Werkstofftech., 1980, 11, 82-92.
- [3] I. Bogomol, P. Loboda, Y. Holovenko, O. Biliy. Preparation, structure and properties of sputtered powder of the eutectic B_4C - TiB_2 alloy. In: Proc. 5th Int. Conf. High Mat Tech, 2015, Kyiv, IPMS, 162-162.
- [4] Y.-J. Wang, H.-X. Peng, F. Ye, Y. Zhou. Effect of TiB_2 content on microstructure and mechanical properties of *in-situ* fabricated TiB_2 / B_4C composites. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2011, 21, S369-S373.
- [5] M. V. Zamula, A. V. Derevyanko, V. G. Kolesnichenko, O. B. Zgalat-Lozinskii, A. V. Samelyuk, A. V. Ragulya. Electric discharge sintering refractory composites systems TiN - AlN and B_4C - TiB_2 . Mater. Sci. Nanostruct., 2009, 4, 69-76.
- [6] M. V. Zamula, A. V. Derevyanko, V. G. Kolesnichenko, V. T. Varchenko, S. A. Umerova, O. B. Zgalat-Lozynskyy, A. V. Ragulya. Consolidation of refractory composites of TiB_2 - B_4C by an electric current. In: Proc. 5th Int. Conf. High Mat Tech, 2015, Kyiv, IPMS, 168-168.
- [7] R. M. White, J. M. Kunkle, Ch. Haines, E. C. Dickey. Plasma processing of B_4C - TiB_2 eutectic composite powders. J. Am. Ceram. Soc., 2013, 96, 7, 2050-2053.

- [8] O. Okrostsvavidze, G. Tavadze, D. Dzneladze, D. Gventsadze. Hetero-modulus composites: SHS powders–metal phosphates. In: *Micro et Nano: Scientiæ Mare Magnum*, 2 (Eds. S. Fiore, C. Belviso, M. L. Giannossi), 2009, Bari, SA Publ., 91-91.
- [9] O. N. Grigor'ev, V. A. Kotenko, O. D. Shcherbina, N. D. Bega, T. V. Dubovik, V. I. Subbotin, T. V. Mosina, V. V. Lychko, I. L. Berezhinskii. Production and properties of impact-resistant composites based on boron carbide and aluminum nitride. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2010, 49, 3/4, 193-200.
- [10] Yu. G. Tkachenko, V. F. Britun, D. Z. Yurchenko, M. S. Kovalchenko, I. I. Timofeeva, L. P. Isaeva. Structure and phase formation in boron carbide and aluminum powder mixtures during hot pressing. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2011, 50, 3/4, 202-211.
- [11] A. A. Tofigh, M. O. Shabani. Efficient optimum solution for high strength Al alloys matrix composites. *Ceram. Int.*, 2013, 39, 7, 7483-7490.
- [12] V. B. Fedorus, G. N. Makarenko, S. P. Gordienko, E. V. Marek, I. I. Timofeeva. Interaction between boron carbide and chromium oxide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1995, 34, 11/12, 637-639.
- [13] V. A. Maslyuk, L. N. Tkachenko. Effect of P, B₄C, and (Ti,Cr)C additives on the kinetics of high-temperature oxidation of chromium carbide alloys at 1000 °C. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2002, 41, 5-6, 300-303.
- [14] A. J. Pyzik, R. T. Nilsson. Boron-carbide–copper cermets and method for making same. US Patent, 1991, No. 5145504.
- [15] Yu. V. Turov, B. M. Khusid, L. G. Voroshnin, B. B. Khina, I. L. Kozlovskii. Structure formation in sintering iron–boron carbide powder composite. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1991, 30, 6, 465-470.
- [16] A. V. Byakova. Influence of texture on the strength and supporting capacity of boride coatings. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1993, 32, 4, 314-320.
- [17] G. N. Makarenko, S. P. Gordienko, V. B. Fedorus, E. V. Marek, I. I. Timofeeva. Characteristic features of boron carbide synthesis for iron triad borides. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2004, 43, 3/4, 192-195.
- [18] N. Frage, S. Hayun, S. Kalabukhov, M. P. Dariel. The effect of Fe addition on the densification of B₄C powder by spark plasma sintering. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2007, 46, 11/12, 533-538.
- [19] G. A. Baglyuk, S. G. Napara–Volgina, V. I. Vol'fman, A. A. Mamonova, S. G. Pyatachuk. Thermal synthesis of Fe–B₄C powder master alloys. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2009, 48, 7/8, 381-383.
- [20] P. Rogl, H. Bittermann. On the ternary system hafnium–boron–carbon. *J. Solid State Chem.*, 2000, 154, 1, 257-262.
- [21] H. Chen, M. Suzuki, S. Sodeoka, T. Inoue, K. Ueno. New approach to MoSi₂/SiC intermetallic-ceramic composite with B₄C. *J. Mater. Sci.*, 2001, 36, 5773-5777.
- [22] V. Paderno, Yu. Paderno, V. Filippov, A. Liashchenko. Directional crystallization of B₄C–NbB₂ and B₄C–MoB₂ eutectic compositions. *J. Solid State Chem.*, 2004, 177, 2, 523-528.
- [23] X. Zhang, X. He, C. Fan, Y. Li, G. Song, Y. Sun, J. Huang. Microstructural and mechanical characterization of multiphase Nb-based composites from Nb–Ti–C–B system. *Int. J. Ref. Met. Hard Mater.*, 2013, 41, 11, 185-190.

- [24] G. N. Makarenko, E. V. Marek, S. P. Gordienko, V. B. Fedorus, I. I. Timofeeva. Interaction of boron carbide with nickel oxide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2001, 40, 11/12, 601-605.
- [25] A. Kilicarslan, F. Toptan, I. Kerti. Modification of surface properties of boron carbide (B₄C) particles via electroless nickel coating technique. In: *Proc. 4th Int. Boron Symp.* (Eds. A. Konuk, H. Kurama, H. Ak, M. Iphar), 2009, Ankara, Osmangazi Univ. – TMMOB, 81-87.
- [26] S. P. Gordienko, G. N. Makarenko, V. B. Fedorus, I. I. Timofeeva, K. F. Chernysheva, E. V. Marek. Interaction of boron carbide with scandium oxide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1994, 33, 7/8, 406-407.
- [27] O. N. Grigor'ev, V. V. Koval'chuk, V. V. Zametailo, R. G. Timchenko, D. A. Kotlyar, V. P. Yaroshenko. Structure, physicomechanical properties, and special features of failure of hot-pressed boron carbide base ceramics. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1990, 29, 7, 543-547.
- [28] V. R. Maslennikova, A. A. Belkina, A. D. Panasyuk, L. I. Struk, V. P. Smirnov. Effect of high pressure on the structure and properties of materials based on boron carbide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1995, 34, 9/10, 491-495.
- [29] L. A. Shipilova, V. Ya. Petrovskii, S. I. Chugunova. Structure formation and electrophysical properties of a silicon carbide–boron carbide sintered composite. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1997, 36, 11/12, 652-656.
- [30] O. N. Grigor'ev, G. A. Gogotsi, Yu. G. Gogotsi, V. I. Subbotin, and N. P. Brodnikovskii. Synthesis and properties of ceramics in the SiC–B₄C–MeB₂ system. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2000, 39, 5-6, 239-250.
- [31] P. Larsson, N. Axen, S. Hogmark. Improvements of the microstructure and erosion resistance of boron carbide with additives. *J. Mater. Sci.*, 2000, 35, 3433-3440.
- [32] M. K. Aghajanian, B. N. Morgan, J. R. Singh, J. Mears, R. A. Wolffe. A new family of reaction bounded ceramics for armor applications. *Ceram. Trans.*, 2001, 134, 529-539.
- [33] G. Magnani, G. Beltrami, G. L. Minocari, L. Pilotti. Pressureless sintering and properties of a-SiC–B₄C composite. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2001, 21, 5, 633-638.
- [34] L. A. Shipilova, V. Ya. Petrovskii. Structure formation, electrophysical and mechanical properties of an electrically conducting ceramic composite based on silicon and boron carbides. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2002, 41, 3/4, 147-149.
- [35] S. Tariolle, C. Reynaud, F. Thevenot, T. Chartier, J. L. Besson. Preparation, microstructure and mechanical properties of SiC–SiC and B₄C–B₄C laminates. *J. Solid State Chem.*, 2004, 177, 2, 487-492.
- [36] R. Naslain, A. Guette, F. Rebillat, R. Pailler, F. Langlais, X. Bourrat. Boron-bearing species in ceramic matrix composites for long-term aerospace applications. *J. Solid State Chem.*, 2004, 177, 2, 449-456.
- [37] Yu. G. Tkachenko, V. F. Britun, D. Z. Yurchenko, L. F. Ochkas, G. A. Bovkun. Structure and certain properties of hot-pressed boron carbide-based ceramic with calcium–silicon additive. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2004, 43, 1/2, 99-104.
- [38] Z. Abdel Hamid, F. Abdel Mouez, F. A. Morsy, N. A. Khalifa. Electrolysis Ni–Cr–B on diamond particles for fabricated copper / diamond composites as heat sink materials. *Int. J. Eng. Prac. Res.*, 2013, 2, 3, 112-117.
- [39] Yu. G. Tkachenko, V. F. Britun, E. V. Prilutskii, D. Z. Yurchenko, G. A. Bovkun. Structure and properties of B₄C–SiC composites. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2005, 44, 3/4, 196-201.
- [40] S. Hayun, N. Frage, M. P. Dariel. The morphology of ceramic phases in B₄C–SiC–Si infiltrated composites. *J. Solid State Chem.*, 2006, 179, 9, 2875-2879.
- [41] S. Hayun, D. Rittel, N. Frage, M. P. Dariel. Static and dynamic mechanical properties of infiltrated B₄C–Si composites. *Mater. Sci. Eng. A*, 2008, 487, 1/2, 405-409.

- [42] S. Hayun, A. Weizmann, H. Dilman, M. P. Dariel, N. Frage. Rim region growth and its composition in reaction bonded boron carbide composites with core-rim structure. *J. Phys. Conf. Ser.*, 2009, 176, 012009, 1-7.
- [43] S. Hayun, M. P. Dariel, N. Frage, E. Zaretsky. The high-strain-rate dynamic response of boron carbide-based composites: The effect of microstructure. *Acta Mater.*, 2010, 58, 5, 1721-1731.
- [44] D. Korablev, V. Rummyantsev, S. Ordanyan, V. Fischev. Wear-resistant materials based on B_4C - TiB_2 - SiC system. In: *Proc. 2nd Int. Conf. High Mat Tech*, 2009, Kyiv, IPMS, 249-249.
- [45] V. A. Shvets, V. A. Lavrenko, V. I. Subbotin, V. N. Talash, L. I. Kuznetsova. Anodic oxidation of SiC - TiB_2 - B_4C composites in 3%NaCl solution. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2011, 49, 11/12, 702-706.
- [46] M. S. Koval'chenko, Yu. G. Tkachenko, V. V. Koval'chuk, D. Z. Yurchenko, S. V. Satanin, A. I. Kharlamov. Structure and properties of hot-pressed boron carbide base ceramics. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1990, 29, 7, 523-526.
- [47] V. R. Maslennikova, A. D. Panasyuk, L. I. Struk, A. A. Belkina. Compaction, structure formation, and properties of materials based on boron carbide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1997, 36, 11/12, 570-574.
- [48] A. I. Bykov, I. V. Gridneva, G. N. Makarenko, I. I. Timofeeva, V. B. Fedorus, S. I. Chugunova. Interactions of boron carbide with titanium and zirconium carbides under pressure. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1998, 37, 1/2, 45-47.
- [49] S. P. Gordienko. Thermodynamic analysis of the reaction of titanium with boron carbide in a self-propagating high-temperature synthesis regime. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1999, 38, 3/4, 172-175.
- [50] Vl. V. Skorokhod, V. D. Krstic. Processing, microstructure, and mechanical properties of B_4C - TiB_2 particulate sintered composites I. Pressureless sintering and microstructure evolution. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2000, 39, 7/8, 414-423.
- [51] Vl. V. Skorokhod, V. D. Krstic. Processing, microstructure, and mechanical properties of B_4C - TiB_2 particulate sintered composites. II. Fracture and mechanical properties. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2000, 39, 9/10, 504-513.
- [52] L. Levin, N. Frage, M. P. Dariel. Novel approach for the preparation of B_4C -based cermets. *Int. J. Ref. Met. Hard Mater.*, 2000, 18, 2, 131-135.
- [53] V. Skorokhod Jr., V. D. Krstic. High strength-high toughness B_4C - TiB_2 composites. *J. Mater. Sci. Lett.*, 2000, 19, 237-239.
- [54] R. Koc, D. B. Hodge. Production of TiB_2 from a precursor containing carbon coated TiO_2 and B_4C . *J. Mater. Sci. Lett.*, 2000, 19, 667-669.
- [55] J. H. Lee, C. W. Won, S. M. Joo, D. Y. Maeng, H. S. Kim. Preparation of B_4C powder from B_2O_3 oxide by SHS process. *J. Mater. Sci. Lett.*, 2000, 19, 951-954.
- [56] O. N. Grigor'ev, É. V. Prilutskii, E. G. Trunova, I. V. Kozak. Structure and properties of ceramics based on tungsten and titanium borides and boron carbide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2002, 41, 3/4, 142-146.
- [57] J. Deng, J. Zhou, Y. Feng, Z. Ding. Microstructure and mechanical properties of hot-pressed $B_4C/(W,Ti)C$ ceramic composites. *Ceram. Int.*, 2002, 28, 4, 425-430.
- [58] S. Yamada, K. Hirao, Y. Yamauchi, S. Kanzaki. High strength B_4C - TiB_2 composites fabricated by reaction hot pressing. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2003, 23, 7, 1123-1130.
- [59] Yu. G. Tkachenko, V. F. Britun, G. O. Bovkun, D. Z. Yurchenko. Electroerosion behavior of a ceramic based on boron carbide: phase composition, structure, and properties of protective spark coatings. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2005, 44, 11/12, 537-544.

- [60] D. V. Dudina, D. M. Hulbert, D. Jiang, C. Unuvar, Sh. J. Cytron, A. K. Mukherjee. In situ boron carbide–titanium diboride composites prepared by mechanical milling and subsequent spark plasma sintering. *J. Mater. Sci.*, 2008, 43, 10, 3569-3576.
- [61] I. Bogomol, T. Nishimura, O. Vasylykiv, Y. Sakka, P. Loboda. Microstructure and high-temperature strength of B_4C – TiB_2 composite prepared by a crucibleless zone melting method. *J. Alloys Comp.*, 2009, 485, 1/2, 677-681.
- [62] Yu. G. Tkachenko, M. S. Koval'chenko, V. F. Britun, G. A. Bovkun, D. Z. Yurchenko, A. V. Laptev, L. P. Isaeva. Production, properties, and erosion characteristics of B_4C –Al composite materials. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2009, 48, 1/2, 60-65.
- [63] G. N. Makarenko, S. P. Gordienko, V. B. Fedorus, I. I. Timofeeva, É. V. Marek. Interaction of boron carbide with vanadium oxide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1998, 37, 3/4, 229-231.
- [64] O. N. Grigor'ev, V. V. Koval'chuk, O. I. Zaporozhets, N. D. Bega, B. A. Galanov, É. V. Prilutskii, V. A. Kotenko, T. N. Kutran', N. A. Dordienko. Synthesis and physico-mechanical properties of B_4C – VB_2 composites. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2006, 45, 1/2, 47-58.
- [65] C. H. Liu, C. Huang. Structural changes of boron carbide induced by Zr incorporation. *J. Mater. Sci.*, 2000, 35, 387-390.
- [66] A. V. Kovalev, E. M. Dudnik, O. N. Grigor'ev, T. I. Shaposhnikova, I. S. Martsynyuk. Directionally solidified eutectic of the B_4C – ZrB_2 system. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2000, 39, 1/2, 63-66.
- [67] S. Zhang, S. Wang, W. Li, Y. Zhu, Z. Chen. Mechanical properties of the low-temperature reactive melt infiltrated ZrB_2 – ZrC based composites. *Mater. Lett.*, 2012, 78, 7, 81-84.
- [68] A. A. Korneev, I. T. Ostapenko, M. A. Dolzhak, A. G. Mironova, N. D. Rybal'chenko, I. A. Lyashenko, V. P. Podtykan. Effect of annealing on the structure and properties of hot-pressed boron carbide. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 1992, 31, 1, 64-66.
- [69] I. Dion, F. Rouais, Ch. Baquey, M. Lahaye, R. Salmon, L. Trut, J. P. Cazorla, P. V. Huong, J. R. Monties, P. Havlik. Physico-chemistry and cytotoxicity of ceramics. Part I. Characterization of ceramic powders. *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, 1997, 8, 325-332.
- [70] I. Hasegawa, Y. Fujii, T. Takayama, K. Yamada. Phenolic resin–boron oxide hybrids as precursors for boron carbide. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1999, 18, 1629-1631.
- [71] V. Ya. Shevchenko, G. S. Yur'ev. Morphology and structure of BN and B_4C nanocrystals. *Inorg. Mater.*, 2001, 57, 9, 935-940.
- [72] L. Shi, Y. Gu, L. Chen, Y. Qian, Z. Yang, J. Ma. A low temperature synthesis of crystalline B_4C ultrafine powders. *Solid State Commun.*, 2003, 128, 1, 5-7.
- [73] R. V. Krishnarao, J. Subrahmanyam. Studies on the formation of whiskers and platelets of B_4C and BN. *J. Mater. Sci.*, 2004, 39, 6263-6269.
- [74] S. Chen, D. Z. Wang, J. Y. Huang, Z. F. Ren. Synthesis and characterization of boron carbide nanoparticles. *Appl. Phys. A*, 2004, 79, 1757-1759.
- [75] N. Koshizaki, Y. Ishikawa, T. Sasaki, K. Kawaguchi. Fabrication of boron carbide spherical particles by pulsed laser irradiation of boron in organic solution. In: *Abs. 16th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater.*, 2008, Matsue, Tokyo Univ., 87-87.
- [76] N. Frage, L. Levin, M. P. Dariel. The effect of the sintering atmosphere on the densification of B_4C ceramics. *J. Solid State Chem.*, 2004, 177, 2, 410-414.
- [77] Sh. Mondal, A. K. Banthia. Low-temperature synthetic route for boron carbide. *J. Eur. Chem. Soc.*, 2005, 25, 287-291.
- [78] Yu. G. Tkachenko, V. I. Kovtun, V. F. Britun, D. Z. Yurchenko, G. A. Bovkun. Influence of shock wave treatment of boron carbide powders on the structure and properties of hot-

- pressed polycrystals based on such powders. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2005, 44, 7/8, 407-414.
- [79] B. Chang, B. L. Gersten, S. T. Szewczyk, J. W. Adams. Characterization of boron carbide nanoparticles prepared by a solid state thermal reaction. *Appl. Phys. Lett. A*, 2007, 86, 83-87.
- [80] Y. Ishikawa, N. Koshizaki, T. Sasaki, K. Kawaguchi. Fabrication of boron carbide spherical particles by pulsed laser irradiation of boron in organic solvent: Influence of liquid medium on particle formation. In: *Abs. 16th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater.*, 2008, Matsue, Tokyo Univ., 88-88.
- [81] O. Tsagareishvili, D. Lezhava, M. Tushishvili, L. Gabunia, M. Antadze, L. Kekelidze, T. Dzigrashvili. Some physical properties of compacted specimens of high dispersed boron carbide and boron suboxide. *J. Solid State Chem.*, 2004, 177, 2, 596-599.
- [82] D. Gabunia, A. Gachechiladze, A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili. Obtaining opportunities of boron carbide powders based hetero-modulus ceramics. In: *Micro et Nano: Scientiæ Mare Magnum*, 1 (Eds. S. Fiore, C. Belviso, M. L. Giannossi), 2009, Bari, SA Publ., 86-86.
- [83] A. Gachechiladze, D. Gabunia, A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili. On technological process of synthesis of boron carbide nanodispersive powders. In: *Proc. 4th Int. Boron Symp.* (Eds. A. Konuk, H. Kurama, H. Ak, M. Iphar), 2009, Ankara, Osmangazi Univ. – TMMOB, 67-71.
- [84] M. Antadze, R. Chedia, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, A. Gachechiladze, B. Margiev, D. Gabunia, T. Tsuladze, J. Khantadze. Metal-ceramics based on nanostructured boron carbide. *Solid State Sci.*, 2012, 14, 11/12, 1725-1728.
- [85] T. A. Batsikadze, D. L. Gabunia, V. M. Gabunia, T. G. Gigitashvili, O. A. Tsagareishvili, L. S. Chkhartishvili. Preparation of boron and boron carbide in arc – New approaches. In: *Abs. 18th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater.*, 2014, Honolulu, Univ. Hawaii, 127-127.
- [86] M. Antadze, A. Mikeladze, A. Gachechiladze, R. Chedia, B. Margiev, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili. Fabrication of metal-ceramics composite based on B_4C-MeB_2 . In: *Abs. 18th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater.*, 2014, Honolulu, Univ. Hawaii, 144-144.
- [87] T. A. Batsikadze, D. L. Gabunia, V. M. Gabunia, T. G. Gigitashvili, O. A. Tsagareishvili, L. S. Chkhartishvili. Obtaining of mixture of boron and boron carbide in electric arc. *Proc. Georg. Natl. Acad. Sci. (Ser. Chem.)*, 2015, 41, 1/2, 160-163.
- [88] A. Mikeladze, L. Chkhartishvili, R. Chedia, O. Tsagareishvili, M. Darchiashvili. B_4C-TiB_2 ceramic nanocrystalline composites: Synthesis, compacting, structure, and properties. In: *Abs. 4th Int. Conf. "Nanotechnologies"* (Eds. A. Gerasomov, L. Chkhartishvili), 2016, Tbilisi, Georg. Tech. Univ., 145-145.
- [89] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia. Obtaining B_4C-TiB_2 ceramic nanostructured alloys. *Proc. Georg. Natl. Acad. Sci. (Multi-Discip. Studies Ser.)*, 2017, 2, 37-44.
- [90] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, M. Darchiashvili, R. Chedia, K. Sarajishvili. Synthesizing of nanostructured composite ceramics B_4C-TiB_2 and their properties. In: *Abs. 19th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater.*, 2017, Freiburg, Albert-Ludwigs Univ., 58-58.
- [91] L. Chkhartishvili, A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, A. Gachechiladze, A. Oakley, B. Margiev. Ch. 2: Boron-containing nanocrystalline ceramic and metal-ceramic materials. In: *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications* (Ed. Ch. M. Hussain), 2018, Amsterdam, Elsevier, 13-35.

- [92] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia. Chemical method of obtaining of B_4C - TiB_2 ceramic composites. In: Proc. 26th Ann. Int. Conf. Compos. Nano Eng. (Ed. D. Hui), 2018, Paris, ICCE – AMAC – Guangzhou Univ., 1-2.
<https://www.dropbox.com/sh/jaxxr743yjif8f6/AABwXggdAHPYT4XI9N10qzSLa?dl=0>
- [93] O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, R. Chedia, L. Chkhartishvili. Method of obtaining boron carbide based hard nanocomposite materials. National Center for Intellectual Property of Georgia “GeoPatent” – Patent # GE P 2018 6709B, 2018 October 11.
- [94] A. Mikeladze, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, R. Chedia, M. Darchiashvili. Ceramic composites B_4C - TiB_2 in nanocrystalline state: Production, structure, and mechanical properties. In: Book Abs. 3rd Int. Conf. “Inorg. Mater. Sci. Mod. Technol. Meth.”, 2018, Tbilisi, Georg. Natl. Acad. Sci. Press, 62-65.
- [95] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia, R. Tsiskarishvili. On production of hard nanocrystalline materials. In: Abs. 5th Int. Conf. “Nanotechnol.” (Eds. A. Gerasimov, L. Chkhartishvili, G. Chikhladze), 2018, Tbilisi, Tech. Univ., 128-128.
- [96] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia, R. Tsiskarishvili. Method for manufacturing nanocrystalline systems from liquid charge. Nano Studies, 2019, 19, 15-36.
- [97] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia, M. Darchiashvili. Production of titanium-containing metal-ceramic composites based on boron carbide in the nanocrystalline state. Adv. Appl. Ceram., 2019, 118, 4, 196-208.
- [98] L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze. On commercialization of innovative studies in materials science. Economics and Finance, 2019, 1, 76-84.
- [99] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia. Obtaining of some boron-containing and related nanocrystalline systems from solutions and suspensions. In: Proc. Book Int. Symp. Boron, 2019, Nevsehir, Boren, 181-191.
- [100] L. Chkhartishvili. On obtaining boron carbide based nanocomposites. In: Proc. Int. Conf. Mater. Sci. Mech. Automot. Eng. Technol. Cappadocia (Eds. B. Kurt, C. Carboga, Z. Bayer Ozturk, N. Kuckdeveci), 2019, Nevsehir, Bektas Veli Univ., 17-21.
- [101] N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, V. Ugrekheldze. Obtaining of ultrafine powder composites of tungsten, molybdenum, titanium and boron carbides using liquid precursors. In: Book Abs. 11th Japanese-Mediterranean Workshop Appl. Electromagn. Eng. Magn. Supercond. Multifunc. Nanomater., 2019, Batumi, Batumi State Univ., 114-115.
- [102] L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, V. Ugrekheldze. Production of B_4C - MeB_2 composite nanopowders from liquid charge. In: Abs. 20th Int. Symp. Boron, Borides Rel. Mater., 2019, Niigata, Nagaoka Univ. Technol., 103-103.
- [103] N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, V. Ugrekheldze. Obtaining of ultrafine powders of some boron carbide based nanocomposites using liquid precursors. Nanotechnology Perceptions, 2019, 15, 3, 1-14.
- [104] L. Chkhartishvili, A. Mikeladze, R. Chedia, O. Tsagareishvili, N. Barbakadze, K. Sarajishvili, M. Darchiashvili, V. Ugrekheldze, T. Korkia. Synthesizing fine-grained powders of complex compositions B_4C - TiB_2 - WC - Co . Solid State Sci., 2020, 108, 106439, 1-8.

VOLUME OF INTERSECTION OF SPHERE WITH PENTAGONAL PYRAMID:
CASE OF SPECIAL PRACTICAL INTEREST FOR NANO-GRAINED COMPOSITES

L. Chkhartishvili^{1,2,*}, O. Tsagareishvili^{2,**}, J. Khantadze^{2,***}

¹Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia

*levanchkhartishvili@gtu.ge

²Boron & Powder Composite Materials Laboratory
Ferdinand Tavadze Metallurgy & Materials Science Institute
Tbilisi, Georgia

*chkharti2003@yahoo.com

**t_otari@hotmail.com

***jkhantadze@yahoo.com

Accepted 2019 March 29

Abstract

Nanocomposite materials are built up from crystalline nanoparticles of different phases. As nanocrystallites often take icosahedral shape the structural model for a bifractional nanocomposite leads to the geometric task: to determine the volume cut out from the sphere by the lateral facets planes of a pentagonal pyramid, top of which coincides with the sphere center. In the paper, this problem is resolved analytically. Based on this result, it is possible to estimate quantitatively the density of bifractional nanocomposites.

1. Introduction

Various problems of science and engineering need the calculation of volume of intersection between spheres and spheres with other figures. In the paper [1], we found the explicit analytical solution of this problem for three spheres in general case, i.e. for different radii of spheres and different distances between their centers. This result is used in computing of materials electron structure. Later we solved [2] the six-sphere problem for special robotics case of practical interest, namely, determined workspace volume of the 6-DOF parallel manipulator “Stewart Platform”. Here we intend to consider one more related geometric problem, which is an important issue for the powder metallurgy technologies.

Currently, number of powder materials containing chemical elements such as titanium, aluminum, silicon, boron, carbon, etc. are used as feedstock for producing various important ceramics, cermets, superalloys, etc. both by conventional powder metallurgy and self-propagating high-temperature synthesis (SHS) methods. In such heterogeneous media, heterodiffusion and chemical reactions are initiated at contact points between dissimilar

particles. Hence, the number of initial heterogeneous contacts significantly affects the rate of these processes.

The paper [3] determines the ratio of particle sizes, which is optimal for two-component mixtures to obtain the structures with maximum heterogeneous contacts. According to the model proposed, the starting mixture is considered a random packing of spherical particles of two different sizes. Based on this model, the particle size ratio has been estimated so that the number of heterogeneous contacts between the particles of different phases maximal. In particular, it was analyzed the Ti–B composition, what is important for producing titanium diboride TiB₂. By introducing the IRA (Ideal Reaction Area) concept, reaction mixture – initial charge of two reagents is considered as a mixture of spherical particles of two different diameters, in which all the big particles are surrounded by the small ones. In this approach, the chemical synthesis process can be investigated within a single IRA and the result expanded to the whole system. As is known, any disordered system of particles is characterized by the structural motif of 5th order symmetry. Then each IRA can be assumed to be surrounded by 12 similar IRAs in the configuration of slightly distorted icosahedron.

As icosahedron tops are pentagonal pyramid tops as well, above described model leads to the geometric task to determine the volume cut out from the sphere by the lateral facets planes of the pentagonal pyramid, top of which coincides with the sphere center. In the paper, this problem is resolved analytically.

2. Volume of intersection between sphere and pentagonal pyramid

Let us introduce the necessary designations: R is the sphere radius or, what is the same, the edges of the pyramid; r is the radius of the circle ascribed around the pyramid basal pentagon or, what is the same, the distance from the pentagon center to its vertices; h is the radius of the circle inscribed in this pentagon or, what is the same, the distance from its center to its sides; and $\frac{\pi}{5}$ is the angle between r and h line-segments. From **Figure 1**, it follows the relations:

$$r = \frac{R}{2 \sin \frac{\pi}{5}}, \quad (1)$$

$$h = \frac{R}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{5}}, \quad (2)$$

and

$$r^2 - h^2 = \frac{R^2}{4}. \quad (3)$$

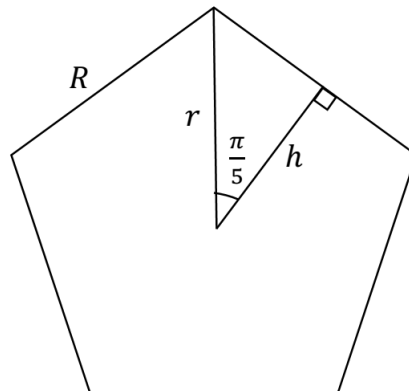


Figure 1. Pyramid basal pentagon.

Pyramid height H (Figure 2), base area S_{Pyramid} , and volume V_{Pyramid} , respectively, are equal to:

$$H = \sqrt{R^2 - r^2}, \tag{4}$$

$$S_{\text{Pyramid}} = 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{2} \cdot h = \frac{5Rh}{2}, \tag{5}$$

and

$$V_{\text{Pyramid}} = \frac{S_{\text{Pyramid}}H}{3} = \frac{5RHh}{6}. \tag{6}$$

Since the height of the spherical segment resting on the pyramid basal plane (Figure 3) is equal to $R - H$, the volume of this spherical segment is:

$$V_{\text{Segment}} = \pi(R - H)^2 \left(R - \frac{R-H}{3} \right) = \frac{2\pi R^3}{3} - \pi R^2 H + \frac{\pi H^3}{3}. \tag{7}$$

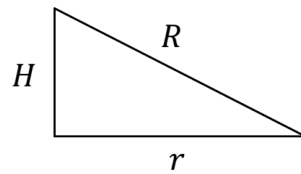


Figure 2. For calculation of pentagonal pyramid height.

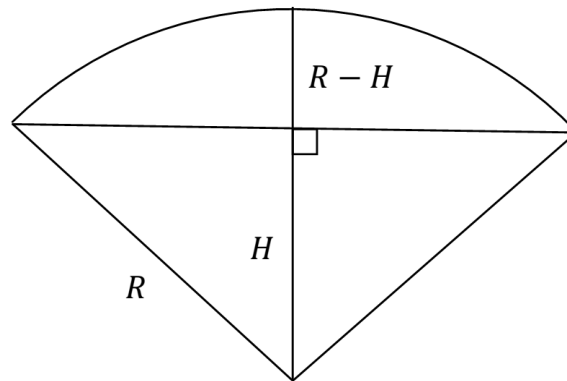


Figure 3. Section of spherical segment resting on pyramid basal plane.

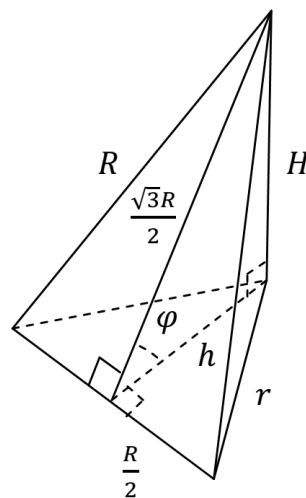


Figure 4. For calculation of angle between pyramid hip facets and basal planes.

Further, since the height of the pyramid triangular hip facets is $\sqrt{R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}R}{2}$ (**Figure 4**), the angle φ between the planes of these facets and pyramid base is determined from the relation:

$$\cos \varphi = \frac{h}{\frac{\sqrt{3}R}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3} \operatorname{tg} \frac{\pi}{5}}. \quad (8)$$

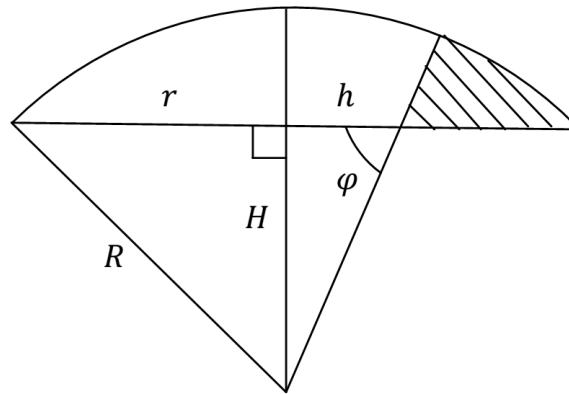


Figure 5. Cross-section of figure in form of “apple slice” in equatorial plane of sphere.

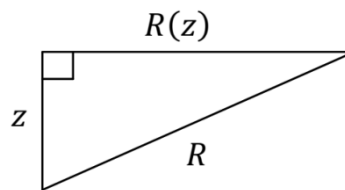


Figure 6. For calculation of $R(z)$ radius.

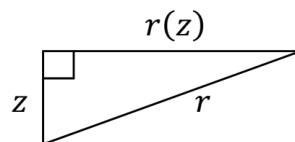


Figure 7. For calculation of $r(z)$ radius.

Let us consider the cross-section (**Figure 5**) of the figure in form of “apple slice” in the equatorial plane of the sphere, in which the corresponding hip facet of the pyramid lies. Let z denotes the coordinate along the “apple slice” edge or, equivalently, along the corresponding side of the pyramid basal pentagon. In **Figures 6** and **7**, the radii $R(z)$ and $r(z)$ at the height z are calculated using following formulas:

$$R(z) = \sqrt{R^2 - z^2} \quad (9)$$

and

$$r(z) = \sqrt{r^2 - z^2}. \quad (10)$$

Obviously, $r(z) \geq h$ and, consequently, $z^2 \leq r^2 - h^2 = \left(\frac{R}{2}\right)^2$ and $z \leq \frac{R}{2}$. Therefore, z varies from 0 to $\frac{R}{2}$ and to calculate the “apple slice” volume it is necessary to integrate its cross-sectional area at the height z in the interval $0 \leq z \leq \frac{R}{2}$ and then double the result.

From **Figure 8**, at height z the “apple slice” cross-sectional area is equal to the right triangle area plus the area under the curve of the function describing the circle arc and minus the rectangle area.

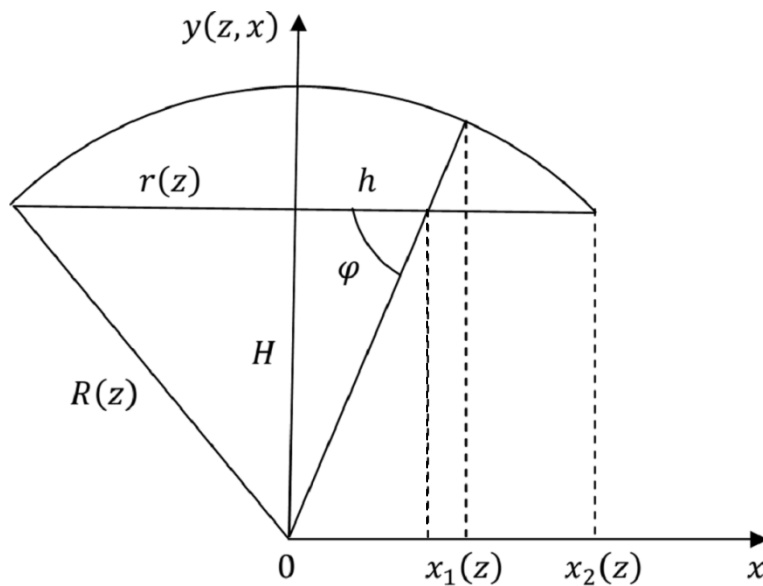


Figure 8. For calculation of cross-section area of figure in form of “apple slice”.

Hypotenuse and adjacent to the angle φ leg of the right triangle, respectively, are equal to $R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}$ and $(R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}) \cos \varphi$. Therefore, the area of this right triangle is:

$$S_{\text{Triangle}}(z) = \frac{1}{2} \cdot (R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}) \cdot (R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}) \cos \varphi \cdot \sin \varphi = \frac{\sin 2\varphi}{4} \left((H^2 + R^2) - 2\sqrt{(H^2 + h^2)(R^2 - z^2)} + (R^2 - z^2) \right). \quad (11)$$

Rectangle sides are H and $r(z) - (h + (R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}) \cos \varphi) = r(z) - R(z) \cos \varphi$.

Therefore, for this rectangle area we obtain the expression:

$$S_{\text{Rectangle}}(z) = H(r(z) - R(z) \cos \varphi) = H(\sqrt{r^2 - z^2} - \sqrt{R^2 - z^2} \cos \varphi). \quad (12)$$

Equation of the function of argument x describing the circle arc is:

$$y(z, x) = \sqrt{R^2(z) - x^2}. \quad (13)$$

Coordinates of starting and ending points of the arc are determined, respectively, by relations

$$x_1(z) = h + (R(z) - \sqrt{H^2 + h^2}) \cos \varphi \quad (14)$$

and

$$x_2(z) = r(z). \quad (15)$$

Then, using the tables of integrals we obtain the required area under the curve of the function describing the circle arc:

$$S_{\text{Arc}}(z) = \int_{x_1(z)}^{x_2(z)} dx y(z, x) = \int_{x_1(z)}^{x_2(z)} dx \sqrt{R^2(z) - x^2} = \frac{H}{2} \sqrt{r^2 - z^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) (R^2 - z^2) + \frac{1}{2} (R^2 - z^2) \arcsin \sqrt{\frac{r^2 - z^2}{R^2 - z^2}}. \quad (16)$$

As a result, the “apple slice” cross-sectional area at the height z we obtain in form:

$$S(z) = S_{\text{Triangle}}(z) + S_{\text{Arc}}(z) - S_{\text{Rectangle}}(z) = \frac{Hh}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) (R^2 - z^2) - H\sqrt{r^2 - z^2} + \frac{1}{2} (R^2 - z^2) \arcsin \sqrt{\frac{r^2 - z^2}{R^2 - z^2}}. \quad (17)$$

And after a cumbersome integration, in particular, using tables of integrals [4] the volume of the figure in form of “apple slice” is calculated as:

$$V_{\text{“Apple Slice”}} = 2 \int_0^{\frac{R}{2}} dz S(z) = \frac{RHh}{3} - \frac{\pi Hr^2}{15} - \frac{2\pi R^2 H}{15} + \frac{2R^3}{3} \operatorname{arctg} \frac{3-\sqrt{5}}{2}. \quad (18)$$

Hence, the required volume is

$$V = V_{\text{Pyramid}} + V_{\text{Segment}} - 5 V_{\text{“Apple Slice”}} = \left(1 - \frac{5}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{3-\sqrt{5}}{2}\right) \frac{2\pi R^3}{3}. \quad (19)$$

3. Concluding remarks

As expected, the hemisphere volume,

$$V_{\text{Hemisphere}} = \frac{2\pi R^3}{3}, \quad (20)$$

exceeds the volume cut out from the sphere by the lateral facets planes of the pentagonal pyramid, top of which coincides with the sphere center:

$$V \approx 0.419 V_{\text{Hemisphere}} \approx 0.878 R^3. \quad (21)$$

Based on the obtained expression, it is possible to estimate quantitatively the density of bifractional nanocomposites.

Acknowledgement

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) – Grant # AR-18-1045: “Obtaining of boron carbide-based nanostructured heterophase ceramic materials and products with improved performance characteristics”.

References

- [1] L. S. Chkhartishvili. Volume of the intersection of three spheres. *Math. Notes*, 2001, 69, 3, 421-428.
- [2] L. Chkhartishvili, S. G. Narasimhan. Volume of intersection of six spheres: A special case of practical interest. *Nano Studies*, 2015, 11, 111-126.
- [3] D. V. Khantadze, G. F. Tavazde, A. S. Mukasian. Structural model of two-component particulate mixtures with maximum heterogeneous contacts. *Powd. Metall. Met. Ceram.*, 2020, 59, 3/4, 121-126.
- [4] A. P. Prudnikov, Yu. A. Brjchkov, O. I. Marichev. *Integrals and Series. Elemental Functions*, 1981, Moscow, Nauka. – *in Russian*

ერთვოქსელიანი პროტონული (^1H) მაგნიტურ-
რეზონანსული სპექტროსკოპიის მიმოხილვა

ა. გოგიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
anuka1@yahoo.com

მიღებულია 2020 წლის 5 აგვისტოს

ანოტაცია

პროტონული მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპია (მრს) საშუალებას იძლევა არაინვაზიურად გაიზომოს დაახლოებით 20 მეტაბოლიტი *in vivo* კონცენტრაცია. მრს განსაკუთრებით ეფექტურია ზედლიერ ველებზე (7 ტლ და მეტი) სიგნალი / ხმაური (S/N) ფარდობის ზრდის წყალობით. მისი ეს დადებითი მხარე შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას სივრცული და დროითი გარჩევადობების ასამაღლებლად და მეტაბოლიტების კონცენტრაციის რაოდენობის ზუსტად დასადგენად. ზემოაღნიშნულ ველებზე მრს მხოლოდ მაშინ არის ეფექტური, როდესაც ხერხდება მთავარი B_0 მაგნიტური ველის რეგულირება. სტატიაში მიმოხილულია ერთვოქსელიანი პროტონული მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპიის წარმართვის პროცედურა და ამ გზით მიღებული შედეგები.

1. შესავალი

მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპია (მრს) წარმოადგენს არაინვაზიური დიაგნოსტიკის ტესტს ტვინში მიმდინარე ბიოქიმიური ცვლილებების გასაზომად, განსაკუთრებით ხშირად ის სიმსივნის არსებობის შემთხვევაში გამოიყენება.

ამგვარი სპექტროსკოპიის წარმართვა ჩვეულებრივ მაგნიტურ-რეზონანსული გამოსახულების (მრგ) სკანერებზეა შესაძლებელი. ამასთან მრს-ით იზომება მეტაბოლიტების კონცენტრაცია. ყველაზე უფრო ხშირად ამ მიზნით გამოიყენება ისეთი ელემენტების ბირთვები, როგორცაა: წყალბადი ანუ პროტონი, ნატრიუმი და ფოსფორი.

პროტონული (^1H) მრს გამოიყენება მრავალი დაავადების აღმოსაჩენად. მაშინ როდესაც მრგ განსაზღვრავს სიმსივნის ანატომიურ მდებარეობას, მრს ერთმანეთს უდარებს ნორმალური ტვინისა და პათოლოგიური – სიმსივნური ქსოვილების ქიმიურ შემადგენლობებს. პროტონული მრს არის ის ერთადერთი საშუალება, რომელიც დასხივების გარეშე განსაზღვრავს *in vivo* მეტაბოლიტების შემცველობის დონეს. მრს-ის დახმარებით ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში შემდეგი მეტაბოლიტების გამოვლენაა შესაძლებელი: ალანინი, ასპარტატი, ფოსფორკოლინი, კრეატინი, ფოსფორკრეატინი, გაბა, გლუტამინი, გლუტამატი, გლუტატიონი, გლიცინი, მიოინოზიტოლი, ლაქტატი, აცეტილ-ასპარტატი, სქილოინოზიტორი, ტაურინი, გლუკოზა, აცეტილ-ასპარტატ-

გლუამატი, გლიცერინ-ფოსფორ-კოლინი, ფოსფორ-ეთანოლ-ამინი, სერინი, ლიპიდები, მთელი რიგი მაკრომოლეკულები და სხვა. მრს-ს შეუძლია უზრუნველყოს სრული ინფორმაციის მოწოდება ენერგეტიკული მეტაბოლიზმის, ნეიროტრანსმიტერის, მიელინაციის, მემბრანული მეტაბოლიზმის, ანტიოქსიდანტური და ოსმოტური სტატუსების შესახებ.

ზეძლიერი მაგნიტური ველის (7 ტლ და მეტი) ტომოგრაფის გამოყენება მგრძნობელობის ზრდის საფუძველია, რაც გამოიხატება მაღალი გარჩევადობის სიგნალის მიღებაში. კლინიკური გამოკვლევები მრს ტექნიკის გამოყენებით ხელს უწყობს დიდი მოცულობის ინფორმაციის მოპოვებას არაინვაზიური გზით, რაც ერთერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია ადამიანის თავის ტვინის კვლევისათვის.

2. მასალა და მეთოდები

მრს-ის ექსპერიმენტის წარმართვისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მეტაბოლიტების რაოდენობის სიზუსტესა და ხარისხის. სწორად უნდა იქნას შერჩეული იმპულსური მიმდევრობები, კალიბრაცია, სხვადასხვა მეტაბოლიტური რელაქსაციის დროები, გაუმჯობესდეს B_0 ველის სივრცული და საერთო ჰომოგენურობა.

ექსპერიმენტი ჩატარდა ჯანმრთელ მოხალისეზე, 7 T სიმენსის ტერასკანერზე (Siemens, Erlangen, გერმანია), რომელიც აღჭურვილია 1Tx/32Rx თავიანი კოჭით. *in vivo* გაზომვა განხორციელდა (ნახევრადლოკალიზებული ადიაბატური შერჩევითი გამოსახულების) semi-LASER-ის იმპულსური მიმდევრობით. მეტაბოლიტური პროფილის სრული და ხარისხიანი განსაზღვრისათვის საჭიროა სწორად იქნას შეფასებული განივი და გრძივი რელაქსაციის დროები. მრს-ის მიზანია მეტაბოლიტების კონცენტრაციის დადგენა, რომელიც მცირეა. ამიტომ მათ გამოსავლენად წყლის დიდი სიგნალის ჩახშობაა საჭირო. წყლის სიგნალი ფიქსირდება 4.7 ppm-ზე (მთელის მემილიონედი ნაწილი). ექსპერიმენტში წყლის სიგნალის ჩახშობა მოხდა ცვლადი იმპულსის სიმძლავრით და ოპტიმიზებული რელაქსაციის შეფერხებით (VAPOR).

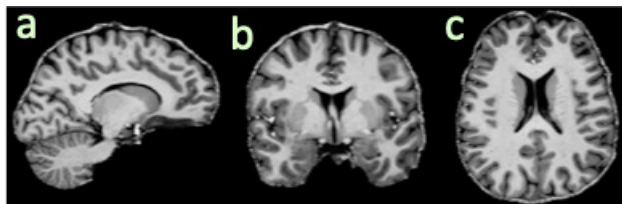
მრს-ის გაზომვები, პირველი და მეორე რიგის B_0 კალიბრაცია სასურველი უზნისთვის ავტომატური კალიბრაციის სწრაფმოქმედი ტექნიკის (FASTESTMAP) გამოყენებით შესრულდა. T1 მოცდის mp2rage თანმიმდევრობა გამოყენებული იქნა მრს ვოქსელის სწორი პოზიციონირების მისაღებად. ცალკეული ვოქსელების მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტრი გაზომილ იქნა ექო-რეჟიმის (semi-LASER) თანმიმდევრობით, ულტრამოკლე ექო-დროით TE = 32 მწ, განმეორების დროით TR = 9500 მწ, საშუალოთა რაოდენობით 58 და ვექტორული ზომით 2048.

მრს სპექტრი მიღებულ იქნა სტრიატუმის უბნიდან. ექსპერიმენტი წარიმართა შემდეგი თანამიმდევრობით: (ა) მიღებულ იქნა მთლიანი ტვინის ანატომიური გამოსახულება, (ბ) აირჩა მრს-ის ფორმა, (გ) შეირჩა მრს-ის ტექნიკა და პარამეტრები, (დ) ანატომიურ სურათზე აირჩა გამოსაკვლევი ადგილის მოცულობა, (ე) შესრულდა მაგნიტური ველის კალიბრაცია, (ვ) მოხდა მრს გამოსახულების მიღება და (ზ) გაანალიზდა მიღებული სპექტრი.

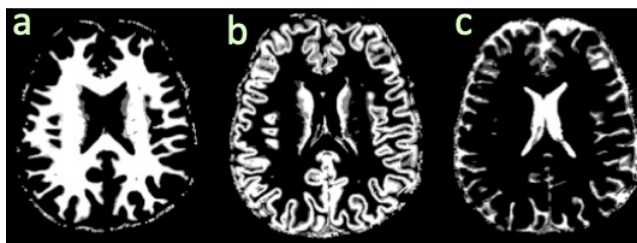
3. შედეგები და დასკვნა

^1H მრს-ისათვის ჩვეულებრივ გამოყენებული ვოქსელის ზომაა 8 სმ³, რაც იმას ნიშნავს, რომ ექსპერიმენტების უმრავლესობაში სიგნალი იქნება თეთრი და

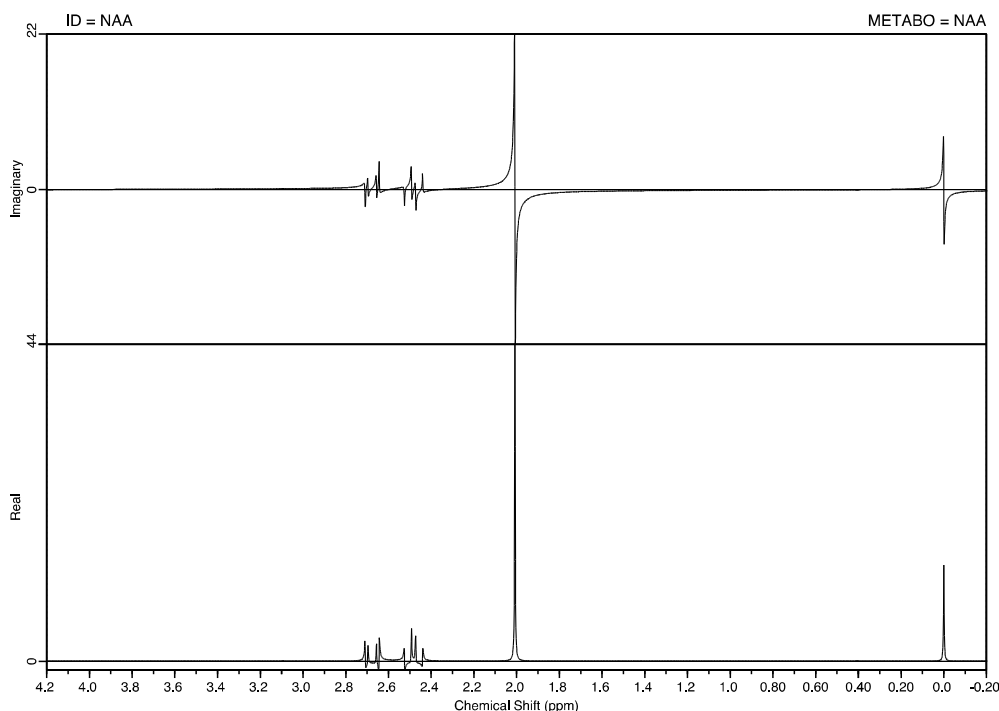
ნაცრისფერი ნივთიერებებისა და ცერებროსპინალური სითხისაგან მიღებული. იმის გათვალისწინებით, რომ მეტაბოლიტის კონცენტრაცია დამოკიდებულია ქსოვილის ტიპზე, არსებითია თითოეული ტიპის ქსოვილის მოცულობის შეფასება და მიღება მხედველობაში მონაცემების დამუშავებისას. შედეგები ნაჩვენებია სურათებზე 1 – 5.



სურათი 1. ჯანმრთელი მოხალისის ტვინის მაღალი გარჩევადობის T1 ანატომიური გამოსახულება. სასურველი უბნის არჩევა. თავის ტვინის (a) საგიტალური, (b) კორონარული და (c) აქსიალური მიმართულებები.



სურათი 2. თავის ტვინის სეგმენტაცია / დაყოფა (სეგმენტაცია FSL-პროგრამის გამოყენებითაა ჩატარებული). (a) თეთრი ნივთიერება, (b) ნაცრისფერი ნივთიერება და (c) ცერებროსპინალური სითხე.

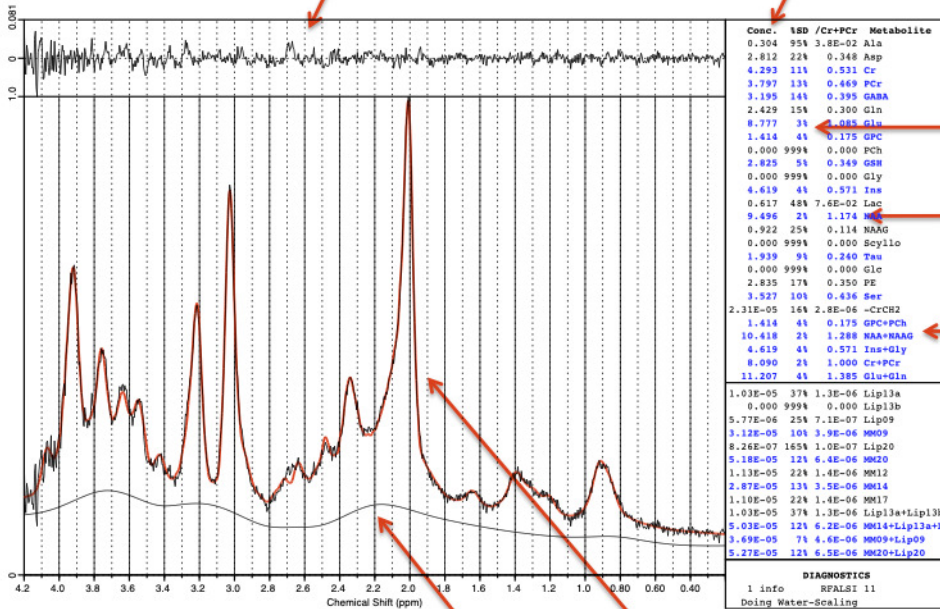


სურათი 3. ბაზისის შექმნა LCMoDel-ისათვის FID-A პაკეტის გამოყენებით. ნაჩვენებია, აცეტილ-ასპარტატ-მეტაბოლიტის ბაზისის როგორც ნამდვილი, ისე – წარმოსახვითი ნაწილები.

FID-A გამოიყენება რადიოსიხშირული იმპულსის გამომუშავების და მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპიის მონაცემების დამუშავებისა და ანალიზისათვის. ესაა სახელმძღვანელო, რომლის მიხედვითაც უნდა მოხდეს სპექტროსკოპული ფაილების წინასწარი დამუშავება, შემდგომში LCModel-ის ანალიზისათვის გამოსაყენებლად.

ნარჩენები (ორიგინალ სპექტრს გამოკლებული აგებული სპექტრი)

მეტაბოლიტების კონცენტრაცია



სანდოობის მაჩვენებელი (< 20%)

მეტაბოლიტის კოეფიციენტები

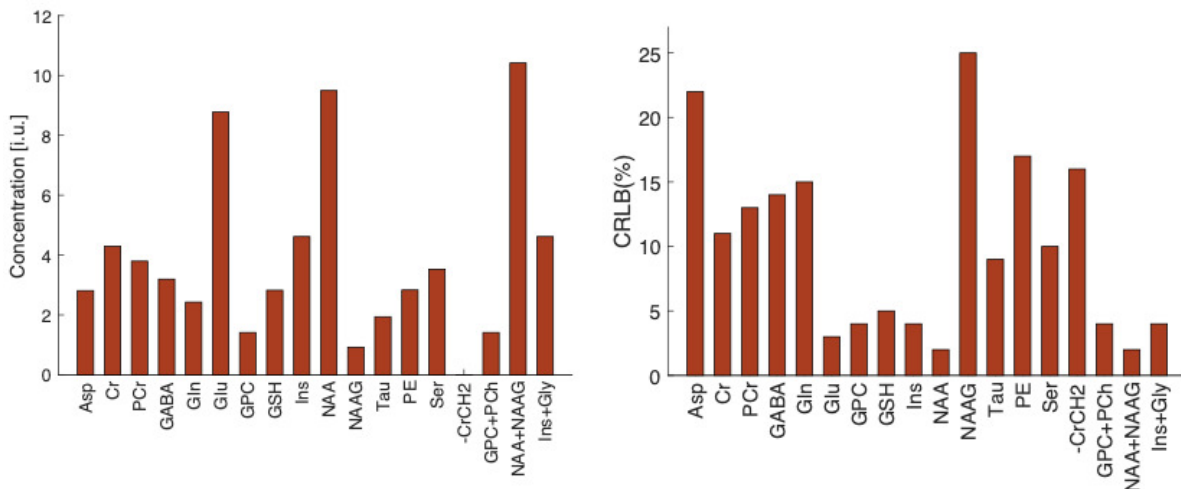
მეტაბოლიტები

FWHM=0.054PPM S/N=30

საწყისები

მონაცემი გრაფიკის მოდელის წინააღმდეგ

სურათი 4. LCModel-ის მიმოხილვა და ანალიზი. *in vivo* ერთოქსელიანი პროტონული მრს სპექტრი 7 ტლ-ზე. Semi-LASER-ის იმპულსური მიმდევრობა, ექო დრო = 34 მწ. Y ღერძი შეესაბამება პიკურ ამპლიტუდას, X ღერძი კი – მეტაბოლიტის რაოდენობას ppm-ში ქიმიური ცვლის შესაბამისად. მაქსიმუმის ნახევარსიგანე FWHM = 0.054 ppm, სიგნალის ხმაურთან ფარდობა (S/N) = 30.



სურათი 5. სტანდარტული გადახრა და მეტაბოლიტების კონცენტრაცია სტრიატუმის უბნისათვის. მეტაბოლიტები, რომელთა სტანდარტული გადახრის მაჩვენებლებიც მეტი იყო 30 %-ზე, გამოსახულებაზე არ არის წარმოდგენილი. 15 მეტაბოლიტი სანდოდ იქნა გამოვლენილი, მათი სტანდარტული გადახრა ნაკლები იყო 15 %-ზე.

LCModel არის ის პროგრამა, რომელიც გამოიყენებოდა სპექტროსკოპული ანალიზის ჩასატარებლად. პროგრამა გვაძლევს ინფორმაციას მეტაბოლიტების კონცენტრაციის, სტანდარტული გადახრის, სიგნალის ხმაურთან ფარდობის და წყლის მაქსიმუმის ნახევრსიგანის შესახებ. სტანდარტული გადახრა, რომელიც ნაკლებია, ვიდრე 15 %, აღნიშნულია ლურჯად და წარმოადგენს სანდოობის მაჩვენებელს.

გამოსახულებაზე ვხედავთ შემდეგ მეტაბოლიტებს: Asp (ასპარტატი), Cr (კრეატინი), PCr (ფოსფორ-კრეატინი), GABA (გაბა), Gln (გლუტამინი), Glu (გლუტამატი), GPC (გლიცერილ-ფოსფორ-კოლინი), GSH (გლუტატიონი), Ins (მიოინოზიტოლი), NAA (აცეტილ-ასპარტატი), NAAG (აცეტილ-ასპარტატ-გლუტამატი), Tau (ტაურინი), PE (ფოსფორილ-ეთანოლ-ამინი), Ser (სერინი), GPC + PCh (მთლიანი ქოლინი), NAA + NAAG (მთლიანი აცეტილ-ასპარტატი) და Ins + Gly (მიო ინოზიტოლი + გლიცინი).

მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპია საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ სხვადასხვა დაავადებების დროს ქსოვილებში მიმდინარე ბიოქიმიური ცვლილებები. მრს ასახავს მეტაბოლიზმის პროცესებს და გამომდინარე იქიდან, რომ მეტაბოლიზმის დარღვევები ვითარდება კლინიკურ გამოვლინებამდე, მაგნიტურ-რეზონანსული სპექტროსკოპიის საფუძველზე შესაძლებელია დაავადებების დიაგნოსტიკა ადრეულ ეტაპებზე.

მრს გამოიყენება სხვადასხვა მეტაბოლიტების ქიმიური ანალიზისათვის, რაც საშუალებას იძლევა მოხდეს ისეთი მეტაბოლიტების იდენტიფიცირება, რომლებიც წარმოადგენენ გარკვეული პათოლოგიების ბიომარკერებს.

ამ სტატიაში აღწერილი ექსპერიმენტი – მიღებული შედეგები ასახავს ჩვეულებრივ მრგ სკანერზე წარმართული ექსპერიმენტის თანამიმდევრობებს და მათი შედეგების დამუშავების ეტაპებს.

ზოგადი ინფორმაცია აღებულია ლიტერატურიდან [1 – 6].

მადლიერება

ავტორი მადლობას უხდის გერმანიის იულიხის კვლევით ცენტრს, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს და შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს გაწეული მხარდაჭერისათვის.

დამოწმებანი

- [1] R. Simpson, G. A. Devenyi, P. Jezard, T. Hennessy, J. Near. Processing and simulation of MRS data using the FID appliance (FID-A) – An open source, MATLAB based toolkit. *Magn. Reson. Med.*, 2017, 77, 1, 23-33.
- [2] I. Tkac, Z. Starcuk, I. Y. Choi, R. Gruetter. *In vivo* ¹H NMR spectroscopy of rat brain at 1 ms echo time. *Magn. Reson. Med.*, 1999, 41, 4, 649-656.
- [3] M. Marjanska, J. R. McCarten, J. Hodges, L. S. Hemmy, A. Grant, D. K. Deelchand, M. Terpstra. Region-specific aging of the human brain as evidenced by neurochemical profiles measured noninvasively in the posterior cingulate cortex and the occipital lobe using ¹H magnetic resonance spectroscopy at 7 T. *Neurosci.*, 2017, 354, 168-177.
- [4] R. Gruetter, I. Tkac. Field mapping without reference scan using asymmetric echo-planar techniques. *Magn. Reson. Med.*, 2000, 43, 2, 319-323.

- [5] J. P. Marques, T. Kober, G. Krueger, W. van der Zwaag, P.-F. Van de Moortele, R. Gruetter. MP2RAGE, a self bias-field corrected sequence for improved segmentation and T1-mapping at high field. *Neuroimage*, 2010, 49, 2, 1271-1281.
- [6] I. Tkac, P. Andersen, G. Adriany, H. Merkle, K. Ugurbil, R. Gruetter. *In vivo* ^1H NMR spectroscopy of the human brain at 7 T. *Magn. Reson. Med.*, 2001, 46, 451-456.

წინასწარ განსაზღვრული მაგნიტური ველის ფორმირება კარალელურად
გაღამცემი ანტიენების მუშაობით მაგნიტურ რეზონანსულ ტომოგრაფიაში

მ. კელენჯერიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
kelenjeridzemikheil@gmail.com

მიღებულია 2020 წლის 17 აგვისტოს

ანოტაცია

წინასწარ განსაზღვრული მაგნიტური ველის ფორმირება, რომელიც შესაძლებელია კარალელურად გადამცემი ანტენების გამოყენებით, არის მაღალი პოტენციალის მქონე ტექნოლოგია მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიაში. იგი იძლევა შესაძლებლობას შეიქმნას კონკრეტული ლოკაცია ხედვის არეში გამოსახულების მისაღებად, რაც საგრძნობლად ამცირებს გადაღების დროს.

მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია (მრტ), როგორც სწრაფად მზარდი ტექნოლოგია, დიაგნოსტიკის მოწინავე მეთოდს წარმოადგენს. იგი ეფუძნება საკვლევ ობიექტში არსებული პროტონების (ძირითადად წყალბადის ბირთვების) სპინების მანიპულირებით ქსოვილის პარამეტრების განსაზღვრას. აღნიშნულ პროცესში ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებებს წარმოქმნიან სხვადასხვა ტიპის კოჰეზი, რომელთა შორისაა მუდმივად მოქმედი ელექტრომაგნიტი ძირითადი მაგნიტური ველის შესაქმნელად, სამი ურთიერთორთოგონალური მიმართულებით მაგნიტური ველის გრადიენტის შემქმნელი კოჰეზი და რადიოსიხშირული კოჰა (ე.წ. მრტ-ანტენა), განკუთვნილი პროტონის სპინების პრეცესიისათვის და მათ მიერ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველის დასაფიქსირებლად. სტანდარტულად რადიოსიხშირული კოჰა განთავსებულია მრტ-ის გენტრის ზედაპირზე (იგი მოთავსებულია საფარის შიგნით). მას ასევე მოიხსენიებენ, როგორც მთლიანი სხეულის ანტენას.

მრტ-ში გამოიყენება დამატებითი ტიპის ანტენებიც, რომლებიც განსხვავებით სხეულის ანტენისაგან, განკუთვნილია სპეციფიკური საჭიროებებისათვის. მაგალითად, თავის ტვინის გადაღებისას იყენებენ თავის ირგვლივ მჭიდროდ განთავსებულ ანტენას, ხერხემლის გადაღებისას კი – ანტენათა წყობას, რომელიც დაუყვება პაციენტის ზურგს. კიდურების გადაღებისას იყენებენ ისეთ ანტენას, რომელიც გარშემო ერტყმის გამოსაკვლევ არეს. ძირითადი მიზანი დამატებითი ანტენების გამოყენებისა არის მიღებული სიგნალის ხმაურთან ფარდობის (SNR) გაზრდა, რაც, თავის მხრივ, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გადაღებული სურათის ხარისხზე.

დამატებითი ანტენა შესაძლებელია იყოს მხოლოდ გადამცემი (განკუთვნილი სპინების გასააქტიურებლად), მხოლოდ მიმღები (განკუთვნილი სიგნალის დასაფიქსირებლად) ანდა – ორივე ერთდროულად.

მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფიის განვითარების ძირითადი ეტაპები მოიცავს გადამცემი / მიმღები ანტენების გაუმჯობესებას.

1990-იან წლებში დაიწყო მუშაობა პარალელურად მიმღები ანტენის იმგვარ გაუმჯობესებაზე, რომელიც გულისხმობს ერთი მიმღების დაყოფას რამდენიმე დამოუკიდებელ კომპონენტად და შედეგად თავისუფლების ხარისხის გაზრდას, რაც საშუალებას იძლევა საგრძნობლად გაზარდოს გადაღების სიჩქარე [1]. დღესდღეობით მრტ-ში გამოყენებული ანტენების უმრავლესობა სწორედ პარალელურად მიმღებ ანტენას წარმოადგენს.

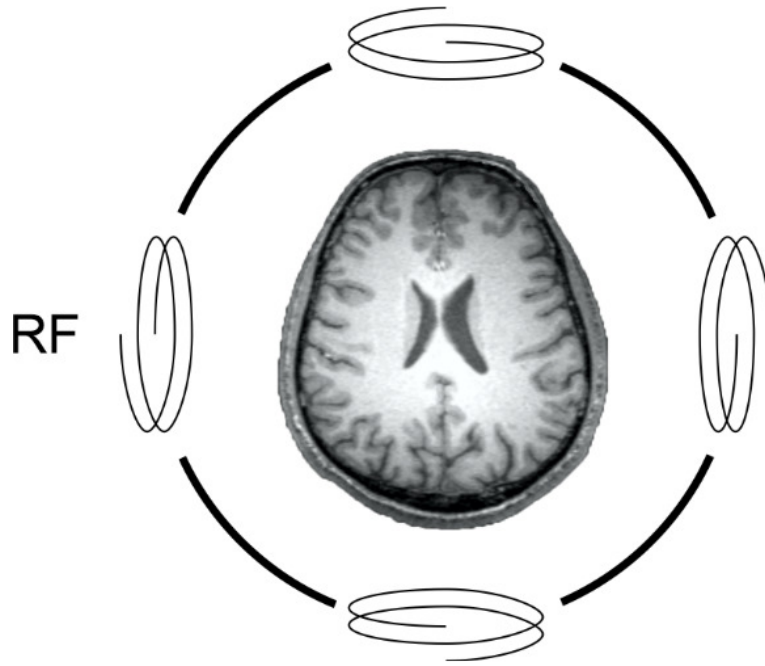
გარდა მიმღები კომპონენტისა, ანალოგიურ პრინციპზე დაყრდნობით დაიწყო პარალელურად გადამცემი ანტენების გაუმჯობესებაზე ზრუნვაც [2]. ამ შემთხვევაში ძირითად მიზანს წარმოადგენს რადიოსიხშირული ველის ერთგვაროვნების გაუმჯობესება. ველის არაერთგვაროვნების პრობლემა განსაკუთრებით მკვეთრად გამოიხატულია ულტრამალაი ველის (UHF) მრტ-ში, სადაც რადიოსიხშირული ტალღების სიგრძე უახლოვდება ადამიანის სხეულის ზომებს და მათი ინტერფერენცია ველის საგრძნობ არაერთგვაროვნებას განაპირობებს.

პარალელურად გადამცემი ანტენები ასევე საშუალებას იძლევა გამოსაკვლევი არე შეირჩეს არა მხოლოდ z , არამედ x და y მიმართულებებითაც. მაგალითად, ადამიანის ხერხემლის გამოკვლევისას შესაძლებელია გადაღება ჩატარდეს რომელიმე კონკრეტულ მალაზე და არა ხერხემლის მთლიან ჭრილზე, რაც ამცირებს გადაღების დროს და იძლევა სურათის ხარისხის გაუმჯობესების უფრო ფართო შესაძლებლობას.

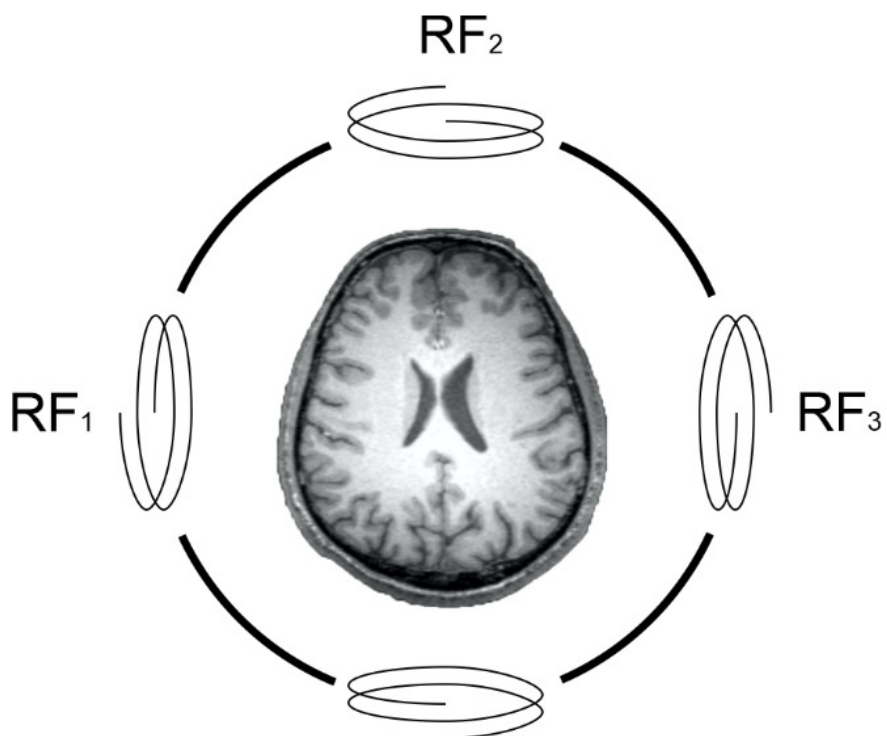
ამ თვისებას მრტ-ში გადიდების ფუნქციას უწოდებენ. მისი განხორციელება სტანდარტული ანტენების საშუალებით შეუძლებელია. აღნიშნული მეთოდით შესაძლებელია თავის ტვინში არსებული დარღვევის დამზერა მაღალი გარჩევადობით, რაც მეტი სიზუსტით ახდენს მის ლოკალიზებას.

პარალელურად გადამცემი ანტენა წარმოადგენილია დამოუკიდებლად მართვადი არხებით, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია განსხვავებული ამპლიტუდის, ფაზისა და ფორმის რადიოსიხშირული ტალღის მიწოდება. **სურათზე 1** სქემატურადაა ნაჩვენები ერთარხიანი გადამცემი და ოთხარხიანი პარალელურად გადამცემი ანტენები. ძირითადი განსხვავება პარალელურად გადამცემ ვარიანტში გამოიხატება ოთხი რადიოსიხშირული (RF) ტალღის განცალკევებაში: თითოეული ამ ოთხი არხიდან შესაძლებელია იმართოს განსხვავებული ამპლიტუდის, ფაზისა და ფორმის ტალღებით.

წინასწარ განსაზღვრული მაგნიტური ველის ფორმირების მეთოდოლოგია მდგომარეობს დროში ცვლადი რადიოსიხშირული ველისა და მისი გრადიენტის შემქმნელი კოჭების სიგნალების ფორმირებაში. აღნიშნული პრობლემის უშუალო გადაჭრა რთულ გამოთვლით პროცესებთანაა დაკავშირებული. ამოცანის გამარტივებისათვის, გრადიენტის შემქმნელი კოჭების სიგნალების წინასწარი შერჩევა ხდება იმ ფორმით, რომლის წარმოდგენაც შესაძლებელია k -სივრცის (k -space) ტრანექტორიით. აღნიშნული პარამეტრის წინასწარ განსაზღვრა საშუალებას იძლევა, რომ გამოთვლითი პროცესი დავიდეს შედარებით მარტივ – წრფივი ოპტიმიზაციის მეთოდზე [3]. k -სივრცის ტრანექტორიის მნიშვნელობები შესაძლებელია განისაზღვროს სხვადასხვა სახით [4], მათ შორის, რამდენიმე ვარიანტის გრაფიკული გამოსახულება მოყვანილია **სურათზე 2**.

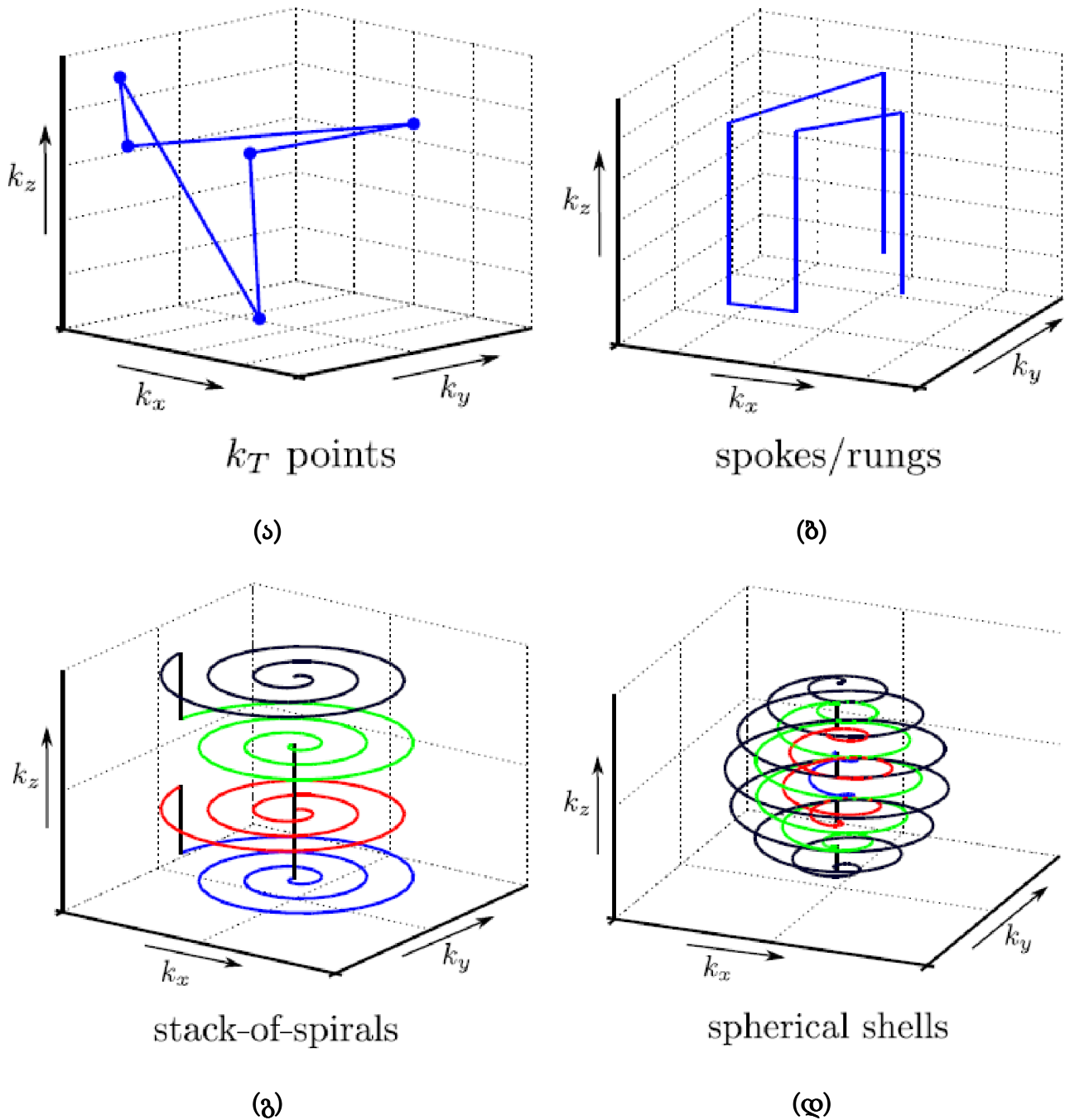


(ა)



(ბ)

სურათი 1. ერთარხიანი გადაცემის (ა) და პარალელურად გადამცემი (ბ) ანტენები მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიაში.



სურათი 2. k -სივრცის ტრაექტორიის რამდენიმე ვარიანტი გადამცემი ანტენისათვის მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიაში.

რადგანაც k -სივრცის სხვადასხვა ტრაექტორია შესრულების განსხვავებულ ხარისხს იძლევა, იგი უნდა შეირჩეს საკვლევი მიზნიდან გამომდინარე. ტრაექტორიის არჩევის შემდეგ, რომელიც რეალურად წარმოადგენს გრადიენტის მართვადი კოჭების მნიშვნელობებს დროის თითოეულ მომენტში, მათემატიკური გამოთვლების საშუალებით განისაზღვრება პარალელურად გადამცემი ანტენის რადიოსიხშირეების სიგნალის ფორმები თითოეული არხისათვის და წინასწარ დადგენილი გამოსაკვლევი არისთვის [5].

აღნიშნული მონაცემების გამოყენებით მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიას აქვს შესაძლებლობა განსაზღვროს ხედვის არეში მოხვედრილი ნებისმიერი ფორმა შედარებით მაღალი გარჩევადობით და შედარებით მცირე დროში [6]. აღნიშნული ტექნოლოგიის დემონსტრირება ნაჩვენებია **სურათზე 3**.



სურათი 3. ადამიანის ხერხემლის მრტ-გამოკვლევა წინასწარ განსაზღვრული ფორმით (მარჯვნივ) და მის გარეშე (მარცხნივ). აღნიშნულმა ტექნოლოგიამ გადაღების დროს ამცირებს 3-ჯერ.

სტატიაში აღწერილი ტექნოლოგია წარმოადგენს მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფიის მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას.

წინასწარ განსაზღვრული მაგნიტური ველის ფორმირების იმპლემენტაცია მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიაში გარკვეულ გამოწვევებს უკავშირდება. თუმცა, მიღებული შედეგი იძლევა შედარებით მცირე დროში, გაცილებით მაღალი გარჩევადობის გამოსახულებების მიღების შესაძლებლობას და მისი პოტენციალის გათვალისწინებით შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ იგი გახდება მრტ-ის კლინიკური კვლევების განუყოფელი ნაწილი.

დამოწმებანი

- [1] A. Deshmane, V. Gulani, M. A. Griswold, N. Seiberlich. Parallel MR imaging. *J. Magn. Reson. Imag.*, 2012, 36, 1, 55-72.
- [2] U. Katscher. Transmit sense. *Magn. Reson. Med.*, 2003, 49, 1, 144-150.
- [3] Ch. Yip, J. A. Fessler, D. C. Noll. Iterative RF pulse design formultidimensional, small-tip-angle selective excitation. *Magn. Reson. Med.*, 2005, 54, 908-917.
- [4] R. Schneider. Selective Excitation MR Imaging with Parallel Transmission (pTx). Dissertation, 2015.
- [5] H. Sun. Joint design of excitation k -space trajectory and RF pulse for small-tip 3D tailored excitation in MRI. *IEEE Trans. Med. Imag.*, 2015, 35, 2, 468-479.
- [6] M. Blasche, P. Riffel, M. Lichy. TimTX true shape and syngo ZOOMit technical and practical aspects. *Magnetom Flash*, 2012, 1, 74-84 & 104-134.

NEW ENGINEERING APPROACHES FOR HYPERTHERMIA TREATMENTS

G. Gavashelishvili, G. Nabakhtiani *, B. Surguladze

Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia

*giorgi.nabakhtiani@gmail.com

Accepted 2020 November 9

Abstract

In the field of oncology, hyperthermia (thermotherapy) as one of the methods of treatment is of interest from the engineering point of view as well. For the treatment of a malignant tumor, one of the most important problems is the situation when metastases migrate in the body. Thermal therapeutic (deterministic) effect on metastases is possible by exposure to electromagnetic waves the nanoparticles introduced in them. In our experiments on animals (mouses), the optimal thermal effect for treatment (45 – 55 °C) using Fe₃O₄ nanoparticles was achieved by exposure to electromagnetic waves with frequency of 20 kHz.

1. Relevance of problem

Medical treatment of malignant tumors have been proposed by various methods, including surgical removal, chemotherapy, radiation therapy, hyperthermia treatment, cryogenic therapy, implanted active pellets, sometimes radioactive and other methods. The success of these methods varies widely.

One of the problems often encountered in therapy for malignant tumors is that the cells of the malignant tumor have migrated into the lymphatic systems surrounding the malignant tumor, known as “metastases”.

It is important to understand that the sentinel node will probably be the first one to get cell of the malignant tumor in it the cells have had spread to the lymph nodes at all.

Nano particles placed in the human cancer cells, under proper frequency of the radiowave influence, affects on the cells and causes its death by the thermoeffects [1, 2]. Those approaches are belonging to thermotherapy treatment methods by the high range temperature with 45 – 55 °C. In the current time, approaches in hyperthermia treatments are under investigation and not enough information spread, still researches are continuing.

Those kinds of methods for cancer treatment are frequently used with combination such as radiotherapy and chemotherapy. After a few hours thermotherapy treatment, cell sensitivity is gained and it is more effective to react for some anticancerogenic agents on the cancer cell than in the treatment without thermotherapy. Also, for some combination treatments research results are not fully successfully achieved.

In the current time there are some types of hyperthermia treatment: 1) local, 2) regional, 3) whole body. Local hyperthermia treatment is subdivided by 1) superficial, which affects locally on skin and subcutaneous tissue.

In local hyperthermia, heat is applied to a small area, such as a tumor, using various techniques that deliver energy to heat the tumor. Different types of energy may be used to apply heat, including microwave, radiofrequency, and ultrasound. Depending on the tumor location, there are several approaches to local hyperthermia:

External approaches are used to treat tumors that are in or just below the skin. External applicators are positioned around or near the appropriate region, and energy is focused on the tumor to raise its temperature.

Intraluminal or endocavitary methods may be used to treat tumors within or near body cavities, such as the esophagus or rectum. Probes are placed inside the cavity and inserted into the tumor to deliver energy and heat the area directly.

Interstitial techniques are used to treat tumors deep within the body, such as brain tumors. This technique allows the tumor to be heated to higher temperatures than external techniques. Under anesthesia, probes or needles are inserted into the tumor. Imaging techniques, such as ultrasound, may be used to make sure the probe is properly positioned within the tumor. The heat source is then inserted into the probe. Radiofrequency ablation (RFA) is a type of interstitial hyperthermia that uses radiowaves to heat and kill cancer cells.

One of the difficulties in the hyperthermia treatment is that magnetic nanoparticles injected in the tumor tissue are not heated homogeneously. For example heating starts from patient superficial level faster than inside the tumor tissue. At the same time the treatment process is out of the control. As a conclusion of this process the control of the temperature process is necessary to achieve the high quality treatment.

2. Setup of experiment and related activities

The purpose of an experiment is to achieve optimal geometry and physical specifications of alternative electromagnetic field coil; the optimal radiofrequency wavelength and permittivity of tissue; nanoparticles ablation effects and optimal temperature such as 45 – 55 °C. Results are evaluated by morphologic assays from samples that taken after thermotherapy treatment from the life tissues. The magnitude of the magnetic field is 600 Oe.

Magnetic fluid with Fe₃O₄ nanoparticles (43 – 80 °C Curie temperature) are prepared for experiment (irradiation) which is very sensitive for electromagnetic waves. It is prepared by the Georgian Patent N 6058 (officially permitted by the author). *In vivo* experiments are conducted in rats with 6 series. Experiment was held in the Georgian Scientific Laboratory for “Magnetic Fluids in Medicine and Biology” (LTD “ATT”).

I-series animals are injected (in the mammary gland) with 43 – 44 °C Curie temperature magnetic fluids.

II-series animals are injected with 45 °C Curie temperature magnetic fluids.

III-series animals are injected with 46 °C Curie temperature magnetic fluids.

IV-series animals are injected with 50 °C Curie temperature magnetic fluids.

V-series animals are injected with 60 °C Curie temperature magnetic fluids.

VI-series animals are injected with 70 °C Curie temperature magnetic fluids.

All those animals are placed under the 20 kHz frequency by alternated electromagnetic field. Temperatures are measured with alcohol thermometers.

3. Research results and data analysis

Experiments has shown that, magnetic nanoparticles with 43 – 45 °C Curie temperature are not proper for treatment in the life tissue. Diagram (on the **Figure 1**) shows that, tissue under the electromagnetic wave for 1 h cannot achieve desire treatment effect. The reason for this difficulty is that, there are capillary network in the life tissue which acts as a natural cooling system that is why above mentioned Curie temperature is not enough.

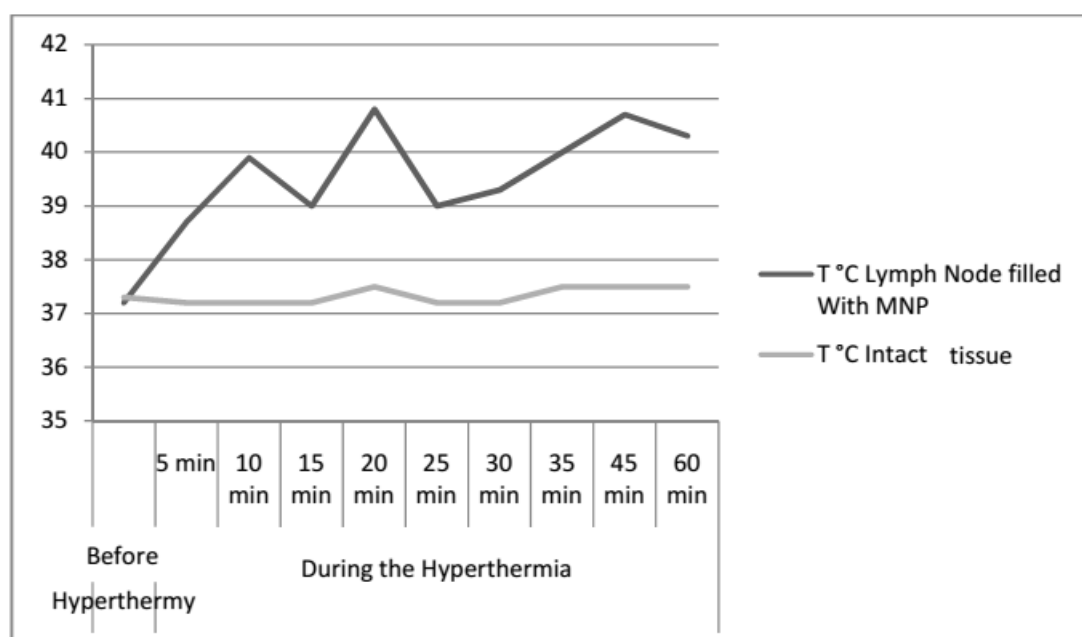


Figure 1. Diagram for magnetic nanoparticles with 43 – 44 °C Curie temperature in life tissue under 60 min exposure of 20 kHz electromagnetic wave.

Experiments with nanoparticles by the Curie temperature of 46 °C and above shows that they are more effective and stable for thermotherapy treatments. Its effectiveness can be achieved after 30 min irradiation for same setup (**Figures 2 – 5**).

For all diagrams vertical line shows temperature in °C and horizontal line shows time in min. Dark line shows the filling level temperature in °C of lymph node by magnetic

nanoparticles (MNP). At the same time light color line shows the temperature in °C of intact tissues. Left side of diagram is the mode before starting the hyperthermia, after that “during the hyperthermia” means that 20 kHz radiofrequency wave is used for tissue exposure.

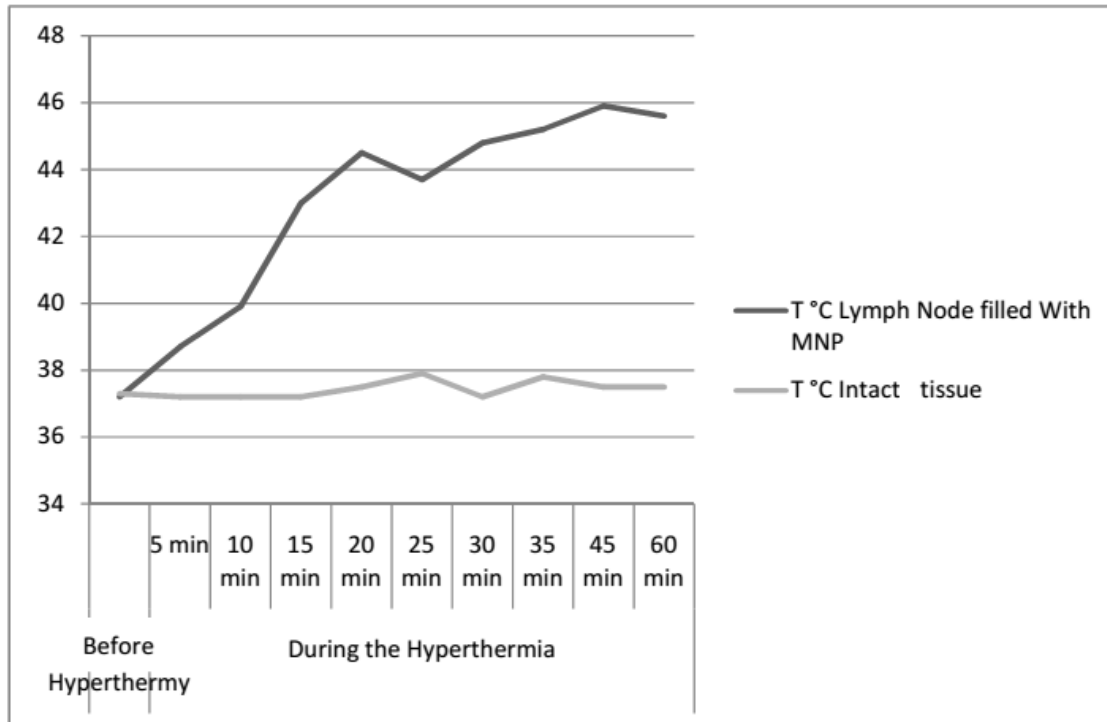


Figure 2. Diagram for magnetic nanoparticles with about 46 °C Curie temperature in life tissue.

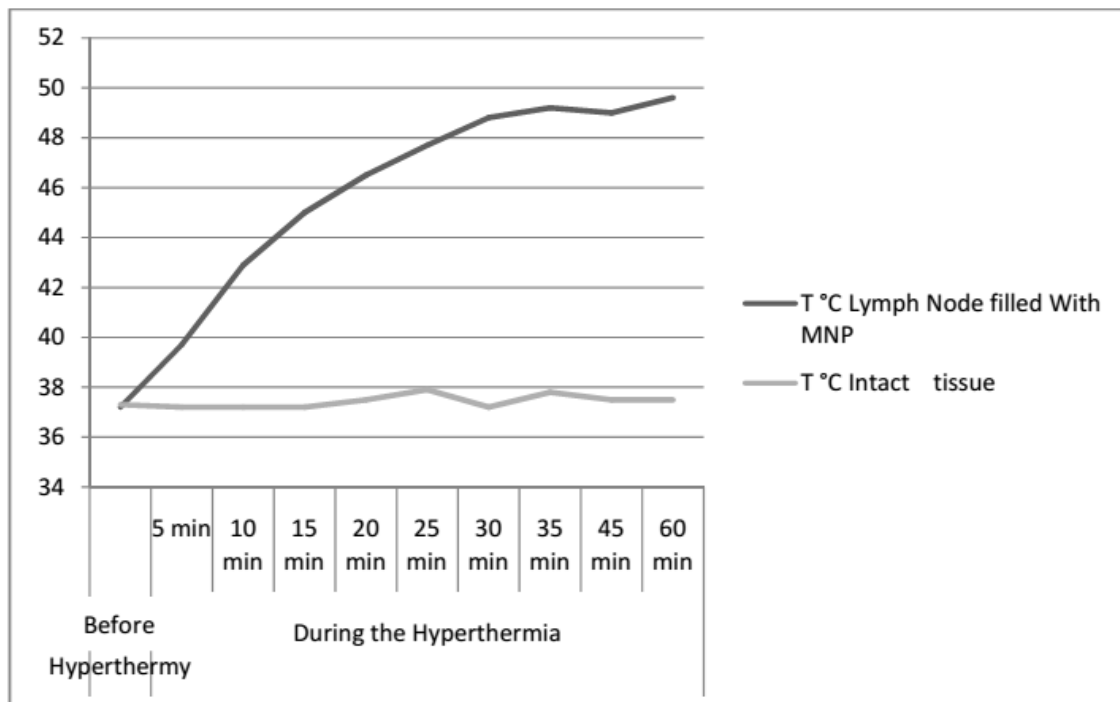


Figure 3. Diagram for magnetic nanoparticles with about 50 °C Curie temperature in life tissue.

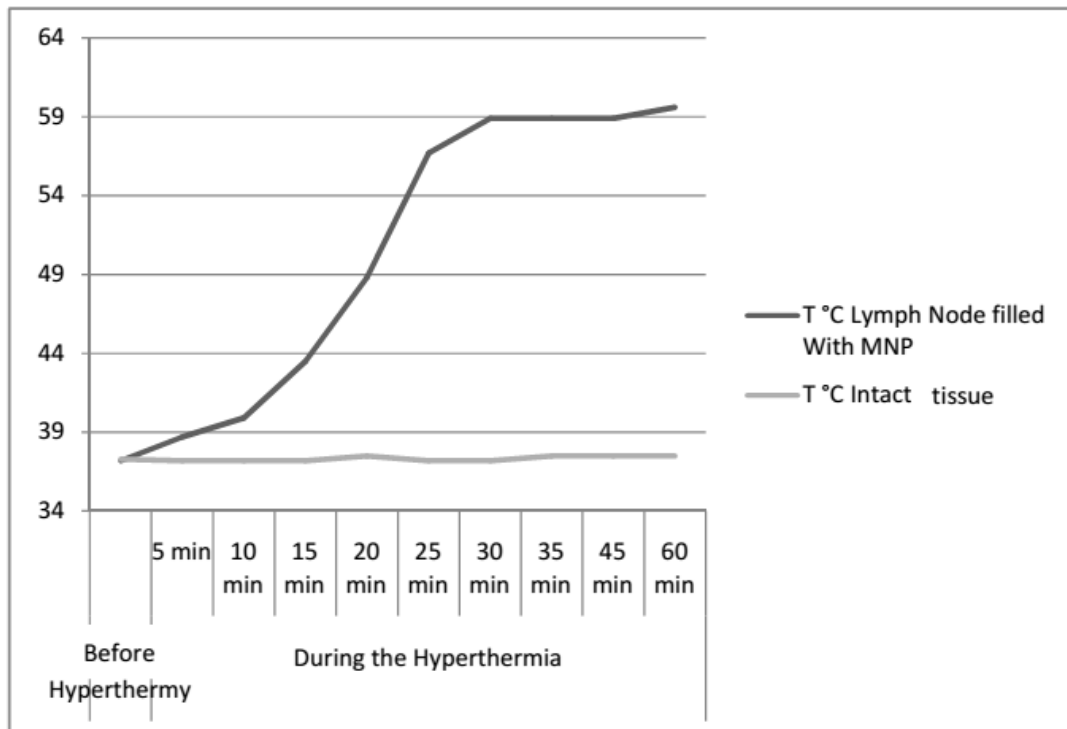


Figure 4. Diagram for magnetic nanoparticles with about 60 °C Curie temperature in life tissue.

Additionally, experiments conducted for magnetic nanoparticles with 80 °C Curie temperature but the effect was the same as 70 °C Curie temperature magnetic nanoparticles. There was no reason to add the diagram for this case.

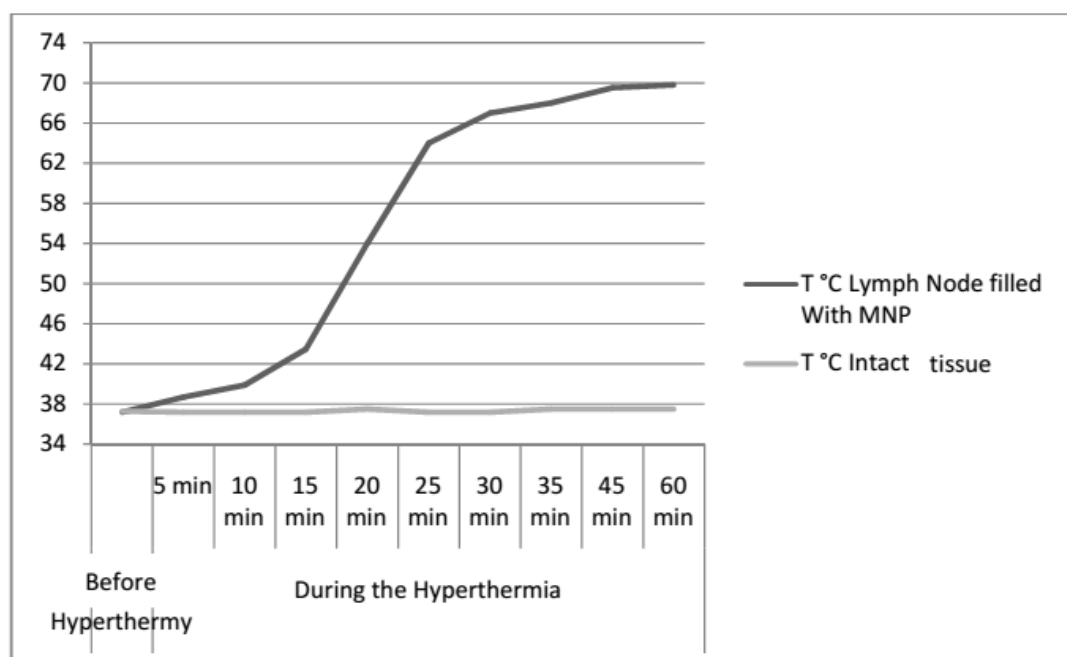


Figure 5. Diagram for magnetic nanoparticles with about 70 °C Curie temperature in life tissue.

Experiment results conclude that, under 20 kHz radiofrequency, 30 – 35 min exposure of magnetic nanoparticles with stable therapeutic effect. Nanoparticles are selected by Curie temperature of 46 – 80 °C. Under or above numbers of Curie temperature range of nanoparticles are not effective.

Nanoparticles above the 80 °C Curie temperature in the soft life tissue is dangerous and not safe because of high temperature biological liquids are evaporating and can distribute in the healthy tissue that can cause undesirable side effects.

References

- [1] Ed. N. Huilgol. Hyperthermia, 2013, IntechOpen.
- [2] M. Allegretti. The Therapeutic Properties of Electromagnetic Waves: From Pulsed Fields to Rfing, 2018, Kdp Print Us.

გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების მიღება თერმულად მოდიფიცირებული საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე

ე. შაფაქიძე^{1,*}, მ. ავალიანი², მ. ნადირაშვილი¹,
ვ. მაისურაძე¹, ი. გეჯაძე¹, თ. პეტრიაშვილი¹

¹ა. თვალჭრელიძის სახ. მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

* ellennelia@gmail.com

²რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიის და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2019 წლის 23 სექტემბერს

ანოტაცია

ცემენტის / ბეტონის წარმოება, როგორც ეკოლოგიურად ერთერთი ყველაზე მავნე სფერო, გამოუსწორებელ ზიანს აყენებს გარემოს. ამის გამო დიდი ინტერესია მიპყრობილი ცემენტის ალტერნატიული სახეობების, ე.წ. უკლინკერო მჭიდა მასალების, მიღების ტექნოლოგიების შემუშავებისაკენ. ასეთად მიჩნეულია გეოპოლიმერული მჭიდა მასალები. სტატიის მიზანს წარმოადგენს თერმულად მოდიფიცირებული საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე გეოპოლიმერული მჭიდების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა ადგილობრივი ქანები: თიხური ფიქალი, არგილიტი და ადვილადღობადი თიხა. კვლევების შედეგად შემუშავდა თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირების რეჟიმი და მათი გამოყენებით მიღებულ იქნა გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების სხვადასხვა შემადგენლობა. დადგინდა, რომ მიღებული მჭიდების თბოდაამუშავების შედეგად მათი მექანიკური სიმტკიცე საგრძნობლად მატულობს.

1. შესავალი

მსოფლიო მოსახლეობის სწრაფი ტემპებით მატებამ, რის შედეგადაც გაიზარდა მოთხოვნები ინფრასტრუქტურების მიმართ, განაპირობა ცემენტის / ბეტონის, როგორც ძირითადი სამშენებლო მასალის, მოხმარების ზრდა. ჩვეულებრივი პორტლანდცემენტის (OPC) წარმოება, მიუხედავად მისი უნიკალურობისა, რიგი უარყოფითი თვისებებით ხასიათდება: ენერგორესურსებისა და ბუნებრივი ნედლეულის მაღალი მოხმარება და ნახშირორჟანგის დიდი რაოდენობით გამონაბოლქვი (რაც კირქვის დეკარბონიზების შედეგია). ამის გამო მსოფლიოს მეცნიერები მუდმივ ძიებაში იმყოფებიან, რათა გამონახონ საწვავისა და ნედლეულის ალტერნატიული წყაროები, ასევე შეიმუშაონ მჭიდა მასალების ახალი სახეობები,

რომლებიც პორტლანდცემენტის ანალოგებად გამოდგება და, რაც მთავარია, ეკოლოგიური მაჩვენებლებით მასზე უკეთესი იქნება.

გეოპოლიმერული მჭიდები და მათ საფუძველზე მიღებული მასალები ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების შექმნის ტექნოლოგიების ახალი მიმართულებაა, რომელსაც საფუძველი ჩაუყარა ფრანგმა მეცნიერმა ჟოზეფ დავიდოვიცმა [1]. მისი კლასიფიკაციით, არსებობს გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების შემდეგი სახეები: ა) გეოპოლიმერული მჭიდა წიდის საფუძველზე, ბ) გეოპოლიმერული მჭიდა მთის ქანების საფუძველზე და ვ) გეოპოლიმერული მჭიდა წანატაცი ნაცრის საფუძველზე. გეოპოლიმერებს უკვლინკერო მჭიდების სახელითაც მოიხსენებენ.

გეოპოლიმერული მასალები პორტლანდცემენტთან შედარებით გამოირჩევიან: ეკოლოგიურობით, ხანმედეგობით და მჭიდას წარმოების პროცესში ნახშირორჟანგის დაბალი გამოყოფით ატმოსფეროში. 1 ტ გეოპოლიმერული მჭიდას წარმოებისას ატმოსფეროში გამოიყოფა 0.18 ტ CO₂, რაც 5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე პორტლანდცემენტის მიღებისას. ხოლო მეტაკაოლინის გამოყენების შემთხვევაში CO₂-ის გამონაბოლქვი შეადგენს 0.5 – 0.7 ტ-ს [2].

საწარმოო ნარჩენების საფუძველზე წარმოებული გეოპოლიმერული სამშენებლო მასალების ღირებულება შეესაბამება ტრადიციულ ნედლეულზე მიღებული მასალების ღირებულებას. ამიტომ გეოპოლიმერული მჭიდა მასალები მოიაზრება, როგორც მათი ალტერნატივა.

გეოპოლიმერული მჭიდებისათვის ნედლეულად გამოიყენება 750 – 850 °C ტემპერატურაზე დამუშავებული ალუმოსილიკატური მასალები. საწყისი მასალების ტემპერატურული აქტივაცია განაპირობებს ცეოლითის მსგავსი მტკიცე პოლიმერული სტრუქტურების წარმოქმნას. ეს საშუალებას იძლევა, რომ 70 – 90 %-ით შემცირდეს სათბობენერგეტიკული ხარჯები და ნახშირორჟანგის გამონაბოლქვის რაოდენობა, პორტლანდცემენტის წარმოებასთან შედარებით. კიდევ უფრო ნაკლებია ენერგოდანახარჯები ბრძმედის გრანულირებული წიდის და წანატაცი ნაცრის გამოყენების შემთხვევაში, ვინაიდან ამ საწარმოო ნარჩენებს უკვე გავლილი აქვთ თერმული დამუშავება [3 – 5].

გეოპოლიმერები განიხილება როგორც მჭიდა სისტემები წმინდად დაფუძვლილი ალუმოსილიკატური მასალების საფუძველზე, რომელთაც შეერევათ ტუტის ან ტუტე რეაქციის მქონე მარილების ხსნარები (როგორც წესი, ნატრიუმის ან კალიუმის ჰიდროოქსიდები, სილიკატები ან კარბონატები). ალუმოსილიკატური ოქსიდებისა და სილიკატების გახსნის შედეგად ტუტეში ადგილი აქვს მათ შემდგომ რეკონდენსაციას და ამორფული სამგანზომილებიანი კარკასული სტრუქტურის წარმოქმნას. ანუ გეოპოლიმერი – ეს არის სამგანზომილებიანი ალუმოსილიკატური მინერალური პოლიმერი [1]. იგივე ავტორის აზრით, ტუტეების მიერ აქტივირებული ყველა მჭიდა მასალა არ განიხილება, როგორც გეოპოლიმერი, არამედ – მხოლოდ ისეთი, როდესაც მიიღება ამორფული ან ნახევრადკრისტალური აგებულების მქონე ცეოლითის მსგავსი სტრუქტურა. გეოპოლიმერი მოიაზრება ასევე, როგორც ნანომასალა.

გამყარებულ პორტლანდცემენტის ქვას და გამყარებულ გეოპოლიმერს აქვთ სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობა და პრინციპულად განსხვავებული სტრუქტურა. პორტლანდცემენტის ჰიდრატაციის პროდუქტი კალციუმის სილიკატის ჰიდროგელია. ცემენტს აქვს ფენოვანი ტობერმორიტული სტრუქტურა, რომლის ფორმირება ხორციელდება კალციუმჟანგბადის ოქტაედრების ფირფიტებისა და SiO₄ და AlO₄ ტეტრაედრების ჯაჭვებისაგან, მაშინ როდესაც გეოპოლიმერის ქვა წარმოადგენს

კარკასულ ალუმოსილიკატს, შედგენილს SiO_4 და AlO_4 ტეტრაედრებისგან, რომელთაც საერთო წვეროები აქვთ [6].

გეოპოლიმერების წინამორბედს წიდატუტიანი ცემენტები წარმოადგენენ, რომელთა შემადგენლობები შემუშავებულ იქნა ვ. გლუხოვსკის, პ. კრივენკოსა და მათი კოლეგების მიერ კიევის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტში [7, 8]. ჟ. დავიდოვიცი მიუთითებდა ამ კვლევების განსაკუთრებულ მნიშვნელობაზე გეოპოლიმერული მასალების ტექნოლოგიის განვითარების საქმეში.

გეოპოლიმერული მჭიდების მიღების საწყის ეტაპზე ალუმოსილიკატური მასალად გამოიყენებოდა კაოლინური თიხების $750 - 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე დამუშავების შედეგად მიღებული პროდუქტი – მეტაკაოლინი. გამოწვის დროს მიმდინარეობს კაოლინის დეჰიდრატაცია შემდეგი სქემით: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. გამოწვის შედეგად იზრდება ამორფული ფაზის შემცველობა, რაც ალუმოსილიკატებს რეაქციისუნარიანობას მატებს.

ალუმოსილიკატების რეაქციისუნარიანობა, ასევე, დამოკიდებულია მასალის დისპერსიულობაზე. როგორც წესი, პორტლანდცემენტის ოპტიმალური დისპერსიულობა $3500 - 4500 \text{ სმ}^2/\text{გ}$ -ის ფარგლებშია. უფრო მაღალი დისპერსიულობის დროს იზრდება წყალმოთხოვნა და ფორიანობა, რის გამოც მჭიდის სიმტკიცე კლებულობს. იმავდროულად დადგენილია, რომ მეტაკაოლინის დისპერსიულობის გაზრდა 15670 -დან $25550 \text{ სმ}^2/\text{გ}$ -მდე იწვევს სიმტკიცის მკვეთრ ზრდას [9]. ამ კვლევების მიხედვით, ამ დროს წარმოიქმნება ტუტის მიმართ მაღალ რეაქციისუნარიანი ალუმინი.

კაოლინის ერთდროული გამოწვა ნაცართან და წიდასთან ერთად საშუალებას იძლევა, რომ რეაქციისუნარიანი მეტაკაოლინის მიღების დრო რამდენიმე წუთამდე შემცირდეს [9 – 11].

მეტაკაოლინის ტუტე აქტივაციის შედეგად მიიღება მჭიდა მაღალი მექანიკური სიმტკიცით და ბადისებრი სტრუქტურით. მეტაკაოლინთან კალციუმის ჰიდროქსიდის $\text{Ca}(\text{OH})_2$ დამატების შემთხვევაში რეაქცია განსხვავებული სქემით მიმდინარეობს: იცვლება ბადისა და C-S-H გელის ფორმები [12].

ა. პალომოსა და თანაავტორების კვლევების მიხედვით [13], არსებობს ტუტე აქტივაციის ორი მოდელი. პირველი მათგანი ვრცელდება წიდატუტიან მჭიდებზე, როდესაც ბრძმედის წიდა ($\text{Si} + \text{Ca}$) აქტიურდება საშუალო ტუტე ხსნარით. ამ შემთხვევაში რეაქციის მთავარი პროდუქტია კალციუმის ჰიდროსილიკატები (CSH). მეორე მოდელის მიხედვით კი, ძლიერი ტუტე ხსნარებით აქტიურდება ალუმოსილიკატური ნაერთები, ისეთები, როგორცაა მეტაკაოლინი, რომლის ძირითადი ოქსიდებია Al_2O_3 და SiO_2 . ამ დროს მიღებული მასალა ხასიათდება უფრო მაღალი მექანიკური სიმტკიცითა და პოლიმერული სტრუქტურით.

ვ. კალაშნიკოვის ხელმძღვანელობით შემუშავებულ იქნა გეოპოლიმერული მჭიდა [14], რომლის აქტივაცია ხდება ტუტის შედარებით დაბალი დოზირებით. ეს მჭიდა შეიცავს აგრეთვე 40% -მდე თიხას და სხვა დისპერსიულ მთის ქანებს.

რ. რახიმოვასა და თანამშრომლების მიერ ჩატარებულია სისტემური კვლევები გეოპოლიმერული და წიდატუტიანი მჭიდების სტრუქტურის წარმოქმნის შესწავლის მიზნით [15 – 17]. ამ მჭიდების შემადგენლობაში ძირითადი კომპონენტის სახით შეყვანილი იქნა ბრძმედის წიდა, ხოლო დანამატებად – სხვადასხვა სახის მთის ქანები და ტექნოგენური მასალები: ცეოლიტები, გამომწვარი თიხები, კერამიკული აგურის ლეწი, კვარცის ქვიშა და ა. შ.

ნ. ეროშკინას კვლევების შედეგად შემუშავებულია რიგი გეოპოლიმერული მჭიდებისა თერმულად დამუშავებული მაგმური ქანების (გრანიტი, დაციტი, ბაზალტი და სხვა) საფუძველზე [18 – 20].

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი მიმდინარეობს კვლევები გეოპოლიმერული მჭიდების მისაღებად ადგილობრივი ნედლეულის საფუძველზე, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის ბრძმედის ნაყარი წიდეები, ციხისუბნის (გურია) ტრაქიტი და მდინარე დურუჯის ხეობის (კახეთი) ფიქლები [21, 22]. ამ შედეგების მიხედვით, გეოპოლიმერული მჭიდების მიღება შესაძლებელია ადგილობრივი ბუნებრივი ნედლეულისა და ტექნოგენური მასალების საფუძველზე. შემუშავებულია ტემპერატურული რეჟიმი მეტაკაოლინის მისაღებად თიხური ფიქლების კალცინირების (თერმული დამუშავება) გზით [23].

როგორც ცნობილია, მეტაკაოლინი საუკეთესო მასალაა გეოპოლიმერების მისაღებად და ასევე ის წარმოადგენს საუკეთესო პუცოლანურ დანამატს ცემენტის / ბეტონისათვის [24].

მეტაკაოლინის მონაწილეობით გეოპოლიმერული მჭიდას მიღების პროცესების თანმიმდევრობა ტუტეების ზემოქმედებით შემდეგნაირად გამოიყურება: ტუტე არეში ხდება ალუმოსილიკატური კომპონენტების ფრაგმენტაცია და წარმოიქმნება ალუმინატური და დაბალპოლიმერული სილიკატური ანიონები, რომელთაგან Si–O–Al–O–Si კავშირების მეშვეობით წარმოიქმნება სამგანზომილებიანი პოლიმერული კარკასი (ალუმოსილიკატური ჰიდროგელი). მის შემადგენლობაში შედიან ტუტე კათიონები, რომლებიც AlO_4 ტეტრაედრების მიერ SiO_4 ტეტრაედრებში ჩანერგვის შედეგად წარმოქმნილ უარყოფითი მუხტის კომპენსაციას ახდენენ. ალუმინის მონაწილეობა გეოპოლიმერული კარკასის წარმოქმნაში განაპირობებს დადებითი მუხტის დეფიციტს, რაც კომპენსირდება ტუტე კათიონების შესვლით კარკასის სტრუქტურაში [25]. ამის შედეგად ტუტე კათიონები მჭიდროდ ებმებიან ალუმოსილიკატურ კარკასში და მასალა იძენს მაღალ წყალმედვეობას და მედეგობას გამოტუტვისადმი.

როგორც ჩანს, ალუმოსილიკატური მასალების გახსნა ტუტე არეში და სილიციუმისა და ალუმინის ანიონების გადასვლა თხევად ფაზაში წარმოადგენს გეოპოლიმერული მასალების გამყარების კინეტიკის მალიმიტირებელ სტადიას. ამიტომ რაც უფრო აქტიურია ალუმოსილიკატური კომპონენტი, მით უფრო მაღალი სიმტკიცის გეოპოლიმერული მასალა მიიღება. კაოლინითან შედარებით, მისი გამოწვის პროდუქტი – მეტაკაოლინი უფრო აქტიურად გამოყოფს ტუტე ხსნარში სილიციუმისა და ალუმინის ანიონებს [26].

მეტაკაოლინის ფართო გამოყენებას სამშენებლო მასალების წარმოებაში ხელს უშლის კაოლინიტის და კაოლინური თიხების შეზღუდული მარაგები მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში და, მათ შორის, საქართველოში. ბოლო დროს მიმდინარეობს კვლევები მეტაკაოლინის მისაღებად თერმულად აქტივირებული პოლიმინერალური თიხებისა და თიხური ფიქლების გამოყენების მიმართულებით [23, 27 – 29].

2. ძირითადი ნაწილი

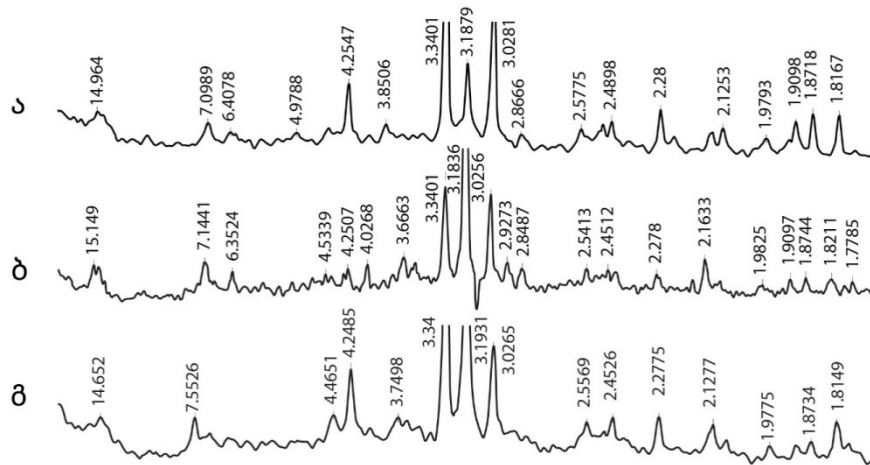
წინამდებარე სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს საქართველოს თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირებით მიღებული მასალების საფუძველზე დამზადებული

გეოპოლიმერული მჭიდების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა ადგილობრივი თიხოვანი ქანები: თიხური ფიქალი, არგილიტი და ადვილადღობადი თიხა.

ცხრილი 1. თიხოვანი ქანების ქიმიური შემადგენლობები (მასური %).

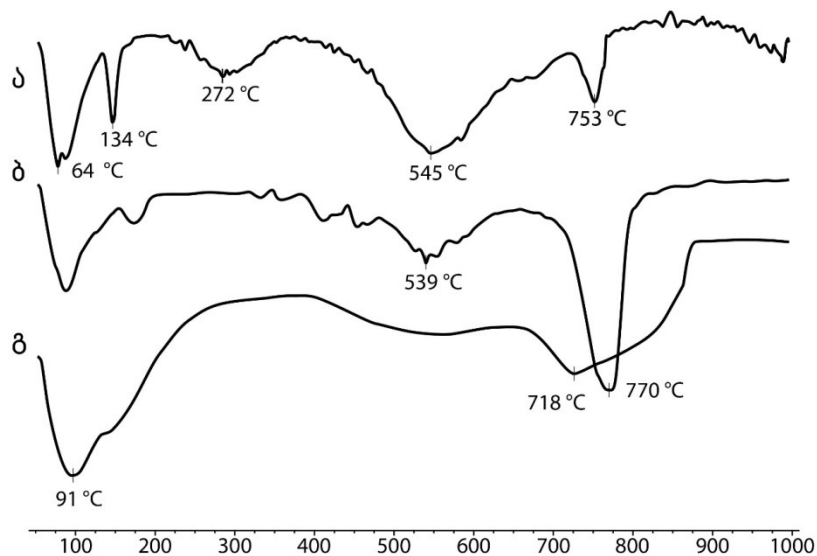
#	ხურებითი დანაკარგი	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
1	4.50	59.95	0.89	17.30	3.45	3.65	0.59	1.53	2.43	0.30	2.20	2.20
2	7.01	47.19	–	15.90	13.36	–	0.10	6.30	4.10	1.39	2.86	1.30
3	10.60	52.84	–	15.07	6.47	–	–	7.06	2.49	1.36	1.19	2.17

ცხრილში 1 მოყვანილია თიხოვანი ქანების ქიმიური შემადგენლობები. # 1 – თიხური ფიქალი (ყვარელი), # 2 – არგილიტი (თელეთი) და # 3 – თიხა (გარდაბანი). მათ რენტგენოგრამებზე (სურათი 1) ფიქსირდება თიხური მინერალები (14.66 – 14.96, 7.14, 4.25, 3.66, 2.86, 2.327), კვარცი (3.34), მინდვრის შპატები (3.87) და კარბონატი (3.03 Å).



სურათი 1. თიხოვანი ქანების რენტგენოგრამები:

ა – ფიქალი, ბ – არგილიტი და გ – თიხა.



სურათი 2. თიხოვანი ქანების DTG მრუდები:

ა – ფიქალი, ბ – არგილიტი და გ – თიხა.

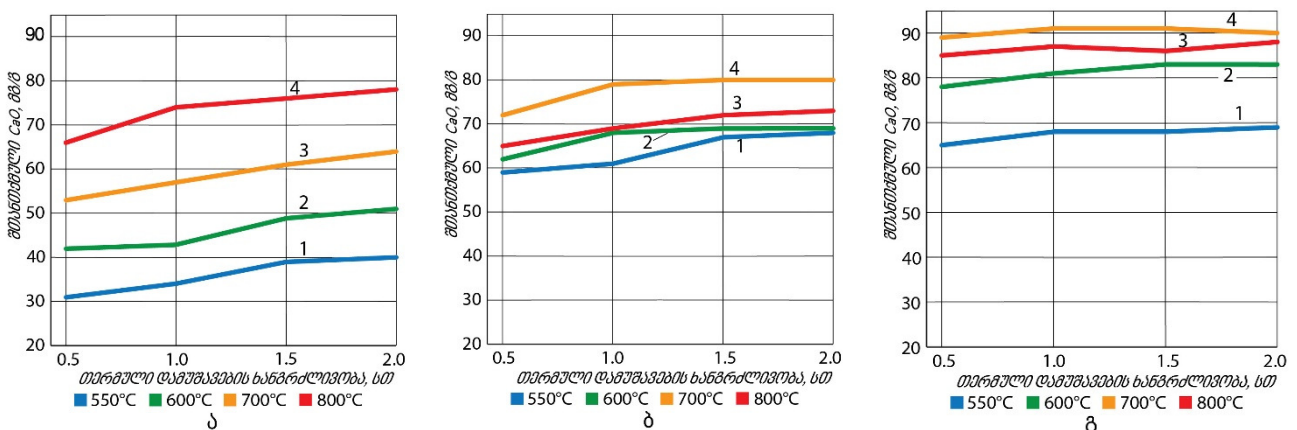
თიხოვანი ქანების მოდიფიცირების ტემპერატურული ინტერვალის დასადგენად ჩატარდა თერმოგრაფიკული ანალიზი (DTG). შედეგების მიხედვით (სურათი 2), ენდოთერმული 100 – 150 °C ტემპერატურულ ინტერვალში ყველა მრუდზე ფიქსირდება, რაც მექანიკურად ბმული წყლის დაკარგვას უკავშირდება. 650 – 850°C ინტერვალში კი გამოიკვეთება ენდოთერმული, რომელიც, სავარაუდოდ, უკავშირდება თიხური მინერალების კრისტალური მესერის დაშლას და მათ გადასვლას აქტიურ ამორფულ ფაზაში (მეტაკაოლინის წარმოქმნას). აქედან გამომდინარე, შეირჩა ქანების თერმული დამუშავების ტემპერატურად 700 °C.

შემდგომი კვლევები მიმართული იყო მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობის დასადგენად. პუცოლანური აქტიურობა – ეს არის ამორფიზებული კაჟმიწაშემცველი ბუნებრივი ან ხელოვნური მასალების უნარი, შეეხება $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ს და წარმოქმნას მდგრადი ჰიდრატული ფაზები. რაოდენობრივად ის გამოიხატება 1 გ ნივთიერების მიერ შთანთქმული CaO -ით მგ-ებში.

თერმულად დამუშავებული თიხური ქანების რექციისუნარიანობა CaO -ის მიმართ აიხსნება იმით, რომ 600 – 800 °C-ზე გახურების შედეგად თიხების ძირითადი კომპონენტი – ინერტული კაოლინტი ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) კარგავს წყალს, ირღვევა მისი კრისტალური მესერი და იგი გარდაიქმნება აქტიურ კაოლინის ანჰიდრიდად – მეტაკაოლინად ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), რომელსაც ამორფული სტრუქტურა აქვს.

თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობა განისაზღვრა გოსტ რ 56593-2015-ის (Mineral admixtures for concrete sand mortars. Test methods) სტანდარტით. მისი მოთხოვნების მიხედვით, დანამატი ითვლება მაღალი პუცოლანური თვისებების მქონედ, თუ ნაჯერი ხსნარიდან შთანთქმული CaO -ის რაოდენობა აღემატება 70 მგ/გ-ს, საშუალოდ – 30 – 70 მგ/გ და სუსტად – 30 მგ/გ-მდე.

გამოცდის შედეგების მიხედვით (სურათი 3), 700 °C-ზე 1 სთ დაყოვნებით დამუშავებულ ქანებს საკმაოდ მაღალი პუცოლანური აქტიურობა ახასიათებთ.



სურათი 3. მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების მიერ ნაჯერი ხსნარიდან CaO -ის შთანთქმის კინეტიკა: ა – ფიქალი, ბ – არგილიტი და გ – თიხა.

ქანების თერმული დამუშავება (მოდიფიცირება) ჩატარდა მუფელის ღუმელში გახურების სიჩქარით 250 – 300 °C/სთ და 1 სთ დაყოვნებით მაქსიმალურ – 700 °C ტემპერატურაზე. გაცივება ხდებოდა ბუნებრივად – ოთახის ტემპერატურაზე.

გეოპოლიმერული მჭიდა კომპოზიტების მისაღებად გამოყენებულ იქნა ბრძმედის გრანულირებული წიდა და მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანები, რომლებიც დაიფუძვან ლაბორატორიულ ბურთულეებიან წისქვილში 1 სთ განმავლობაში დაფუძვის

სიწმინდით 8000 – 9000 სმ²/გ-მდე. მიღებულ ნარევეს ემატებოდა ტუტე კომპონენტის ხსნარები: ნატრიუმის ტუტე (NaOH), სოდა Na₂CO₃ ან თხევადი მინა Na₂O(SiO₂)_n ნორმალური კონსისტენციის ცომის მიღებამდე.

დაყალიბდა 2 × 2 × 2 სმ ზომის ნიმუშები, რომელთა ფორმიდან ამოღება მოხდა დაყალიბებიდან მესამე დღეს. ნაწილი ნიმუშებისა ინახებოდა ჰაერზე, ნაწილი – წყალში და ნაწილი – ჰაერტენიან გარემოში + 20 °C ტემპერატურაზე 28 დღელამის განმავლობაში.

ნაწილი ნიმუშებისა ფორმიდან ამოღების შემდეგ დაექვემდებარა თბოდამუშავებას შემდეგი რეჟიმით: 80 °C-ზე დაყოვნება 20 სთ განმავლობაში. გაგრილების შემდეგ კი გამოიცადა წნეხზე. გეოპოლიმერული მჭიდების შემადგენლობები და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ტესტირების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. გეოპოლიმერული მჭიდების შემადგენლობები და ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები.

#	შემადგენელი კომპონენტები, %		ტუტე კომპონენტი (მშრალი ნივთიერება) 100 %-ის ზემოთ, %	სიმტკიცე კუმშვაზე 28 დღელამის შემდეგ გამყარების პირობების მიხედვით, კგ/სმ ²			სიმტკიცე კუმშვაზე თბოდამუშავების შემდეგ, კგ/სმ ²
				ჰაერი	წყალი	ჰაერტენიანი	
1	წიდა (80)	* ფიქალი (20)	NaOH (10)	410	452	440	690
2	წიდა (80)	* ფიქალი (20)	Na ₂ CO ₃ (10)	210	245	240	537
3	წიდა (80)	* ფიქალი (20)	Na ₂ O(SiO ₂) _n (10)	187	334	212	488
4	წიდა (80)	* არგილიტი (20)	NaOH (10)	469	480	418	695
5	წიდა (80)	* არგილიტი (20)	Na ₂ CO ₃ (10)	335	420	390	685
6	წიდა (80)	* არგილიტი (20)	Na ₂ O(SiO ₂) _n (10)	536	472	450	856
7	წიდა (80)	* თიხა (20)	NaOH (10)	460	510	478	630
8	წიდა (80)	* თიხა (20)	Na ₂ CO ₃ (10)	175	223	217	575
9	წიდა (80)	* თიხა (20)	Na ₂ O(SiO ₂) _n (10)	75	88	85	150
10	წიდა (80)	* თიხა (20)	NaOH (4) + Na ₂ CO ₃ (6)	215	254	230	266
11	წიდა (80)	* თიხა (20)	NaOH (4) + Na ₂ O(SiO ₂) _n (10)	850	940	935	1025
12	წიდა (80)	* თიხა (20)	Na ₂ CO ₃ (4) + Na ₂ O(SiO ₂) _n (10)	112	145	156	320

* 700 °C-ზე მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანები.

როგორც ტესტირების შედეგებიდან ჩანს (ცხრილი 2), ნიმუშების (80 °C-ის პირობებში 20 სთ ხანგრძლივობით) თბოდამუშავების შედეგად გეოპოლიმერული მჭიდების მექანიკური სიმტკიცე საგრძნობლად მატულობს, ნორმალურ პირობებში გამყარებულ მჭიდებთან შედარებით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია # 11 – ნიმუში წიდას და თიხის საფუძველზე, რომელშიც ტუტე კომპონენტად გამოყენებულ იქნა ნატრიუმის ტუტისა და თხევადი მინის ნარევი (სიმტკიცე – 1025 კგ/სმ²).

ეს გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ თბოდამუშავება აჩქარებს გეოპოლიმერიზაციისა და ჰიდრატაციის პროცესებს. გარდა ამისა, ტემპერატურის აწევა ხელს უწყობს კალციუმის ჰიდროსილიკატის გელის გარდაქმნას კრისტალურ ფაზად. კერძოდ, Si⁴⁺, Al³⁺ და Ca²⁺ იონების ხსნადობა იზრდება ტემპერატურის მატებასთან ერთად, და, შესაბამისად, პუცოლანური და გეოპოლიმერული რეაქტივების სიჩქარეც მატულობს, რაც სიმტკიცის გაზრდას განაპირობებს [30].

3. დასკვნა

კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

1. გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების მიღება შესაძლებელია 700 °C-ზე თერმულად მოდიფიცირებული ადგილობრივი თიხოვანი ქანების საფუძველზე.
2. ტუტე კომპონენტად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას როგორც ნატრიუმის ტუტის, ასევე – სოდისა და თხევადი მინის ხსნარები ან მათი კომბინაცია.
3. გეოპოლიმერული მჭიდების (80 °C-ის პირობებში 20 სთ ხანგრძლივობით) თბოდამუშავების შედეგად მათი მექანიკური სიმტკიცე საგრძნობლად მატულობს.
4. თბოდამუშავების შემდეგ აღარ არის საჭირო მჭიდის ნიმუშების 28 დღელამით დაყოვნება, როგორც ამას გამყარების ნორმალური პირობები გულისხმობს.

მადლიერება

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (საგრანტო პროექტი # FR-18-783).

დამოწმებანი

- [1] J. Davidovits. Soft mineralogy and geopolymers. In: Proceeding of the Geopolymer 88th International Conference, 1988, Compiègne, Université de Technologie, 49-56.
- [2] J. Davidovits. Carbon-dioxide greenhouse-warming: What future for portland cement. In: Proceedings of the Emerging Technologies Symposium on Cement and Concretes in the Global Environment, 1993, Chicago, Portland Cement Association, 1-21.
- [3] A. Palomo, A. Marcias, M. T. Blanco, F. Puertas, M. W. Grutzeck, M. T. Blanco. Physical, chemical and mechanical characterization of geopolymers. In: Proceedings of the 9th International Conference on the Chemistry of Cements, 1992, 505-511.
- [4] B. Singh, G. Ishwarya, M. Gupta, S. Bhattacharyya. Geopolymer concrete: A review of some recent developments. Constr. Build. Mater., 2015, 85, 78-90.
- [5] R. A. Robayo-Salazar, J. Mejia, R. Mejia de Gutierrez. Eco-efficient alkali-activated cement based on red clay brick wastes suitable for the manufacturing of building materials. J. Clean. Prod., 2017, 166, 242-252.
- [6] P. Duxson, A. Fernandez-Jimenez, J. L. Provis, G. C. Lukey, A. Palomo, J. S. J. van Deventer. Geopolymer technology: The current state of the art. J. Mater. Sci., 2007, 42, 2917-2933.
- [7] В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. Шлакощелочные цементы и бетоны, 1978, Киев, Будівельник.
- [8] В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, Г. В. Румына, В. Л. Герасимчук. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих, 1988, Киев, Будівельник.
- [9] W. Hongling, L. Haihong, Y. Fengyuan. Synthesis and mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer. Colloids & Surfaces A, 2005, 268, 1/2/3, 1-6.

- [10] O. Bortnovsky, Z. Sobalik, Z. Tvaruzka, J. Dedecce, Z. Prudkova, M. Svoboda. Structure and stability of geopolymers synthesized from kaolinitic and shale residues. In: Proceedings of the World Congress Geopolymer, 2005, Saint-Quentin, 81-84.
- [11] A. Buchwald, H. Hilbig, C. Kaps. Alkali-activated metakaolin-slag blends – Performance and structure in dependence on their composition. Mater. Sci., 2007, 42, 9, 3024-3032.
- [12] M. Luz Granizo, S. Alonso, M. T. Blanco-Varela, A. Palomo. Alkaline activation of metakaolin: Effect of calcium hydroxide in the products of reaction. J. Am. Ceram. Soc., 2004, 85, 1, 225-231.
- [13] A. Palomo, M. W. Grutzeck, M. T. Blanco. Alkali-activated fly ash cement for future. Cement & Concrete Res., 1999, 29, 8, 1323-1329.
- [14] В. И. Калашников. Глиношлаковые строительные материалы, 2000, Пенза, Издательство Пензенского Государственного университета архитектуры и строительства.
- [15] Р. З. Рахимов, Н. Р. Хабибулина, М. М. Рахимов. Бетоны на основе композиционных шлакощелочных вяжущих. Строительные материалы, 2005, 8, 16-17.
- [16] Н. Р. Рахимова. Использование доменных шлаков и боя керамического кирпича в производстве шлакощелочных вяжущих. Экология и промышленность России, 2008, 4, 10-12.
- [17] Н. Р. Рахимова. Влияние вида и содержания цеолитсодержащих добавок на прочность камня композиционных шлакощелочных вяжущих с содовым затворителем. Вестник Томского ГАСУ, 2007, 2 (15), 191-198.
- [18] Н. А. Ерошкина. Исследование вяжущих, полученных при щелочной активизации магматических горных пород. Строительство и реконструкция, 2011, 1 (33), 61-64.
- [19] Н. А. Ерошкина, В. И. Калашников, М. О. Коровкин. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе. Региональная архитектура и строительство, 2011, 2, 62-65.
- [20] Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов, 2014, Пенза, Издательство Пензенского Государственного университета архитектуры и строительства.
- [21] ე. შავაკიძე, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, ე. ხუჭუა, თ. პეტრიაშვილი. ახალი სახის მჭიდების – გეოპოლიმერების მიღების შესაძლებლობის კვლევა ბრძმედის ნაყარი წილის და ბუნებრივი ქანის საფუძველზე. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერ.), 2016, 42, 2, 206-211.
- [22] ე. შავაკიძე, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, მ. ავალიანი, თ. პეტრიაშვილი, გ. თოდრაძე, ე. ხუჭუა. გეოპოლიმერული მჭიდების მიღება კალციინრებული თიხური ფიქლების საფუძველზე. საქართველოს კერამიკოსთა ასოც. ჟურნ. „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, 2018, 20, 2 (40), 31-38.
- [23] E. Shapakidze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, T. Petriashvili, M. Avaliani, G. Todradze. Elaboration of optimal mode for heat treatment of shales for obtaining metakaolin. Eur. Chem. Bull., 2019, 8, 1, 31-33.
- [24] K. Srinivasu, M. L. N. Krishna Sai, N. A. Venkata Sairam Kumar. Review on use of metakaolin in cement mortar and concrete. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol., 2014, 3, 7, 14697-14701.

- [25] В. И. Корнеев, А. С. Брыков. Перспективы развития общестриотельных вяжущих веществ: Геополимеры и их отличительные особенности. Цемент и его применение, 2010, Март / Апрель, 51-55.
- [26] Ch. Panagiotopoulou, E. Kontori, Th. Perraki, G. Kakali. Dissolution of aluminosilicate minerals and by-products in alkaline media. J. Mater. Sci., 2007, 42, 2967-2973.
- [27] А. Р. Гайфуллин, Р. З. Рахимов, Н. Р. Рахимова. Влияние добавок глинистов в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня. Инженерно-строительный журнал, 2015, 7, 66-73.
- [28] E. Shapakidze, R. Skhvitaridze, I. Gejadze, V. Maisuradze, M. Nadirashvili, E. Khuchua. Study of alluvium shales (Falling rocks of Caucasian ridge generated as a result of sill-mudflows) as a pozzolanic additive for cement. J. Georgian Ceram. Ass. "Ceramics", 2016, 1 (35), 1-5.
- [29] A. Sarukhanishvili, R. Skhvitaridze, E. Shapakidze, M. Kapanadze, T. Loladze, D. Eristavi, M. Mshvildadze, I. Giorgadze, Sh. Verulava. Innovative solution of utilization of the clay slates accumulated in the gorge of the river Duruji. IBSU J. Tech. Sci. Technol., 2016, 5, 2, 27-32.
- [30] P. C. Hewlett. Lea's Chemistry of Cement Concrete, 1998, New York, John Wily & Sons.

ახალი გეოპოლიტიკური მზიდა მასალების მიღების შესაძლებლობების
კვლევა საწარმოო ნარჩენებისა და ფოსფორმჟავას საფუძველზე

ე. შაფაქიძე^{1,*}, მ. ავალიანი², მ. ნადირაშვილი¹,
ვ. მაისურაძე¹, ი. გეჯაძე¹, თ. პეტრიაშვილი¹

¹ა. თვალჭრელიძის სახ. მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
* ellennelia@gmail.com

²რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიის და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2020 წლის 7 ოქტომბერს

ანოტაცია

გეოპოლიტიკური ინოვაციური მასალებია და ისინი თანდათან იქცევიან პორტლანდცემენტის ნაწილობრივ ან მთლიან ალტერნატივად ბეტონის წარმოებაში, რომელიც ამჟამად ითვლება გარემოს ეკოლოგიური სისტემის დეგრადაციის ერთერთ მთავარ მიზეზად და არღვევს მდგრადი განვითარების მოდელს. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია ახალი ეკოლოგიურად უსაფრთხო და ეკონომიკურად ხელსაყრელი სამშენებლო მასალების წარმოება ადგილობრივი საწარმოო ნარჩენების გამოყენებით. სამუშაოს მიზანია ახალი გეოპოლიტიკური მჭიდა მასალების მიღების შესაძლებლობის კვლევა მეტალურგიული ნაყარი წიდის და ფოსფორმჟავას საფუძველზე.

1. შესავალი

მსოფლიოში ეკოლოგიური სიტუაციის გაუარესებამ ფართო გზა გაუხსნა მეცნიერებას ახალი ტექნოლოგიების შემუშავების მოძიებისაკენ, რომლებიც სტაბილურ განვითარებას უზრუნველყოფენ. სამშენებლო სექტორში ალტერნატივის სახით გაჩნდა ახალი მასალები, რომელთა წარმოება გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების ნაკლები ხარისხით გამოირჩევა. ერთერთ ასეთ სამშენებლო მასალად თვლიან გეოპოლიტიკურებს, რომლებსაც პორტლანდცემენტის შემცვლელად მიიჩნევენ, ვინაიდან ისინი პორტლანდცემენტის ანალოგიური თვისებებით ხასიათდებიან, კერძოდ, მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით და ხანმედეგობით. ამავე დროს, გეოპოლიტიკურების წარმოება არ არის დაკავშირებული ნახშირორჟანგის მაღალ ემისიასთან.

გეოპოლიტიკურების, როგორც ცეცხლმედეგი და თერმომედეგი საფარებისა და მჭიდების, კომერციული გამოყენება შესაძლებელია წარმოებაში, მედიცინაში, მაღალტემპერატურულ კერამიკებში, ახალი სახის ბოჭკოვანი კომპოზიტების შემკვრელების, ტოქსიკური და რადიოაქტიური ნარჩენების ინკაფსულაციისათვის და ცემენტებისა და ბეტონების შემადგენელი კომპონენტის სახით. გეოპოლიტიკურების

თვისებები შეისწავლება მრავალ ფუნდამენტურ და გამოყენებით დისციპლინაში [1, 2]. გეოპოლიმერების წარმოების ძირითად ნედლეულად გამოიყენება გეოლოგიური წარმოშობის ქანწარმოქმნელი მინერალები, საიდანაც წარმოიშვა დასახელება „გეოპოლიმერი, რომელიც ხმარებაში შემოიტანა ჟოზეფ დავიდოვიცმა 1978 წელს. სწორედ მან შექმნა არაკომერციული სამეცნიერო დაწესებულება Institut Geopolymere (გეოპოლიმერების ინსტიტუტი).

გეოპოლიმერები წარმოადგენენ ტუტით ან მჟავით აქტივირებულ ალუმოსილიკატურ მასალებს. ისინი მოიაზრებიან როგორც არაორგანული, ზოგადად, კერამიკული მასალები, რომლებიც წარმოქმნიან კოვალენტურად ბმულ არაკრისტალურ (ამორფულ) ბადეებს, ბუნებრივი ცეოლოთების მსგავსად [3, 4]. გეოპოლიმერებს უწოდებენ არაორგანულ პოლიმერებსაც, რომლებიც შედგება განმეორებადი რგოლების, მაგალითად, სილიკოოქსიდის ($-Si-O-Si-O-$), სილიკოალუმინატის ($-Si-O-Al-O-$), ფეროსილიკოალუმინატის ($-Fe-O-Si-O-Al-O-$) ან ალუმოფოსფატის ($-Al-O-P-O-$) ჯაჭვებისგან, რომლებიც პოლიმერიზაციის პროცესში წარმოიქმნებიან.

გეოპოლიმერების შესწავლა დაიწყო ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 50-იან წლებში უკრაინაში ვიქტორ გლუხოვსკის მიერ, რომელმაც თანამშრომლებთან ერთად შეიმუშავა წიდა-ტუტოვანი ცემენტების ტექნოლოგია [5]. დავიდოვიცი დიდ მნიშვნელობას ანიჭებდა ამ კვლევებს გეოპოლიმერული მასალების ტექნოლოგიის განვითარების საქმეში.

გეოპოლიმერების მიკროსტრუქტურა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე: ის რენტგენამორფულია ოთახის ტემპერატურაზე და გარდაიქმნება კრისტალურ მატრიცად $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ის ზემოთ.

არსებობს გეოპოლიმერების სინთეზის ორი მიმართულება: ტუტე გარემოში (Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{2+} , Cs^+ და ა.შ.) და მჟავა (ფოსფორმჟავა და ჰუმუსის მჟავები) გარემოებში.

კომერციული მიდგომით ტუტით აქტივირებული გეოპოლიმერები უფრო მეტად მნიშვნელოვანია, ვიდრე მჟავით (იგულისხმება ძირითადად ფოსფორმჟავა). თუმცა ეს უკანასკნელიც გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს, განსაკუთრებით კი მაშინ, როდესაც საქმე საწარმოო ნარჩენების უტილიზაციას ეხება.

მეცნიერთა ჯგუფმა [6] შეიმუშავა გეოპოლიმერული ქაფის მიღების ტექნოლოგია, რომელიც მეტაკაოლინისა და ფოსფორმჟავას ურთიერთქმედების შედეგად მიმდინარეობს ქაფწარმოქმნელად ბუნებრივი კალციტის ან დოლომიტის გამოყენებით. მიღებული მასალის საერთო ფორიანობამ შეადგინა 70 %, ხოლო სითბოგამტარობის კოეფიციენტი – 0.083 ± 0.008 ვტ/მ·კ. კვლევებმა აჩვენა, რომ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე გახურებისას შემკვრელის ამორფული მატრიცა $AlPO_4-SiO_2$ ნაწილობრივ მყარი ხსნარების, ტრიდიმიტის და კრისტობალიტის სახით, გადაკრისტალდა. გეოპოლიმერული პასტის შემადგენლობა ცეცხგამძლე ქაფში მულიტის შემცველობის ადაპტაციის საშუალებას იძლევა.

ა. ს. უაგმა შემოიტანა წინადადება [7], რომ არაორგანული პოლიმერები, რომლებიც $(SiO_4)_4$ -ის ნაცვლად შეიცავენ $(PO_4)_3$ -ს, უნდა განიხილებოდეს როგორც გეოპოლიმერების ახალი კლასი. მან შეისწავლა მეტაკაოლინის ურთიერთქმედების რეაქციები ფოსფორმჟავასთან ანალიზის სხვადასხვა თანამედროვე მეთოდებით და დაასკვნა, რომ რეაქცია მიმდინარეობს ძირითადად ფოსფატის ტეტრაედრსა და $Al-O$ შრეს შორის მეტაკაოლინში და წარმოქმნის ერთგვარ, ხისმაგვარი აგებულების, ბადეს. ამრიგად, ავტორების მიერ შემოთავაზებული მოდელი შეიცავს მეტაკაოლინის ნაწილაკებს, რომლებიც შეერთებულია Al და P ჟანგბადის ხიდებით ტეტრაედრული

კოორდინაციით, რაც გამორიცხავს მაკომპენსირებელი მუხტის აუცილებლობას კარკასის გარეთ. ამრიგად, მასალა იძენს ახალ თვისებას და დაბალი დიელექტრიკული დანაკარგებით ხასიათდება.

მიღებულია არაორგანული პოლიმერები ლატერიტებისგან [8, 9], რომელთა აქტივაციას ახდენენ როგორც ფოსფორმჟავით, ისე – ნატრიუმის სილიკატის ტუტე ხსნარით. მიღებული სამშენებლო მასალები მაღალი მექანიკური სიმტკიცით ხასიათდება.

მიღებული იქნა, აგრეთვე, ფორიანი გეოპოლიმერი [10], რომლის სინთეზი განხორციელდა მეტაკაოლინის, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -ის, ალუმინის ფხვნილისა და ფოსფორმჟავას გამოყენებით $80\text{ }^\circ\text{C}$ -ზე თბური დამუშავებით 5 სთ განმავლობაში. Al-ის ფხვნილი ქაფწარმომქმნელის როლს ასრულებდა. სინთეზირებული ფორიანი მასალის სიმტკიცემ 6 მეგაპა-ს გადააჭარბა. ფორიანი გეოპოლიმერი, რომელიც შედგებოდა ამორფული ფაზისაგან და მცირეოდენი კვარცისგან, ხასიათდებოდა შესანიშნავი თერმული სტაბილურობით: $1450\text{ }^\circ\text{C}$ -ზე ხაზოვანი ჩაჯდომა მხოლოდ 5.5 %-ს შეადგენდა.

ბოლო დროს გაიზარდა ინტერესი ტექსტილით არმირებული ბეტონების მიმართ. ფოლადის არმატურის კოროზიის პრობლემამ და ასევე რთული კონფიგურაციის შენობების აგების მოთხოვნამ დღის წესრიგში დააყენა ტექსტილით (ბაზალტის ან მინაბოჭკოს) დამზადებული ბეტონების წარმოება, რომლებიც ერთდროულად მსუბუქი, ცეცხლმედეგი და ხანმედეგი არიან.

ცნობილი მეცნიერი და გამომგონებელი ა. ს. უაგი [7] აცხადებს, ქიმიურად ბმული ფოსფატები 21-ე საუკუნის მასალებს წარმოადგენენ. მიუხედავად ამისა, მათი მიღების ტექნოლოგიის შემუშავებას ჯერ კიდევ სათანადო ყურადღება არ ექცევა.

გეოპოლიმერულ-ფოსფატური ცემენტები წარმოადგენენ ორკომპონენტო სისტემას, რომელიც შედგება გამამყარებელი სითხისა და მყარი ფაზისაგან. მათი შერევის შედეგად მიიღება კერამიკული მასალა სამგანზომილებიანი ბადისებრი სტრუქტურით, რომელიც არის მტკიცე, ხანმედეგი და ცეცხლმედეგი. იმის გამო, რომ ფოსფატური ცემენტები ტუტე არეს არ ქმნიან, რომლის მიმართ მინისა და ბაზალტის ბოჭკოები არამდგრადია, იქმნება შესანიშნავი წინაპირობა ტექსტილით არმირებული ბეტონების დასამზადებლად ფოსფატური ცემენტების საფუძველზე.

ბრიუსელის უნივერსიტეტში (VUB) შემუშავებულ იქნა არაორგანული კალციტ-ფოსფატური ცემენტი (IPC), რომლის კომერციული სახელწოდებაცაა Vubonite® [11]. იგი მყარდება ოთახის ტემპურაზე და მისი შეკვრის ვადების გაკონტროლება შესაძლებელია. გამყარების შემდეგ pH ნეიტრალურია, რაც იმის საშუალებას იძლევა, რომ მატრიცა არმირებულ იქნას შედარებით იაფფასიანი E-მინის ბოჭკოებით.

ა. კაციკიმ და თანაავტორებმა მოახდინეს [12] მეტაკაოლინიტურ-ფოსფატური ცემენტების სინთეზი მეტაკაოლინის, ფოსფორმჟავისა და დისტილირებული წყლის საფუძველზე. მათ აჩვენეს, რომ ოპტიმალურ შემადგენლობად ითვლება მეტაკაოლინიტურ-ფოსფატური ცემენტები თანაფარდობით $\text{Al} / \text{P} = 1$. როდესაც $\text{Al} / \text{P} > 1$, ცემენტები ხასიათდებიან მაღალი ფორიანობით და დაბალი სიმტკიცით. ხოლო მაშინ, როდესაც $\text{Al} / \text{P} < 1$, ცემენტები შეიცავენ ფოსფორმჟავას და წყალს ჭარბი რაოდენობით, რაც მასალის შესაძლებლობებს ამცირებს. კოლორიმეტრული და თერმო-გრავიმეტრული ანალიზის თანახმად, ჰიდრატირებული სტრუქტურა წარმოიქმნება $127\text{ }^\circ\text{C}$ -ზე. ცემენტის მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე აღწევს 68 მეგაპა-ს. გამყარებულმა

ნიმუშებმა აჩვენეს მაღალი მდგრადობა ხანგრძლივი დროით (1 წელი) წყალში ყოფნის პირობებში.

დ. პერერამ და თანაავტორებმა აჩვენეს [13], რომ ფოსფორმჟავას და მეტაკაოლინის ურთიერთქმედებით შესაძლებელია უფრო მაღალი სიმტკიცის მასალების მიღება (146 მეგაპა), ტუტით აქტივირებულთან შედარებით (72 მეგაპა). მათ აღმოაჩინეს, რომ 6-მაგად კოორდინირებული Al და Si სხვადასხვა არეში, სავარაუდოდ, ალუმინთან და ფოსფორთან ჟანგბადის ხიდებითაა დაკავშირებული.

ჰ. ჩაკუტისა და თანაავტორების მიერ ჩატარებულმა სამუშაომ [14], რომელიც მიემდგვნა მჟავათი აქტივირებული სისტემის შედარებას ტუტით აქტივირებულთან, კიდევ ერთხელ დააფიქსირა გეოპოლიმერულ-ფოსფატური ცემენტების უპირატესობა. მათ შეისწავლეს ორივე სისტემის მექანიკური და მიკროსტრუქტურული თვისებები და დაადგინეს, რომ მჟავათი აქტივირებული ცემენტების მაღალ მექანიკურ სიმტკიცეს განაპირობებს $AlPO_4$ -ის წარმოქმნა, ვინაიდან ეს უკანასკნელი ასრულებს შემამჭიდებლის როლს, რაც აძლიერებს სტრუქტურას და ზრდის სიმტკიცეს.

ლ. ლუატიმ თანაავტორებთან ერთად სცადა [15] ახალი ფოროვანი არაორგანული მასალის მიღება მეტაკაოლინის, ფოსფორმჟავისა და Al-ის ფხვნილისაგან (ფორწარმომქმნელი აგენტი). საბოლოოდ მიღებული პროდუქტები შედგებოდა ამორფული ფაზის, მცირეოდენი კვარცისა და ალუმინის ფოსფატისაგან. Al-ის და წყლის რაოდენობის შეცვლით შესაძლებელი იყო ფორების ზომებისა და რაოდენობის კონტროლი. ფორიანობის ვარირება ხდებოდა 40-დან 83 %-მდე. მიღებული მასალა ხასიათდებოდა მაღალი თერმული სტაბილურობით (ჩაჯდომა – 5.3 %) და მაღალი მექანიკური სიმტკიცით (> 6.0 მეგაპა) 1450 °C-ზე გახურებისას.

ჰ. სელერიეს და სხვათა უფრო გვიანდელმა კვლევებმა დაადასტურეს [16] მეტაკაოლინ-ფოსფატური ცემენტების სტაბილურობა 1400 °C-ზე. უფრო მეტიც, მათ განაცხადეს, რომ უკეთესი ცეცხლმედეგობა მიიღება ნაკლებად რეაქციისუნარიანი მეტაკაოლინისგან, რაც კიდევ ხაზს უსვამს ალუმოსილიკატის როლს საბოლოო პროდუქტში.

ს. ლუატის და სხვათა კვლევები [15] მიემდგვნა გეოპოლიმერულ-ფოსფატური ცემენტების მიღებას ილიტ-კაოლინური თიხებისა და ფოსფორმჟავის საფუძველზე. მათ აღნიშნეს, რომ თიხების ხვედრითი ზედაპირი დიდ გავლენას ახდენს რეაქციის სიჩქარეზე და მოლეკულური სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე.

ჰ. დუირიმ და სხვებმა შეისწავლეს [17] ფოსფორმჟავათი აქტივირებული გეოპოლიმერული ცემენტების თბური და დიელექტრიკული თვისებები და დაამტკიცეს, რომ ამგვარი ცემენტების გამოყენება შესაძლებელია საიზოლაციო მასალების წარმოებაში. უფრო კონკრეტულად კი, მჟავა აქტივატორის რაოდენობის მომატება იწვევს სტრუქტურის ამორფულობის გაზრდას, რაც მასალის დიელექტრიკულ თვისებებს მნიშვნელოვნად ცვლის.

დიდ ინტერესს იწვევს შრომა [18], რომელშიც ავტორებმა გამოიყენეს ელექტროლიტური მანგანუმის დიოქსიდის – ემდ წარმოების ნარჩენები (EMDR) გეოპოლიმერული მასალების მისაღებად.

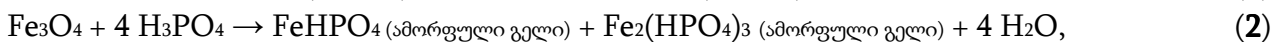
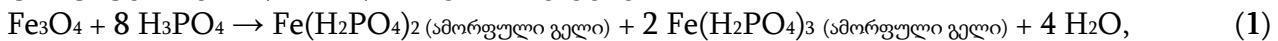
ემდ წარმოების ნარჩენები თავის დროზე გამოიყენებოდა ფერადი მინის ტარის [19], ფორიანი კერამიკის [20], ავტოკლავური აგურისა [21] და სხვა მასალების მისაღებად.

როგორც ზემოთ განხილული სამეცნიერო ნაშრომებიდან ჩანს, გეოპოლიმერულ-ფოსფატური ცემენტების სინთეზისათვის ძირითადად ალუმოსილიკატური

ნედლეული გამოიყენებოდა. ამიტომ ინტერსს იწვევს გეოპოლიმერული მჭიდების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება ახალ ნედლეულზე, კერძოდ, ემდ წარმოების ნარჩენებზე.

იაკონგ ჰანმა და სხვებმა ემდ წარმოების ნარჩენებს დაამატეს [18] ფოსფორმჟავა, ხოლო შემავსებლად გამოიყენეს მდინარის ქვიშა. ორდღიანი პოლიმერიზაციის შედეგად 80 °C-ზე მიღებული იქნა მაღალი მექანიკური სიმტკიცის (96.3 მეგაპა) მქონე მჭიდა მასალა. რენტგენულ-დიფრაქციული სტრუქტურული ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ მაღალი მექანიკური სიმტკიცე განპირობებულია ემდ-ში არსებული მაგნეტიტის ურთიერთქმედებით ფოსფორმჟავასთან.

გამოთქმულია მოსაზრება [22, 23], რომ მაგნეტიტის ურთიერთქმედების შედეგად ფოსფორმჟავასთან წარმოქმნილი ამორფული პროდუქტები შედგება რკინის ფოსფატებისგან და მიმდინარეობს რეაქციებით



სადაც რეაქცია (1) მიმდინარეობს უფრო დაბალი pH-ის დროს, ვიდრე რეაქცია (2). ანუ რეაქციის პროდუქტების შემადგენლობა დამოკიდებულია pH-ის მნიშვნელობაზე. შესაბამისად, ფოსფორმჟავას კონცენტრაცია დიდ ზეგავლენას ახდენს მიღებული გეოპოლიმერის სიმტკიცეზე.

ამ ლიტერატურული მიმოხილვიდან ნათლად ჩანს, რომ გეოპოლიმერები ინოვაციური მასალებია და ისინი თანდათან იქცევიან პორტლანდცემენტის ნაწილობრივ ან მთლიან ალტერნატივად ბეტონის წარმოებაში, რომელიც ამჟამად ითვლება გარემოს ეკოლოგიური სისტემის დეგრადაციის ერთერთ მთავარ მიზეზად და არღვევს მდგრადი განვითარების მოდელს.

2. ძირითადი ნაწილი

წინამდებარე სამუშაოს მიზანია ახალი გეოპოლიმერული მჭიდის მიღების შესაძლებლობის კვლევა მეტალურგიული ნაყარი წიდაისა და ფოსფორმჟავის საფუძველზე.

2.1. ნედლეული და მასალები

წიდეები მიიღება შავი და ფერადი ლითონების დნობის, მყარი საწვავისა და ფოსფორის ელექტროთერმული დამუშავების შედეგად. მათი ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობა იცვლება ძირითადად ფუჭი ქანების შემადგენლობის და გაცივების რეჟიმის მიხედვით. მეტალურგიული ბრძმედის წიდეების უმრავლესობა თავისი ქიმიური შემადგენლობით უახლოვდება პორტლანდცემენტის კლინკერისას. განსხვავებულია მხოლოდ მათი თანაფარდობა. კერძოდ, წიდეები შეიცავენ SiO₂-ს, Al₂O₃-სა და Fe₂O₃-ს საკმაო რაოდენობით, მაგრამ შედარებით მცირე რაოდენობით CaO-ს, ვიდრე ეს პორტლანდცემენტის კლინკერისათვის არის დამახასიათებელი.

არსებობს გრანულირებული (სწრაფად გაცივებული) და ნაყარი (ნელა გაცივებული) ბრძმედის წიდეები. გრანულირებული წიდეები ჰიდრავლიკურად აქტიური მასალებია და ისინი ფართო გამოყენებას პოულობენ ცემენტების, მათ შორის, გეოპოლიმერული ცემენტების წარმოებაში [24]. რაც შეეხება ნაყარ წიდეებს, ისინი

წარმოადგენენ ინერტულ მასალებს და აქტივაციის გარეშე მათი გამოყენება მჭიდრო მასალების წარმოებაში არაეფექტურია.

საქართველოში გრანულირებული წილების მარაგი დიდი ხნის ამოწურულია. რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის წილის საყრდენებში შემორჩენილია მხოლოდ ნაყარი წილების საკმაოდ დიდი რაოდენობა (რამოდენიმე მლნ. ტონა), რომელიც ჰიდრავლიკურად დაბალაქტიურ მასალას წარმოადგენს.

ჩვენ მიერ ჩატარებულ იქნა კვლევები ნაყარი წილებისა და სხვა მასალების გამოყენების შესაძლებლობის დასადგენად ტუტით აქტივირებული გეოპოლიმერული ცემენტების მისაღებად [25 – 28].

ნაყარ წილებში რკინის ნაერთების მაღალი შემცველობა გახდა წინაპირობა იმისა, რომ ფოსფორჟავასთან ურთიერთქმედება მოახდენდა ნაყარი წილის აქტივაციას და მისი მჭიდა თვისებების გამოვლენას.

ცხრილში 1 წარმოდგენილია რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის ბრძმედის ნაყარი წილების ქიმიური შემადგენლობები.

ცხრილი 1. ნაყარი წილების ქიმიური შემადგენლობები, %.

#	ხურებითი დანაკარგი	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	S	Na ₂ O	K ₂ O
1	5.40	32.52	10.70	3.15	1.32	39.90	3.20	0.65	1.10	0.80	0.36
2	4.30	33.15	9.96	4.27	1.07	42.20	2.70	0.86	0.35	0.56	0.20
3	6.05	27.40	9.10	12.90	9.50	29.20	3.10	0.20	0.50	1.40	0.20

ექსპერიმენტებისათვის ნედლეულად გამოყენებულ იქნა ნაყარი წილის სინჯი # 3, აქტივატორის სახით – ფოსფორჟავა სტანდარტული კონცენტრაციით (85 %).

ნაყარი წილის მინერალოგიური ანალიზის შედეგად [29] დადგენილია, რომ ძირითადი მასა შეიცავს: ჯგუფურ სილიკატებს საერთო ფორმულით Am(X₂O₇)_n (60 – 80 მასური %), კვარცს (6 მასურ %-მდე), CaCO₃ (10 მასურ %-მდე), რკინის, მანგანუმისა და კალციუმის სულფიდებს (5 მასურ %-მდე), მაგნიტური თვისებების მქონე ნაერთებს – მაგნეტიტს FeO·Fe₂O₃ (5 მასურ %-მდე), ასევე, ლითონურ რკინას და წყლის შემცველ ნაერთებს. აღინიშნება, აგრეთვე, სილიკატები: ლარნიტი, მერვინიტი, მონტიჩელიტი, ოკერმანიტი და სხვა.

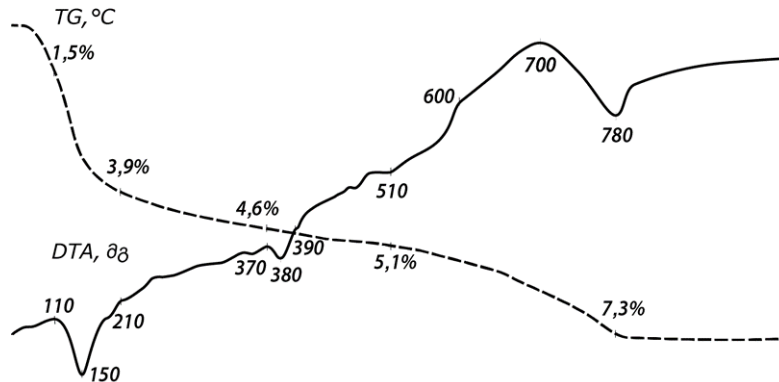
წიდა შესწავლილ იქნა დიფერენციალურ-თერმული და რენტგენოფაზური ანალიზების საშუალებით.

თერმოგრაფიკული ანალიზი ჩატარდა უნგრული წარმოების Q-1500D მარკის დერივატოგრაფზე. გახურების სიჩქარე 10 °C/წთ. ეტალონური ნივთიერება α-Al₂O₃.

რენტგენოფაზური ანალიზისი ჩატარდა რენტგენულ დიფრაქტომეტრზე ДРОН-1.5, A-Cu + C (გრაფიტის მონოქრომატორი). გადაღების რეჟიმი: U= 35 კეე და J= 20 მა.

ნაყარი წილის თერმულ მრუდზე (**სურათი 1**) ტემპერატურულ ინტერვალში 110-დან 210 °C-მდე ადგილი აქვს მექანიკურად ბმული და ადსორბციულად მიერთებული წყლის აორთქლებას, რაც ენდოთერმული პროცესია (მასის დანაკარგია 3.9 %). ენდოთერმული პიკები 380 და 510 °C ტემპერატურებზე, სავარაუდოდ, ნაყარი წილის კრისტალური სტრუქტურის ნაწილობრივ ამორფიზაციას უკავშირდება. საკმაოდ დიდი ეგზოთერმული ეფექტი 600-დან 780 °C-მდე (მაქსიმუმი 700 °C-ზე) ამორფული სტრუქტურის (მინისებური ფაზის) გადაკრისტალებაზე მიუთითებს. ამ ინტერვალში

მასის დაწკარავი მაქსიმალურია — 7.3 %. შრომის [30] ავტორების აზრით, ამ ეგზოთერმული მონაკვეთის ფართის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ წიდაში არაკრისტალური – მინისებრი ფაზის შემცველობა. კიდევ ერთი ენდოთერმული უბანი აქვს წიდას 780 °C-ზე, რაც დაკავშირებული უნდა იყოს მაგნეტიტის – Fe₃O₄-ის წარმოქმნასთან [30].

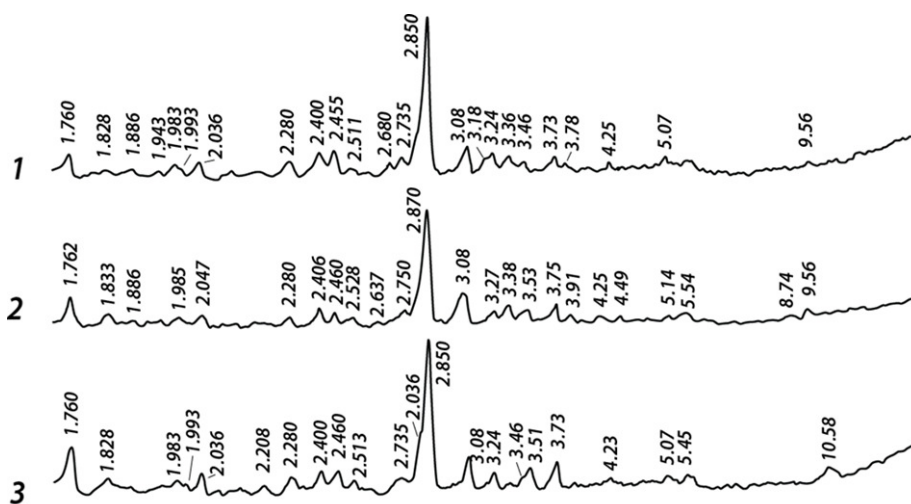


სურათი 1. ნაყარი წიდას თერმული მრუდები 20 – 1000 °C ტემპერატურულ ინტერვალში.

როგორც საკვლევი მასალის DTA მრუდიდან ჩანს, წიდას გახურების პროცესში აქტიური (ენდოთერმული) უბნებია 350-დან 600 °C-მდე ტემპერატურულ ინტერვალში, როდესაც, ადგილი აქვს ქიმიურად ბმული წყლის გამოყოფას, რასაც მოყვება მინერალების კრისტალური მესერის ნაწილობრივი ამორფიზაცია.

ამრიგად, ამ უბანზე წიდა ყველაზე რეაქციისუნარიანია, ვინაიდან კრისტალური ფაზა მინიმალურია.

ამ ჰიპოთეზის გასამყარებლად ჩატარდა ნაყარი წიდას თერმული დამუშავება 550 და 800 °C-ზე, მაქსიმალურ ტემპერატურაზე 30 წთ დაყოვნებით და შემდგომი სწრაფი გაცივებით, რათა შეგვენარჩუნებინა აქტიური ფაზა. საწყისი და თერმოდამუშავებული მასალები შესწავლილ იქნა რენტგენოფაზური ანალიზის მეთოდით.



სურათი 2. ნაყარი წიდას რენტგენოგრამები: 1 – დაუმუშავებელი და თერმოდამუშავებული 2 – 550 და 3 – 800 °C-ზე.

რენტგენოფაზურმა ანალიზით (სურათი 2), ნაყარი წიდა ძირითადად წარმოდგენილია მელილიტის სახით: 2.85 – 2.87, 2.455 – 2.600, 1.760 – 1.762 Å.

მელილიტი ბრძმედის წიდის ძირითადი შემადგენელი მინერალია, რომელიც წარმოადგენს გელენიტისა ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) და ოკერმანიტის ($2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$) უწყვეტ მყარ ხსნარს.

ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე დამუშავებულ წიდაში მელილიტის დიფრაქციული მაქსიმუმების რიცხვითი მნიშვნელობები განსხვავდება დაუმუშავებელი და $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე დამუშავებული წიდის იგივე მინერალის დიფრაქციული მაქსიმუმების მნიშვნელობებისაგან (სურათი 2), რაც იმაზე მეტყველებს, რომ $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე დამუშავებულ წიდაში მინერალის კრისტალური მესერი გარკვეულ გარდაქმნებს განიცდის [25].

2.2. სამუშაოს მსვლელობა და შედეგები

გეოპოლიმერული მჭიდა კომპოზიტების მისაღებად გამოყენებულ იქნა ბრძმედის ნაყარი წიდა # 3, რომელიც დაიფუკა ლაბორატორიულ ბურთულეებთან წისქვილში დისპერსულობამდე $5000\text{ სმ}^2/\text{გ}$ ხვედრითი ზედაპირით. აქტივატორად გამოიყენებოდა ფოსფორმჟავა H_3PO_4 სხვადასხვა კონცენტრაციით. დანამატის სახით კი – სხვადასხვა სახის მთის ქანი.

გეოპოლიმერული მჭიდების შემადგენლობები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. გეოპოლიმერული მჭიდების შემადგენლობები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები.

#	გეოპოლიმერული მჭიდის შემადგენლობა				სიმტკიცე კუმშვაზე, კგ/სმ ²	შენიშვნა
	ნაყარი წიდა, %	დანამატი, %	ფოსფორმჟავა, %	წყალი (100 %-ის ზემოთ), მლ		
1	100	–	85%-იანი – 100	–	–	ნიმუშები ვერ დაყალიბდა
2	80	ბაზალტი–20	85%-იანი – 100	–	–	
3	60	ბაზალტი–40	85%-იანი – 100	–	–	
4	100	–	65%-იანი – 80	–	–	სწრაფი შეკვრის გამო
5	100	–	65%-იანი – 80	–	–	
6	100	–	65%-იანი – 80	60	–	ფოროვანი ნიმუშები
7	80	ქვიშა–20	65%-იანი – 80	60	75	
8	60	ქვიშა–40	65%-იანი – 80	60	96	

ექსპერიმენტების პროცესში ნაყარი წიდის და 85 %-იანი კონცენტრაციის ფოსფორმჟავის ურთიერთქმედებას თან ახლდა სითბოს ინტენსიური გამოყოფა და სწრაფი შეკვრა, რაც მაგნეტიტს და ფოსფორმჟავას შორის მიმდინარე რეაქციების შედეგია. ეს კი რიგ შემთხვევებისა ნიმუშების დაყალიბებას შეუძლებელს ხდიდა (ნიმუშები # # 1, 2 და 3).

შემდეგი სერია ჩატარდა 65 %-იანი კონცენტრაციის ფოსფორმჟავაზე (ნიმუშები # # 4, 5 და 6). # 6 ნიმუში 60 მლ წყლის დამატებით მომზადდა. აქაც იგივე განმეორდა. მხოლოდ # # 7 და 8 ნიმუშების დაყალიბება მოხერხდა.

დაყალიბდა $20 \times 20 \times 20$ მმ ზომის ნიმუშები, რომელთა ფორმიდან ამოღება მოხდა დაყალიბებიდან მესამე დღეს. ნიმუშები ფორმიდან ამოღების შემდეგ დაექვემდებარა თერმოდამუშავებას შემდეგი რეჟიმით: $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე დაყოვნება 20 სთ განმავლობაში და გაგრილების შემდეგ გამოიცადა წნეხზე.

წყლის სწრაფი აორთქლების თავიდან ასაცილებლად ნიმუშები ფორმებთან ერთად 3 დღელამის განმავლობაში იფუთებოდა პოლიეთილენის პაკეტში. შემდეგ პაკეტი შორდებოდა და ნიმუშები გადიოდნენ თერმოდამუშავებას ზემოხსენებული რეჟიმით.

მიღებული იქნა ფოროვანი ნიმუშები. # 7 ნიმუშის სიმკვრივემ შეადგინა 0.68 გ/სმ^3 (680 კგ/მ^3), ხოლო # 8 ნიმუშის – 0.720 გ/სმ^3 (720 კგ/მ^3). **სურათზე 3** წარმოდგენილია ნიმუში # 8.



სურათი 3. გეოპოლიმერული მჭიდა მასალა ნაყარი წიდის, ქვიშისა და ფოსფორმჟავას საფუძველზე (ნიმუში # 8).

გარდა სიმტკიცისა, მიღებული მასალების ტესტირება ჩატარდა თბოგამტარობაზე. თბოგამტარობა განისაზღვრა ხელსაწყოზე ИТП–МГ4 “100”.

სითბოგამტარობის კოეფიციენტი შეადგინა # 7 ნიმუშისთვის – 0.098, ხოლო # 8 ნიმუშისათვის – 0.115 ვტ/მ·კ, მაშინ როდესაც მსუბუქი ბეტონის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი მერყეობს 0.20-დან 0.52 ვტ/მ·კ-მდე.

3. დასკვნა

ამრიგად, ნაყარი წიდის და ქვიშის კომპოზიციაზე ფოსფორმჟავას დამატებით მიღებულ იქნა თბოსაზოლაციო ფოროვანი გეოპოლიმერული მჭიდა მასალები. ნაყარი წიდის და ქვიშის თანაფარდობის შერჩევით შესაძლებელია მჭიდის თვისებების, მაგალითად, ფორიანობისა და სიმტკიცის მართვა. შემდგომი კვლევები მიმართული უნდა იყოს ახალი კომპოზიციების გამოსავლენად.

გეოპოლიმერების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება მაგნეტიტის საფუძველზე ფართო პერსპექტივას გაუხსნის რკინით მდიდარი საწარმოო ნარჩენების, მაგალითად,

მეტალურგიული ნაყარი წილების გამოყენებას, რაც ეკოლოგიური სიტუაციის გაუმჯობესებასაც წაადგება.

მადლიერება

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (საგრანტო პროექტი # FR-18-783).

დამოწმებანი

- [1] L. A. Alves, A. Nogueira, E. Vazquez, S. Barros. A bibliographic historical analysis on geopolymers as a substitute for portland cement. *Key Eng. Mater.*, 2020, 834, 127-131.
- [2] P. Duxson, A. Fernandez-Jimenez, J. L. Provis, G. C. Lukey, A. Palomo, J. S. J. van Deventer. Geopolymer technology: The current state of the art. *J. Mater. Sci.*, 2007, 42, 2917-2933.
- [3] J. Davidovits. 30 Years of successes and failures in geopolymer applications. Market trends and potential breakthroughs. In: *Proceedings of the Conference Geopolymer 2002, 2002, Saint-Quentin*, 1-9.
- [4] J. Davidovits. Review. Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. *J. Ceram. Sci. Technol.*, 2017, 8, 3, 335-350.
- [5] В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. Шлакощелочные цементы и бетоны, 1978, Киев, Будівельник.
- [6] M. L. Gualtieri, M. Romagnolia, A. F. Gualtieri. Preparation of phosphoric acid-based geopolymer foams using limestone as pore forming agent – Thermal properties by *in situ* XRPD and Rietveld refinements. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2015, 35, 11, 3167-3178.
- [7] A. S. Wagh. Chemically bonded phosphate ceramics – A novel class of geopolymers. *Ceram. Trans.*, 2005, 165, 107-116.
- [8] M. L. Gualtieri, M. Romagnoli, S. Pollastri, A. F. Gualtieri. Inorganic polymers from laterite using activation with phosphoric acid and alkaline sodium silicate solution: Mechanical and microstructural properties. *Cement & Concrete Res.*, 2015, 67, 259-270.
- [9] D. S. Perera, J. V. Hanna, J. Davis, M. G. Blackford, B. A. Latella, Y. Sasaki, E. R. Vance. Relative strengths of phosphoric acid-reacted and alkali-reacted metakaolin materials. *J. Mater. Sci.*, 2008, 43, 6562-6566.
- [10] L.-P. Liu, X.-M. Cui, S.-H. Qiu, J.-L. Yu, L. Zhang. Preparation of phosphoric acid-based porous geopolymers. *Appl Clay Sci.*, 2010, 50, 600-603.
- [11] X. Wu, J. Gu. Inorganic resin compositions, their preparation and use thereof. U.S. Patent US6103007A, 15 August 2000.
- [12] A. Katsiki, T. Hertel, T. Tysmans, Y. Pontikes, H. Rahier. Metakaolinite phosphate cementitious matrix: Inorganic polymer obtained by acidic activation. *Materials*, 2019, 12 (3), 442, 1-15.
- [13] D. S. Perera, J. V. Hanna, J. Davis, M. G. Blackford, B. A. Latella, Y. Sasaki, E. R. Vance. Relative strengths of phosphoric acid-reacted and alkali-reacted metakaolin materials. *J. Mater. Sci.*, 2008, 43, 6562-6566.

- [14] H. K. Tchakoute, C. H. Ruscher. Mechanical and microstructural properties of metakaolin-based geopolymer cements from sodium waterglass and phosphoric acid solution as hardeners: A comparative study. *Appl. Clay Sci.*, 2017, 140, 81-87.
- [15] S. Louati, S. Baklouti, B. Samet. Geopolymers based on phosphoric acid and illitokaolinitic clay. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2016, 2016, 2359759, 1-7.
- [16] H. Celerier, J. Jouin, V. Mathivet, N. Tessier-Doyen, S. Rossignol. Composition and properties of phosphoric acid-based geopolymers. *J. Non-Cryst. Solids*, 2018, 493, 94-98.
- [17] H. Douiri, S. Louati, S. Baklouti, M. Arous, Z. Fakhfakh. Enhanced dielectric performance of metakaolin- H_3PO_4 geopolymers. *Mater. Lett.*, 2016, 164, 299-302.
- [18] Y. Han, X. Cui, X. Lv, K. Wang. Preparation and characterization of geopolymers based on phosphoric-acid-activated electrolytic manganese dioxide residue. *J. Clean. Prod.*, 2018, 205, 488-498.
- [19] A. V. Sarukhanishvili, L. Shashek, E. V. Shapakidze, I. A. Sarukhanishvili. Waste materials from the production of electrolytic manganese dioxide in the glass-container industry. *Glass Ceram.*, 1992, 49, 161-163.
- [20] F. F. Wu, X. P. Li, H. Zhong, S. Wang. Utilization of electrolytic manganese residues in production of porous ceramics. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 2016, 13, 511-521.
- [21] B. Du, C. B. Zhou, Z. K. Luan, N. Duan. Preparation and characteristics of steam-autoclaved bricks produced from electrolytic manganese solid waste. *Constr. Build. Mater.*, 2014, 50, 291-299.
- [22] A. S. Wagh. Recent progress in chemically bonded phosphate ceramics. *ISRN Ceram.*, 2013, 2013, 983731, 1-20.
- [23] A. S. Wagh, S. Y. Jeong. Chemically bonded phosphate ceramics: III. Reduction mechanism and its application to iron phosphate ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 2003, 86, 1850-1855.
- [24] Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов, 2014, Пенза, Издательство Пензенского Государственного университета архитектуры и строительства.
- [25] ე. შავაქიძე, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, ე. ხუჭუა, თ. პეტრიაშვილი. ახალი სახის მჭიდების – გეოპოლიმერების მიღების შესაძლებლობის კვლევა ბრძმედის ნაყარი წილის და ბუნებრივი ქანის საფუძველზე. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერ.), 2016, 42, 2, 206-211.
- [26] E. Shapakidze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, M. Avaliani, T. Petriashvili. Geopolymers – The future alternative to portland cement. In: Abstracts of the 6th International Caucasian Symposium on Polymers and Advanced Materials, 2019, Batumi, TSU – BSU, 96-96.
- [27] E. Shapakidze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, M. Avaliani, T. Petriashvili. Production of geopolymer binders using local raw materials. Abstracts of the 5th International Scientific-Practical Conference on Up-to-Date Problems of Geology: Power of Geology is the Precondition for Regeneration of Economics, 2019, Georgian Technical University, 125-127.
- [28] ე. შავაქიძე, მ. ავალიანი, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, თ. პეტრიაშვილი. გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების მიღება თერმულად მოდიფიცირებული საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე. *Nano Studies*, 2020, 20, 43-52.

- [29] Р. Е. Схвитаридзе, А .В. Саруханишвили, О. В. Долидзе, Г. О. Долидзе. Практика использования отвального доменного шлака в качестве минеральной добавки в производстве цемента. Труды ГТУ, 2005, 4 (458), 114-120.
- [30] Р. Кельнер, Ж.-М. Мерме, М. Отто, Г. М. Видмер. Аналитическая химия. Проблемы и подходы (В двух томах), Том I, 2004, Москва, Мир.

PROPERTIES OF SYNTHESIZED INORGANIC POLYMERIC PHOSPHATE MATERIALS
AND POSSIBILITIES FOR PRODUCTION OF NEW ENVIRONMENTALLY FRIENDLY
AND ECONOMICALLY VIABLE SUPPLIES FROM LOCAL INDUSTRIAL WASTE

M. Avaliani^{1,*}, V. Chagelishvili¹, E. Shapakidze²,
M. Gvelesiani¹, N. Barnovi¹, M. Vibliani¹, K. Chikovani¹

¹R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry & Electrochemistry
I. Javakhishvili Tbilisi State University
Tbilisi, Georgia
[*avaliani21@hotmail.com](mailto:avaliani21@hotmail.com)

²A. Tvalchrelidze Caucasian Institute of Mineral Resources
I. Javakhishvili Tbilisi State University
Tbilisi, Georgia

Accepted 2020 November 17

Abstract

In the paper, the data on obtaining and general properties of polymeric phosphates first time synthesized by the authors are considered. There are analyzed the possibilities of production of new geopolymeric binder materials by inclusion of small amounts of these condensed materials into industrial waste and using phosphoric acid.

Deteriorating of the environmental situation in the world has opened up new opportunities for scientists to seek ways to develop new technologies that will ensure suitable sustainable development. In the construction sector, new materials have emerged as an alternative, whose production is characterized by a lower degree of negative impact on the environment. One of these construction materials are geopolymers, which are considered as alternative for portland cement because they are characterized by properties similar to those of the mentioned cement, in particular, such as high physical-mechanical properties and durability. At the same time, the production of geopolymers is not associated with high carbon dioxide emissions. As is well-known that geopolymers are inorganic polymers consisting of repeating chains, such as silicon oxide ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$), silicoaluminate ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$), ferrosilicoaluminate ($-\text{Fe}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$) or alumophosphate ($-\text{Al}-\text{OPO}-$) chains formed through the polymerization process.

Primarily the influence of inherent characteristics of volcanic rocks on the creation of geopolymeric binders' structure was studied. Also, we are conscious: it would be very interesting to study in details some researches with participation of double condensed phosphates containing vitreous phase in curing of geopolymeric binders, these experiments will be conducted soon in the shortest possible time. At the first time the opportunity of activation of crystallized slag, with double condensed phosphates of mono- and polyvalent metals joint thermo-processing was examined, as well as influence of different modes of mechanical-

activation and curing on the reaction-ability of components of geopolymeric binders. Of course first of all we needed to we had to synthesize the phosphates we needed. We will try to make a more detailed point on this subject.

Generally condensed phosphates of polyvalent metals possess a number of rather interesting and appreciable properties, which explains various areas of their application. Actually anions are known for $n = 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10,$ and 12 [1 – 7].

Fairly high thermal stability of mentioned condensed phosphates, elevated content of phosphorus – these properties have caused their application as raw components for manufacture of phosphate glasses; The crystalline and non-crystalline ultraphosphates are used in quantum electronics, which are predetermined by their specific properties.

In fact it is necessary to underline, that some compounds of cyclophosphates was primarily synthesized, firstly examined and determined by us, sometimes in collaboration with Dr. N. Chudinova and academician I. Tananaev [1, 3 – 5, 7 – 9]. In fact the achievements obtained by methods and direction of researches, named “Scientific School of Tananaev” in the vast and extensive domain of condensed phosphates is very remarkable.

Sufficient stability of polymeric phosphates in this respect makes it possible to identify and categorize them by the method of paper chromatography. This fact permitted scientists to examine the process of formation and the composition of many normal, basic and/or acid of both simple and double di-, tri-, tetra-, octa- and dodecaphosphates of polyvalent metals. This method together with the chemical analysis, IR-spectroscopy, thermogravimetry, X-Ray diffraction, and structural analysis was used by us.

The present data is the result of our studies – synthesis, analysis, examination of the experimental records and their comparison and / or correlation which achievements in the domain of inorganic polymer’s chemistry [1 – 5, 7]. Condensed phosphates of polyvalent metals, notably double phosphates containing alkali metals enjoy a number of relatively remarkable and significant properties, which explains their appreciation and variable scenarios of their applications.

Beforehand we already knew that high thermal stability, elevated content of phosphorus – these preconditions have caused the various applications as raw components for manufacture of phosphates glasses, the use of crystalline and non crystalline ultraphosphates in quantum electronics are predetermined by specific properties.

Just for these reasons we synthesized many new double condensed oligo- and cyclophosphates, whose general properties we have examined [3 – 5, 7]: systematic investigation of $M^I_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ at $120 - 650$ °C, where M^I = alkali metals and M^{III} – Ga, In, Sc, Al was executed. In addition investigation of systems $Ag_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ at $150 - 600$ °C was examined. Many compounds were wholly studied and the structures are determined by X-ray structural techniques [1, 3 – 5].

Thus, presented work is the result of synthesis, analysis, investigation of the experimental records, their examination, determination and evaluation of their properties and correspondence with accomplishments and advances in the area of inorganic polymers’ chemistry [2 – 6].

During last years’ more of 85 new formerly unknown double condensed phosphates have been obtained, including the first representatives of double cyclooctaphosphate class – $K_2Ga_2P_8O_{24}$ and $Rb_2Ga_2P_8O_{24}$ were obtained by M. Avaliani & N. Chudinova [4, 7], crystal

structure was examined and described [1, 4, 5]. The structure of $K_2Ga_2P_8O_{24}$ (reminds crown-ether).

One of primary synthesized cyclododecaphosphates, e.g. $Cs_3Ga_3P_{12}O_{36}$, $Cs_3Sc_3P_{12}O_{36}$, $Cs_3In_3P_{12}O_{36}$ have been obtained by us [9 – 11] (see also detailed and interesting publication [6]). These achievements, including the successful synthesis of the first representatives of double cyclooctaphosphate classes – $K_2Ga_2P_8O_{24}$ and $Rb_2Ga_2P_8O_{24}$ are noted and distinguished by many scientists / authors in the important publications [1, 2, 6, 8].

So, by crystallization from melts of polyphosphoric acids at the temperature range of 120 – 650 °C we are obtaining more than 85 double condensed phosphates of alkali and trivalent metals; all compounds, or practically almost entities were identified by roentgen phase analysis and investigates thermo gravimetrically [3 – 5], many compounds was wholly examined by X-ray structural techniques, described in works [1, 7 – 9, 12].

The physical and chemical properties of phosphates are evaluated. In addition, detailed investigation of system $M^I_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ at 150 – 350 °C, where $M^{III} = Tl$ is on the stage of examination.

Discussing about the range of $M^IM^{III}(PO_3)_4$ compounds' structures where M^I is constantly alkali or any other monovalent metal and where M^{III} is any of trivalent metals such as gallium, indium, scandium and others, even rare earth elements, it can be concluded: while the radius of M^{3+} decreases, the polyphosphate chain identity period increases, due to complication of its form-factors; the cycles slowly appears, the number of structural types increases caused by correlation of average distances between $(M^{III}-O)$ and (M^I-O) . Less is the correlation / ratio, more is the probability of big cycle formation.

Concerning geopolymers: the commercial application of these materials can be used in the production of fire-retardant and heat-resistant coatings and sealants, in medicine, in high-temperature ceramics, for the encapsulation of new types of fibrous, toxic, and radioactive waste components, and as a component of cement and concrete. The properties of geopolymers have been studied in many scientific and industrial disciplines [13 – 22], and examined by various researchers [23 – 29], and taking into account these aspects we have considered experimenting: by adding a certain amount of condensed phosphates synthesized by us to geopolymers in order to increase their binder properties.

By citing Dr. E. Shapakidze, “Geopolymers are an innovative materials, and they are progressively turning to a partial or complete alternative to Portland cement in the fabrication of concrete, which is presently considered one of the main causes of ecological system degradation and destroys the sustainable development model” [30 – 34]. In view of the reasons, mentioned above, the production of new environmentally friendly and economically viable materials from local industrial waste is of great importance, especially since adding very small quantities of the new condensed phosphates synthesized by us gives the hope of anticipating the improvement of their qualities [33, 34].

The influence of chemical, thermal and mechanical activation on the formation of structure and processes of curing of geopolymeric binders will be studied during future experiments as soon as possible.

Having reconsidered and resuming the above it is very interesting to study the possibility of obtaining new geopolymer binders based on metallurgical dump slags and phosphoric acid and also by adding to the geopolymers a smaller quantity of condensed phosphates obtaining the alternatives to portland cement – geopolymers with improved

properties. The first steps to obtain the desired materials have been taken. Heat-insulating porous geopolymer materials were obtained under laboratory conditions [33, 34]. Studies of the possibilities of obtaining new geopolymer binders on the basis of industrial waste and phosphoric acid were conducted. When selecting the ratio of dump slag to sand, it is possible to regulate the properties of the binder, for example, porosity and mechanical strength [34].

References

- [1] M.-Th. Averbuch–Pouchot, A. Durif. Topics in Phosphate Chemistry, 1996, World Scientific.
- [2] A. Durif. The development of cyclophosphate crystal chemistry. *Solid State Sci.*, 2005, 7, 6, 760-766.
- [3] I. Grunze, K. K. Palkina, N. N. Chudinova, M. A. Avaliani, L. S. Guzeeva. Structure and thermal transitions of double Cs–Ca phosphates. *Inorg. Mater.*, 2009, 23, 4, 539-544.
- [4] M. Avaliani. Investigation and thermal behaviour of double condensed compounds of gallium, scandium and silver. *Nano Studies*, 2018, 17/18, 21-24.
- [5] M. Avaliani, E. Shapakidze, N. Barnovi, D. Dzanashvili, G. Todradze, V. Kveselava, N. Gongadze. Regiocontrolled synthesis of double condensed oligo-, poly-, and cyclophosphates, their characterization and possible solid-state applications. *Nano Studies*, 2019, 19, 273-284.
- [6] E. V. Murashova, N. N. Chudinova. Double condensed phosphates of caesium–indium. *Inorg. Mater.*, 2001, 37, 12, 1521-1524.
- [7] M. Avaliani. Synthesis and Investigation of Condensed Phosphates of Gallium and Indium (PhD Thesis), 1982, Moscow, N. Kurnakov Inst. Gen. Inorg. Chem.
- [8] A. Oudahmane, D. Avignant, D. Zambon. Dipotassium dialuminium cyclooctaphosphate. *Struc. Rep.*, 2010, 2, 7, 149-150.
- [9] M. Avaliani, E. Shapakidze. Areas of crystallization of double condensed phosphates of Ag and trivalent metals and regularities of their formation. In: Abs. 5th Int. Conf. Org. Inorg. Chem. “Strategic Approach and Future Generation Advancements in Organic and Inorganic Chemistry”, 2018, Paris, Poster, DOI: 10.13140/RG.2.2.11335.19364.
- [10] M. Avaliani, V. Chagelishvili, E. Shapakidze, M. Gvelesiani, N. Barnovi, V. Kveselava, N. Esakia. Crystallization fields of condensed scandium-silver and gallium-silver phosphates. *Eur. Chem. Bull.*, 2019, 8, 5, 164-170.
- [11] M. Avaliani, M. Gvelesiani. Areas of crystallization of condensed scandium and caesium phosphates and regularities of their formation. *Proc. Georgian Natl. Acad. Sci. (Chem. Ser.)*, 2006, 32, 1/2, 52-58.
- [12] K. K. Palkina, S. I. Maksimova, V. G. Kuznetsov, N. N. Chudinova. Structure of crystals of double octametaphosphate $Ga_2K_2P_8O_{24}$. *Dokl. Acad. Sci. USSR*, 1979, 245, 6, 1386-1389.
- [13] M. L. Gualtieri, M. Romagnolia, A. F. Gualtieri. Preparation of phosphoric acid-based geopolymer foams using limestone as pore forming agent – Thermal properties by *in situ* XRPD and Rietveld refinements. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2015, 35, 11, 3167-3178.
- [14] A. S. Wagh. Chemically bonded phosphate ceramics – A novel class of geopolymers. *Ceram. Trans.*, 2005, 165, 107-116.

- [15] M. L. Gualtieri, M. Romagnoli, S. Pollastri, A. F. Gualtieri. Inorganic polymers from laterite using activation with phosphoric acid and alkaline sodium silicate solution: Mechanical and microstructural properties. *Cem. Concr. Res*, 2015, 67, 259-270.
- [16] D. S. Perera, J. V. Hanna, J. Davis, M. G. Blackford, B. A. Latella, Y. Sasaki, E. R. Vance. Relative strengths of phosphoric acid-reacted and alkali-reacted metakaolin materials. *J. Mater. Sci.*, 2008, 43, 6562-6566.
- [17] L.-P. Liu, X.-M. Cui, S.-H. Qiu, J.-L. Yu, L. Zhang. Preparation of phosphoric acid-based porous geopolymers. *Appl. Clay Sci.*, 2010, 50, 600-603.
- [18] A. Katsiki, T. Hertel, T. Tysmans, Y. Pontikes, H. Rahier. Metakaolinite phosphate cementitious matrix: Inorganic polymer obtained by acidic activation. *Materials*, 2019, 12, 3, 442, 1-15.
- [19] H. K. Tchakoute, C. H. Ruscher. Mechanical and microstructural properties of metakaolin-based geopolymer cements from sodium waterglass and phosphoric acid solution as hardeners: A comparative study. *Appl. Clay Sci.*, 2017, 140, 81-87.
- [20] S. Louati, S. Baklouti, B. Samet. Geopolymers based on phosphoric acid and illito-kaolinitic clay. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2016, 2016, 2359759, 1-7.
- [21] H. Celerier, J. Jouin, V. Mathivet, N. Tessier-Doyen, S. Rossignol. Composition and properties of phosphoric acid-based geopolymers. *J. Non-Cryst. Solids*, 2018, 493, 94-98.
- [22] H. Douiri, S. Louati, S. Baklouti, M. Arous, Z. Fakhfakh. Enhanced dielectric performance of metakaolin-H₃PO₄ geopolymers. *Mater. Lett.*, 2016, 164, 299-302.
- [23] Y. Han, X. Cui, X. Lv, K. Wang. Preparation and characterization of geopolymers based on phosphoric acid-activated electrolytic manganese dioxide residue. *J. Clean. Prod.*, 2018, 205, 488-498.
- [24] A. V. Sarukhanishvili, L. Shashek, E. V. Shapakhidze, I. A. Sarukhanishvili. Waste materials from the production of electrolytic manganese dioxide in the glass-container industry. *Glass Ceram.*, 1992, 49, 161-163.
- [25] F. F. Wu, X. P. Li, H. Zhong, S. Wang. Utilization of electrolytic manganese residues in production of porous ceramics. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 2016, 13, 511-521.
- [26] B. Du, C. B. Zhou, Z. K. Luan, N. Duan. Preparation and characteristics of steam-autoclaved bricks produced from electrolytic manganese solid waste. *Constr. Build. Mater.*, 2014, 50, 291-299.
- [27] A. S. Wagh. Recent progress in chemically bonded phosphate ceramics. *ISRN Ceram.*, 2013, 2013, 983731, 1-20.
- [28] A. S. Wagh, S. Y. Jeong. Chemically bonded phosphate ceramics: III. Reduction mechanism and its application to iron phosphate ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 2003, 86, 1850-1855.
- [29] Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов, 2014, Пенза, Изд. Пензенского Гос. унив. архитектуры и строительства.
- [30] ე. შავაქიძე, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, ე. ხუჭუა, თ. პეტრიაშვილი. ახალი სახის მჭიდების – გეოპოლიმერების მიღების შესაძლებლობის კვლევა ბრძმედის ნაყარი წიდის და ბუნებრივი ქანის საფუძველზე. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერ.), 2016, 42, 2, 206-211.

- [31] E. Shapakidze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, T. Petriashvili, M. Avaliani, G. Todradze. Elaboration of optimal mode for heat treatment of shales for obtaining metakaolin. *Eur. Chem. Bull.*, 2019, 8, 1, 31-33.
- [32] E. Shapakidze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, M. Avaliani, T. Petriashvili. Production of geopolymer binders using local raw materials. Abstracts of the 5th International Scientific-Practical Conference on Up-to-Date Problems of Geology: Power of Geology is the Precondition for Regeneration of Economics, 2019, Georgian Technical University, 125-127.
- [33] E. Shapakidze, M. Avaliani, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, I. Gejadze, T. Petriashvili. Geopolymers based on local rocks as a future alternative to portland cement. *Mater. Sci. III*, 2020, 25, DOI: 10.13140/RG.2.2.28081.12644.
- [34] ე. შაფაკიძე, მ. ავალიანი, მ. ნადირაშვილი, ვ. მაისურაძე, ი. გეჯაძე, თ. პეტრიაშვილი. გეოპოლიმერული მჭიდა მასალების მიღება თერმულად მოდიფიცირებული საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე. *Nano Studies*, 2020, 20, 43-52.

მონო- და კოლოვალენტური ლითონების კონდენსირებული
ფოსფატების სინთეზი, თვისებებისა და შემდგენილობის
კვლევისათვის ოპტიმალური მეთოდების შემუშავება

მ. ავალიანი^{1,*}, გ. თოდრაძე², ე. შაფაქიძე², ვ. კვესელავა¹

¹რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიის და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
[*avaliani21@hotmail.com](mailto:avaliani21@hotmail.com)

²ა. თვალჭრელიძის სახ. მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2019 წლის 15 სექტემბერს

ანოტაცია

ბოლო წლებში დიდი ყურადღება ექცევა კონდენსირებული ფოსფატების ანუ არაორგანული პოლიმერების მიზანმიმართულ სინთეზსა და კვლევას, რაც მნიშვნელოვანია ახალი ტექნიკის სხვადასხვა დარგის განვითარებისათვის. წინამდებარე ნაშრომში მიმოხილულია ამ ახალი კონდენსირებული ნაერთების $M^{II}O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ (სადაც M^I არის Ag, ხოლო M^{III} – Ga და Sc) მრავალკომპონენტური სისტემებში მაღალტემპერატურული (100 – 600 °C) სინთეზის მიმართულებით ჩატარებული კვლევები. ეს ტექნოლოგია დაფუძნებულია პოლიფოსფორმჟავათა ხსნარ-ნალღობებიდან კონდენსაციის გზით ახალი კომპოზიტების – არაორგანული ოლიგომერების, ციკლური ნაერთებისა და გრძელჯაჭვიანი პოლიმერების მიღებაზე. არა მხოლოდ სინთეზირებულია დღემდე უცნობი ორმაგი კონდენსირებული ოლიგო-, პოლი- და ციკლოფოსფატები, არამედ დადგენილია მათი სტრუქტურა და გამოკვლეულია მათი თვისებები. განსაზღვრულია მათი კრისტალიზაციის ოპტიმუმი განსაზღვრა შედგენილობის კვლევისათვის საუკეთესოდ მისადაგებული მეთოდები, შემუშავებულია ანალიზის მეთოდები. საკრისტალიზაციო პირობებისა და პროდუქტის თვისებების გაანალიზებით შესაძლებელია მიზნობრივი თვისებების მქონე ახალი არაორგანული პოლიმერების სინთეზი და მონოკრისტალების ჩამოყალიბების რეჟიმების დადგენა.

1. შესავალი

ფოსფორი დედამიწაზე იყო ჯერ კიდევ 4.5 მილიარდი წლის წინათ, როდესაც ის ლავის ოკეანეს წარმოადგენდა. არიზონას უნივერსიტეტის მკვლევართა აზრით, მილიონობით წლების განმავლობაში ფოსფორით მდიდარმა მეტეორიტების წვიმამ გაზარდა ფოსფორის რაოდენობა პლანეტაზე.

როგორც განაცხადა ცნობილმა ასტროფიზიკოსმა ჰუბერტ რივესმა თავის ნაშრომში „ყველაზე ლამაზი ამბავი მსოფლიოში“ (H. Reeves. The Most Beautiful Story in

the World, 2004): „ჩვენ ვარსკვლავთა მტვერი ვართ“. ამ მტერის ერთ-ერთი მდგენელი = ფოსფორი – თავისი ცხოველმყოფელობით უმნიშვნელოვანესია დედამიწაზე, რადგან ითვლება მთელი ეკოსისტემების სათანადო ფუნქციონირების ერთერთ ფუძემდებელ ელემენტად. ფოსფორი შეუცვლელია, როგორც ცოცხალი ორგანიზმების მაკავშირებელი საკვები ჯაჭვების მეშვეობით. ის ფაქტიურად მთელი ბიომრავალფეროვნების არსებობის დამზღვევის როლს თამაშობს.

მრავალი ექსპერტის აზრით, შესაძლოა, რომ ძალიან მალე ფოსფორი გახდეს უფრო ძვირადღირებული, ვიდრე ოქრო, ვერცხლი ან ურანი.

ფოსფორი თამაშობს მნიშვნელოვან როლს ცოცხალი არსებების ბიოლოგიაში. იგი ქმნის დნმ-ისა და რნმ-ის „ხერხემალს“, რომელიც დაკავშირებულია გრძელჯაჭვიან მოლეკულურ და გენეტიკურ ბაზებთან. ფოსფორი ასევე მნიშვნელოვანია მეტაბოლიზმისათვის. შეიძლება ითქვას, რომ ფოსფორი – ეს არის სიცოცხლის არქიტექტურის ნაწილი: ფოსფორი შედის უჯრედის კედლების ფოსფოლიპიდურ კომპონენტებში, ძვლებისა და კბილების შემადგენლობაში.

უკანასკნელ ხანებში გაერო და საერთაშორისო სამეცნიერო საზოგადოებები პროგნოზირებენ, რომ დედამიწაზე არსებული ფოსფორის ნაკლებობა დაახლოებით 100 – 130 წლის შემდეგ გლობალურ შიმშილს გამოიწვევს. ისინი დასძენენ : „იმის გამო, რომ ფოსფორი უმნიშვნელოვანესია სიცოცხლის არსებობისთვის, აუცილებელია კაცობრიობამ ისწავლოს მისი შენახვა და უკეთესად გადამუშავება“.

სწორედ ფოსფორშემცველი ნაერთების გადამუშავებას და ახალი ნაერთების სინთეზს ეძღვნება წინამდებარე სამუშაო, უფრო კონკრეტულად, არაორგანული პოლიმერების კლასის წარმომადგენლების – ერთ- და სამვალენტიანი ლითონების შემცველი ორმაგი კონდენსირებული ფოსფატების მიღებას, მათი შედგენილობის დადგენას ანალიზის ოპტიმალური მეთოდიკების შემუშავებით.

თანამედროვე მსოფლიოს სამეცნიერო წრეებში დიდი ყურადღება ეთმობა არაორგანული პოლიმერების მიზანმიმართულ სინთეზს, აგებულების დადგენასა და თვისებების შესწავლას [1 – 4]. კონდენსირებულ ნაერთთა თვისებებს რაც შეეხება, უნდა აღინიშნოს, რომ საკმაოდ მაღალი კატალიზური აქტივობა ახასიათებს ვანადიუმის ფოსფატებს, რომლებიც ანალოგიურად გალიუმის ფოსფატებისა, გამოიყენება ორგანული სინთეზის რეაქციებში. ევროპიუმის კონდენსირებული ფოსფატები პერსპექტიულია როგორც ფოტო- და კათოდლუმინესცენტური მასალები, ხოლო სკანდიუმის ფოსფატების საფუძველზე მიღებულია იზოტოპების დასაფიქსირებელი მატრიცები, მაღალტემპერატურული შემკვრელი მასალები, ზეგამტარები. იშვიათი ელემენტების ბაზაზე შექმნილი ფოსფორშემცველი ლუმინოფორები ფრიად საინტერესოა ახალი ტექნიკის დარგებისათვის. ზოგიერთი ეს ნაერთი ნანომასალადაც კი მოიაზრება [4 - 6]. პოლიფოსფატებში ფოსფორის მაღალი შემცველობისა და მათი თერმომედეგობის გათვალისწინებით ისინი გამოიყენება როგორც საბაზისო შემადგენელი კომპონენტი ფოსფორული მინების წამოებისას. ლუმინესცენციის ჩაქრობის დაბალი კონცენტრაციული მაჩვენებელი და მაღალი კვანტური გამოსავალი განსაზღვრავენ მაღალკონდენსირებული ულტრაფოსფატების, ასევე Nd-ისა და ტუტე ლითონების ორმაგი პოლიფოსფატების გამოყენებას კვანტურ ელექტრონიკაში, კერძოდ, მინიატურული ლაზერული მოწყობილობების დასამზადებლად [3, 7 – 11], რაც უდავოდ გამართლებულია ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც.

კონდენსირებული ფოსფატების ქიმიის სწრაფი განვითარება ბოლო ათწლეულებში განპირობებულია არაორგანული პოლიმერებისადმი, როგორც ნაერთთა

ახალი კლასისადმი, დიდი ინტერესით და კვლევის პროგრესული მეთოდების დანერგვით, აგრეთვე, კრისტალოქიმიის დარგში უახლესი მიღწევებით.

უკანასკნელ ხანებში ერთ- და სამვალენტური ლითონების დღემდე უცნობი კონდენსირებული ნაერთების მიღების ექსპერიმენტები ტარდებოდა ი. ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტის რ. აგლადის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტში. მ. ავალიანის ხელმძღვანელობით ჩამოყალიბებული სამეცნიერო ჯგუფის კვლევის საგანს სწორედ კონდენსირებული ფოსფატების სინთეზის პირობების დეტალური შესწავლა წარმოადგენდა. კვლევებმა შედეგი გამოიღო და საერთაშორისო დონის მეცნიერთა ყურადღებაც მიიპყრო. პირველად მსოფლიოში მოხდა ფრიად საინტერესო და უნიკალური თვისებების მქონე სხვადასხვა არაორგანული პოლიმერის – მაგალითად, გალიუმის, ალუმინისა და, ზოგიერთ შემთხვევაში, ინდიუმის ტუტე ლითონის ზოგიერთი ორმაგი ფოსფატების სინთეზი და კვლევა [3, 7 – 14].

ინტერესი ამ ტიპის ნაერთების მიმართ განპირობებულია მათი გამოყენების ფართო შესაძლებლობებით. კვლევებით დადგენილია, აგრეთვე, რომ ციკლურ ორმაგ კონდენსირებულ ნაერთებს აქვთ სტრუქტურულად საკმაოდ დიდი – 5.2 Å დიამეტრის ღრუები, რომლებიც მათი დაბალმოლეკულური გაზების დსმყოფ ადსორბენტად გამოყენების კარგ შესაძლებლობას იძლევიან [14, 15]. ფოსფატები გამოიყენება აგრეთვე მედიკამენტების სახით და კბილების მაცემენტებელ მასალებად მედიცინაში [16 – 20].

წინამდებარე ნაშრომი ფუნდამენტური კვლევების სფეროს მიეკუთვნება. იგი დაფუძნებულია $M_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ მრავალკომპონენტური სისტემებში ახალი კონდენსირებული ნაერთების – არაორგანული პოლიმერების მიღებაზე მაღალტემპერატურული (100 – 600 °C) სინთეზით. ტექნოლოგია ემყარება პოლიფოსფორმჟავათა ხსნარ-ნალღობებიდან კონდენსაციის გზით დღემდე უცნობი ფორმების – არაორგანული ოლიგომერების, ციკლური ნაერთების ან გრძელჯაჭვიანი პოლიმერული ნაერთების მიღებას.

კვლევის მიზანს შეადგენს ერთ- და სამვალენტური ლითონების შემცველი არაორგანული პოლიმერების – კონდენსირებული ფოსფატების მიღება და მათი შედგენილობის კვლევისათვის ანალიზის ოპტიმალური მეთოდების დადგენა და შესამაბისის მეთოდოლოგიის შერჩევა.

კონდენსირებული ფოსფატების სინთეზი და ფუნდამენტური შესწავლა განხორციელებულია ექსპერიმენტების მთელ სერიათა საფუძველზე. დაგროვილია მნიშვნელოვანი სამეცნიერო გამოცდილება პერსპექტიული ორმაგი კონდენსირებული ოლიგო-, პოლი- და ციკლოფოსფატების სინთეზის, მათი აგებულების დადგენისა და თვისებების შესწავლის სფეროში. მიზნად დასახული იყო დღემდე უცნობი, ერთ- და სამვალენტური ლითონების ორმაგი კონდენსირებული ნაერთების მიღება მრავალკომპონენტური სისტემების $M_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ კვლევისას ტემპერატურულ ინტერვალში 330 – 340 °C, სადაც M^I არის Ag, ხოლო M^{III} – Ga და Sc.

პრობლემის კვლევის წინაისტორია ასეთია. პოლივალენტური ლითონების კონდენსირებული ფოსფატების სინთეზისა და კვლევას თავდაპირველად საფუძველი ჩაეყარა გერმანიაში ბერლინის ქიმიის ცენტრალურ ინსტიტუტში და ჰალეს კვლევით ცენტრში (დოქტორები ტილო და გრუნცე) და პარალელურად ყოფილ საბჭოთა კავშირში მოსკოვის ნ. კურნაკოვის სახ. ზოგადი და არაორგანული ქიმიის ინსტიტუტში (აკად. ი. ტანანაევის მკვლევართა ჯგუფი) [2 – 6], ასევე საფრანგეთის უნივერსიტეტებსა და კვლევით ინსტიტუტებში [3, 7 – 9].

ბოლო ათწლეულის მანძილზე ახალი – დღემდე უცნობი ერთ- და სამვალენტური ლითონების კონდენსირებული ნაერთების მიღების ექსპერიმენტები ტარდებოდა ი. ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტის რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტში. აქ ჩამოყალიბებული ჯგუფის კვლევის საგანს სწორედ კონდენსირებული ფოსფატების სინთეზის პირობების დეტალური შესწავლა წარმოადგენდა. თუმცა, შესწავლილი იქნა არასრულად – მხოლოდ გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში.

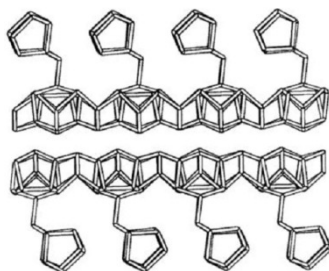
წინამდებარე სამუშაოს სიახლე მდგომარეობს არსებული ხარვეზის გამოსწორებაში, კონკრეტულად კი სისტემის $M_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$ კვლევა ტემპერატურულ ინტერვალში 100 – 600 °C ახალი კონდენსირებული ნაერთების მიღების მიზნით და ამ ნაერთების აგებულების დადგენა ქიმიური და რენტგენოფაზური ანალიზების დახმარებით.

გარდა ამისა, კვლევის არსებული მეთოდიკების ურთიერთშედარებით შერჩეულია კონდენსირებულ ნაერთებში ფოსფორის, ერთ- და სამვალენტური ლითონების განსაზღვრის ოპტიმალური მეთოდიკები. დამუშავებულია საკითხზე არსებული როგორც ბეჭდვითი სამეცნიერო ლიტერატურის მონაცემები, ასევე – ინტერნეტით მოძიებული უახლესი სამეცნიერო პუბლიკაციები.

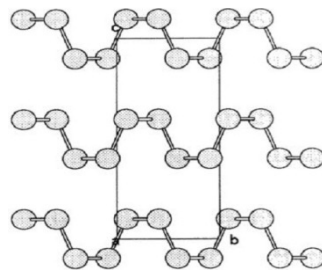
2. ფოსფორის, მისი ალოტროპული სახეობებისა და ძირითადი ნაერთების შესახებ თანამედროვე შეხედულების მოკლე მიმოხილვა

ბუნებაში ფოსფორი არ არსებობს თავისუფალ მდგომარეობაში. ფოსფორი სხვადასხვა კომბინაციის სახით ხშირად გვხვდება მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ნაერთებში. ის ასევე გვხვდება ფოსფატების სახით, როგორცაა აპატიტის (კალციუმის ფოსფატის ფორმა) მთიანი ქანების ფორმირები, რომელთა დიდი საზადოები მოიპოვება ამერიკის შეერთებულ შტატებში (ტენესისა და ფლორიდის შტატები), ზოგიერთ ადგილას ჩრდილოეთ აფრიკაში და წყნარი ოკეანის კუნძულებზე.

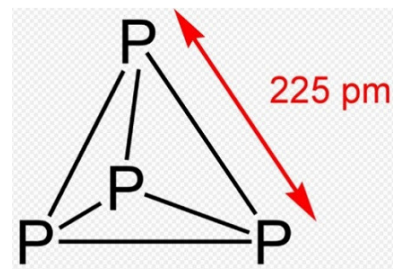
ფოსფორის ალოტროპული სახეობებია წითელი, შავი და თეთრი ფოსფორი. მათი აგებულებები მოცემულია **სურათებზე 1 – 3** [1, 2].



სურათი 1. P-P ბმები წითელ ფოსფორში.



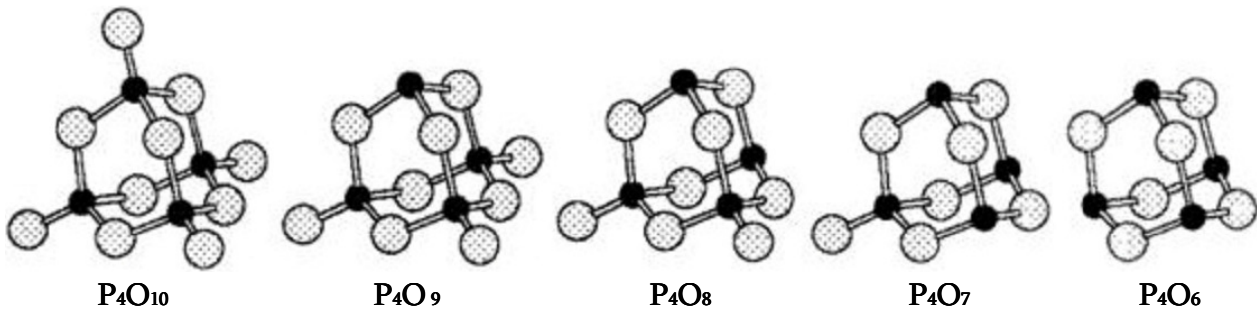
სურათი 2. შავი ფოსფორის ორთორომბული ფორმა.



სურათი 3. თეთრი ფოსფორის ტეტრაედრული კონფიგურაცია.

არსებობს იისფერი ფოსფორიც. ფოსფორის ყველა ზემოთ მოტანილი ფორმა მყარია, გაზური ფოსფორი არსებობს დიფოსფორის სახით ანდა – ატომურ მდგომარეობაში.

მოკლედ დავახასიათოთ ფოსფორის ჟანგბადური ნაერთები და მათი აგებულება. ფოსფორის ხუთი ოქსიდის ფორმულა და აგებულება მოცემულია **სურათზე 4**.



სურათი 4. ფოსფორის ოქსიდების აგებულება.

ფოსფორის(III) ოქსიდი, P_4O_6 (ტეტრაფოსფორ ჰექსოქსიდი) და ფოსფორის(V) ოქსიდი, P_4O_{10} (ტეტრაფოსფორ დეკოქსიდი) წარმოადგენენ ფოსფორის ოქსიმჟავების ანჰიდრიდებს. ისინი ადვილად შედიან რეაქციაში წყალთან. P_4O_{10} კარგი წყალწამრთმევი აგენტია. მას შეუძლია წყალი წაართვას აზოტმჟავას HNO_3 .

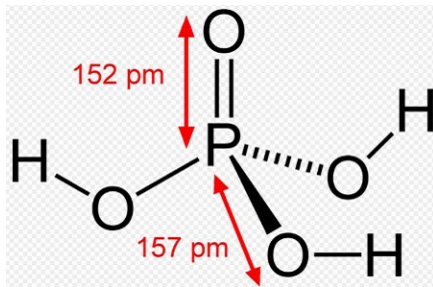
P_4O_6 -ის სტრუქტურა მსგავსია P_4 ტეტრაედრული კონფიგურაციისა, სადაც ყოველი P-P ბმა მყარდება ჟანგბადის მეშვეობით. აგრეთვე აღსანიშნავია, რომ P_4O_{10} -ის აღნაგობა მსგავსია P_4O_6 -ის აღნაგობისა. განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ ფოსფორის ყოველი ატომი დამატებითი ორმაგი ბმით უშუალოდ უკავშირდება ჟანგბადის ატომს.

ცხრილი 1. ფოსფორის მჟავები.

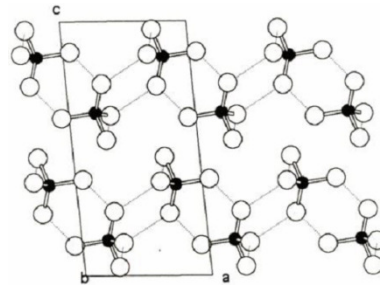
დაჟანგულობის ხარისხი	ფორმულა	დასახელება	მჟავური პროტონი	ნაერთები
+ 1	H_3PO_2	ჰიპო-ფოსფოროვანი მჟავა	1	საშუალო და მჟავა მარილები
+ 3	H_3PO_3	ფოსფოროვანი მჟავა	2	მარილები
+ 5	$(HPO_3)_n$	მეტაფოსფორ-მჟავა	n	მარილები ($n = 3, 4$)
+ 5	$H_5P_3O_{10}$	ტრიფოსფორ-მჟავა	3	საშუალო და მჟავა მარილები (ტრიფოსფატები)
+ 5	$H_4P_2O_7$	ჰიპოფოსფორ-მჟავა	4	საშუალო და მჟავა მარილები (დიფოსფატები)
+ 5	H_3PO_4	ფოსფორ-მჟავა	3	საშუალო და მჟავა მარილები

ფოსფორის ოქსიმჟავები შეიცავენ მჟავურ პროტონებს, რომლებიც უკავშირდებიან ჟანგბადს და არამჟავურ წყალბადის ატომებს, რომლებიც პირდაპირ უკავშირდებიან ფოსფორის ატომს. ფოსფორი წარმოქმნის სხვადასხვა ოქსიმჟავებს, რომელთაგან უმნიშვნელოვანესია სამი: ჰიპოფოსფოროვანი მჟავა, ფოსფოროვანი მჟავა და ორთო-ფოსფორმჟავა (იხ. ცხრილი 1).

ორთოფოსფორმჟავას აგებულება მოტანილია სურათებზე 5 და 6.



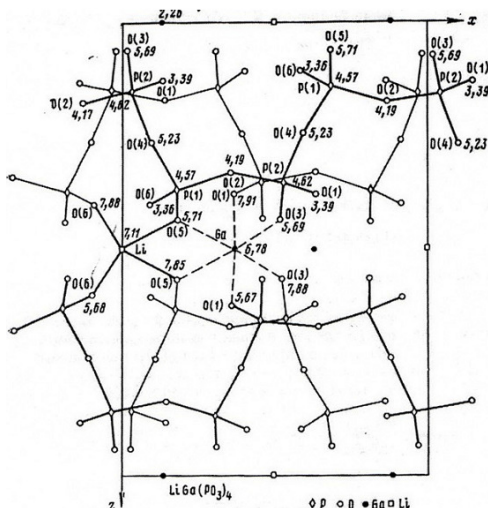
სურათი 5. ორთოფოსფორ-მჟავას სივრცული აგებულება.



სურათი 6. ორთოფოსფორ-მჟავას სქემატური აგებულება a b c სიბრტყეზე.

3. კონდენსირებული ფოსფატები და მათი სინთეზი ფოსფორმჟავის ხსნარ-ნალღობებიდან

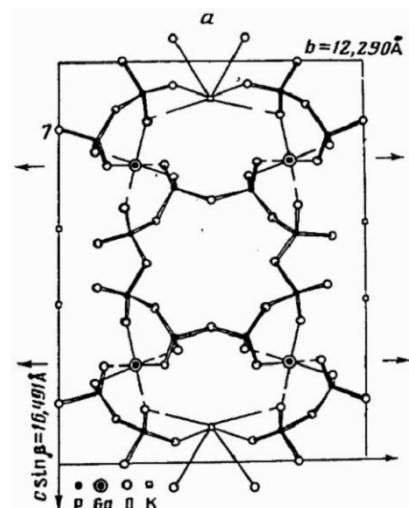
ფოსფორს და მის ნაერთებს აქვთ პოლიმერიზაციის / კონდენსაციის უნარი, ზოგიერთი მკვლევარი ბევრ ანალოგიას ხედავს ფოსფორს, ნახშირბადას და სილიციუმს შორის, მათი ნაერთების მკვეთრად გამოხატული კონდენსაციის / პოლიმერიზაციის უნარის გამო [1 – 5].



სურათი 7. ლითიუმ-გალიუმის გრძელჯაჭვიანი პოლიფოსფატის სტრუქტურა x ღერძის გასწვრივ.



სურათი 8. ლითიუმ-გალიუმის გრძელჯაჭვიანი პოლიფოსფატის სტრუქტურის ელემენტარული რგოლის ფრაგმენტი.



სურათი 10. კალიუმ-გალიუმის ორმაგი ციკლოქტაფოსფატის სტრუქტურა x ღერძის გასწვრივ.

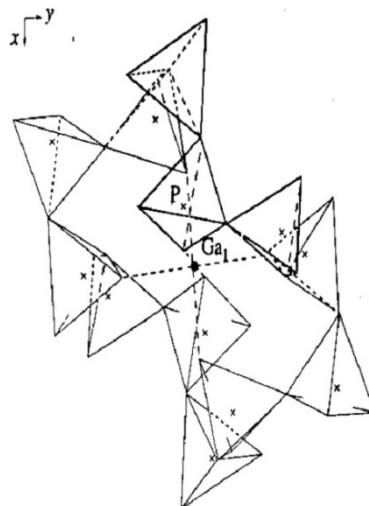
კონდენსირებული ფოსფატების შესახებ ინფორმაციის პირველწყაროდ მიჩნეულია ბერცელიუსი [1]. მის შემდეგ დროის საკმაოდ დიდი პერიოდი გავიდა, სანამ ნაერთთა ამ კლასის მიმართ ინტერესი გააქტიურდებოდა. ეს ინტერესი მე-20 საუკუნის 90-იანი წლებისათვის უფრო თვალსაჩინო გახდა. 21-ე საუკუნის ბოლო ათწლეულში კი კონდენსირებულმა ნაერთებმა, როგორც არაორგანულმა პოლიმერებმა, მრავალი ქვეყნის მეცნიერთა კიდევ უფრო მეტი ყურადღება მიიპყრო, რასაც მოწმობს მათი სამეცნიერო პუბლიკაციები. აქვე უნდა ითქვას, რომ შედარებით ნაკლებად არის

შესწავლილი მრავალვალენტური ლითონების კონდენსირებული ფოსფატები. კიდევ უფრო მწირია მათი სინთეზისა და კვლევის შესახებ დასაბუთებული მონაცემები. თუმცა, საკმაოდ ფართოდაა გამოუქმებული ზოგადად ფოსფატების გამოყენების სფეროები [2 – 7, 12 – 15, 21].

როგორც ზემოთ აღინიშნა, უკანასკნელი ათწლეულის მანძილზე ახალი – დღემდე უცნობი ერთ- და მრავალვალენტური ლითონების კონდენსირებული ნაერთების მიღების ექსპერიმენტები ტარდებოდა ი. ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტის რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტში. კვლევებმა შედეგი გამოიღო და საერთაშორისო დონის მეცნიერთა აღიარება მოიპოვა, რაზეც მეტყველებს მათი ციტირებები სინთეზირებულ ციკლურ და პოლიმერულ ნაერთებზე [1, 2, 15 – 19]. აღსანიშნავია ფრიად საინტერესო და უნიკალური თვისებების მქონე ლითიუმ-გალიუმის გრძელჯაჭვიანი პოლიფოსფატისა და კალიუმ-გალიუმის ციკლოოქტაფოსფატის სინთეზი და კვლევა. შესწავლილია მათი შესაბამისი სტრუქტურები (იხ. **სურათები 7 – 10**).

ქართველი მეცნიერების მიერ ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტში სინთეზირებული კალიუმ-გალიუმის ორმაგი ციკლოოქტაფოსფატის შესახებ მონაცემები და სტრუქტურის აღწერა შესულია ამერიკის შეერთებული შტატების NASA-ის მონაცემთა ბაზაში, ამ ნაერთის უნიკალურობის და საინტერესო თვისებების გამო.

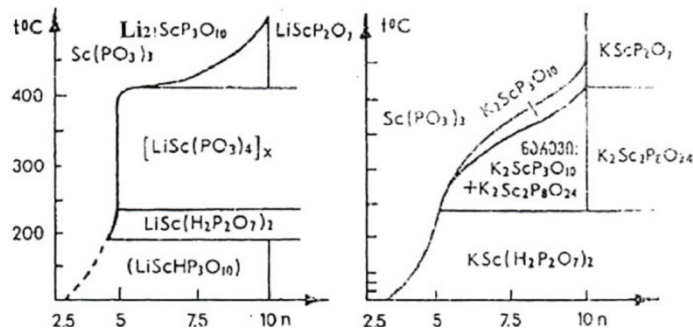
ინტერესი ამ ტიპის ციკლური თუ გრძელჯაჭვიანი ნაერთების მიმართ განპირობებულია მათი გამოყენების ფართო შესაძლებლობებით. კვლევებით დადგენილი იქნა აგრეთვე, რომ ციკლურ ორმაგ კონდენსირებულ ნაერთებს აქვთ სტრუქტურულად საკმაოდ დიდი, 5.2 Å დიამეტრის, ღრუები, რომლებიც მათი აღსორბენტად გამოყენების კარგ შესაძლებლობას იძლევა დაბალმოლეკულური გაზების დასაყოფად [8 – 11, 14, 17, 21]. მსგავსი არაორგანული ორმაგი ციკლური ნაერთი საერთოდ არ ყოფილა ადრე სინთეზირებული.



სურათი 11. ცეზიუმ-გალიუმის ორმაგი ციკლო-დოდეკაფოსფატის სტრუქტურა x y სიბრტყეზე.

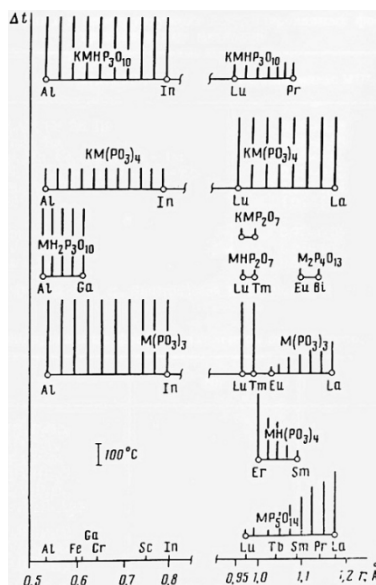
სინთეზირებულია, აგრეთვე, ორმაგი ციკლოდოდეკაფოსფატებიც, თუმცა, მონაცემები მათზე ძალიან მცირეა, ასეთი ტიპის ნაერთთა იშვიათობის გამო. მხოლოდ

ვანადიუმისა და გალიუმის ორმაგი ციკლოდოდეკაფოსფატები არის ცნობილი [1, 2, 21 – 23]. მ. ავალიანის მიერ თანაავტორებთან ერთად შესწავლილი იქნა ცეზიუმ–გალიუმის შემცველი სისტემა სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში და შრომებში [11, 22 – 24] დაფიქსირებულია ცეზიუმ–გალიუმის ორმაგი ციკლოდოდეკაფოსფატის სინთეზისა და სტრუქტურის (სურათი 11) შესახებ ინფორმაცია.



სურათი 12. სკანდიუმისა და ტუტე ლითონის შემცველი სისტემების კვლევისას 100 – 500 °C ტემპერატურულ ინტერვალში მიღებული არაორგანული პოლიმერები.

ზემოთ აღნიშნულ ინსტიტუტში მიღებულია სხვადასხვა არაორგანული პოლიმერი ერთ- და სამვალენტიანი ლითონების კომბინაციით. მაგალითისთვის მოვიტანთ სკანდიუმისა და ტუტე ლითონის ორმაგი ფოსფატის სინთეზისა და კვლევის შედეგებს სქემის სახით (სურათი 12). აბსცისთა ღერძზე დატანილია საწყისი კომპონენტების მოლური თანაფარდობა $n = M_2O / Sc_2O_3$, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – სინთეზის ტემპერატურა. სურათიდან ჩანს, თუ რომელ ტემპერატურაზე და რა საწყისი თანაფარდობებისას არის სინთეზირებული ორმაგი მჟავა ტრიფოსფატები $M_2ScHP_3O_{10}$, ორმაგი მჟავა დიფოსფატები $MSc(H_2P_2O_7)_2$, ციკლოდოდეკაფოსფატი $M_2ScP_8O_{24}$ და პოლიფოსფატი $(MSc(PO_3)_4)_x$.



სურათი 13. კონდენსირებული ფოსფატების აგებულების დამოკიდებულება ნაერთებში შემავალი ლითონის იონურ რადიუსზე.

სხვადასხვა მკვლევრების მიერ მიღებული ერთ- და სამვალენტური ლითონების ორმაგი კონდენსირებული ფოსფატების აგებულების დამოკიდებულება იონურ რადიუსზე სქემატურად იხ. **სურათზე 13**. შრომებში [1, 2, 10, 24 – 26] გაკეთებულია დასკვნა, რომ რაც მეტია იონური რადიუსი და სინთეზის ტემპერატურა, მით მეტია დიდი ციკლების ან გრძელჯაჭვიანი პოლიმერული ნაერთების წარმოქმნის ალბათობა.

საინტერესოა გაირკვეს, თუ რატომ არის ესოდენ პერსპექტიული კონდენსირებული ფოსფატები ანუ არაორგანული პოლიმერები? უპირველესად, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ეს გამოიხატება მათი გამოყენების ფართო შესაძლებლობებში ფოტო- და კათოდლუმინესცენტურ მასალებად, მაღალეფექტურ, ეკოლოგიურად სუფთა კატალიზატორებად, მაცემენტებელ და შემკვრელ აგენტებად. პოლიფოსფატებში ფოსფორის მაღალი შემცველობის და მათი თერმომედეგობის გათვალისწინებით ისინი გამოიყენება, როგორც საბაზო კომპონენტები ფოსფორული მინების წარმოებისას. მაღალი კვანტური გამოსავალი განსაზღვრავს ულტრაფოსფატებისა და ორმაგი პოლიფოსფატების გამოყენებას კვანტურ ელექტრონიკაში, რაც სავსებით გამართლებულია ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც. უნიკალური არაორგანული პოლიმერები – კონდენსირებული ფოსფატები – გამოიყენება კვების მრეწველობაში, სარეცხი საშუალებების წარმოებისას და ა.შ.

მრავალი კონდენსირებული ფოსფატი უნიკალური და საინტერესო თვისებებით გამოირჩევა სწორედ იმის გამო, რომ ისინი მიეკუთვნებიან არაორგანული პოლიმერების კლასს, რომელთაც განსაკუთრებულად მდიდარი და რთული ქიმიური ბუნება აქვთ და საინტერესო თვისებების მრავალფეროვანი ერთობლიობა ახასიათებთ, რაც განაპირობებს მათი გამოყენების კიდევ უფრო დიდ პერსპექტივებს სამომავლოდ.

სინთეზირებული სამვალენტური ლითონის ორმაგი კონდენსირებული ნაერთების გამოცდისას კატალიზურ აქტიურობაზე დადგინდა, რომ ისინი აქტიურობით აღემატებიან ცეოლიტურ კატალიზატორს. ზოგი მათგანი საუკეთესო კატალიზატორია ოლეფინური ნახშირწყალბადების მიღებისას. ამ ნაერთებს გააჩნიათ სტრუქტურულად დიდი ღრუები, რაც მათი ადსორბენტად გამოყენების კარგ შესაძლებლობას იძლევა დაბალმოლეკულური გაზების დასაყოფად, ამასთანავე ფრიად გამართლებულია მათი გამოყენება ნანოტექნოლოგიებისა და ახალი მიდგომების განვითარების ჭრილში [5, 6]. ფოსფატები გამოიყენება აგრეთვე მედიკამენტების სახით და კბილების მაცემენტებელ მასალებად მედიცინაში [13, 16, 19, 20].

უნდა აღინიშნოს, რომ საკმაოდ მაღალი კატალიზური აქტიურობა ახასიათებთ ვანადიუმის ფოსფატებს, რომლებიც, ანალოგიურად გალიუმის ფოსფატებისა, გამოიყენება ორგანული სინთეზის რეაქციებში. ევროპიუმის კონდენსირებული ფოსფატები პერსპექტიულია როგორც ფოტო- და კათოდლუმინესცენტური მასალები, ხოლო სკანდიუმის ფოსფატების საფუძველზე მიღებულია იზოტოპების დასაფიქსირებელი მატრიცები, მაღალტემპერატურული შემკვრელი მასალები, ზეგამტარები, იშვიათი ელემენტების ბაზაზე შექმნილი ფოსფორშემცველი ლუმინოფორები ფრიად საინტერესოა ახალი ტექნიკის დარგებისათვის. საკმაოდ ბევრი ასეთი ნაერთი ნაწარმისადაც მოიაზრება [5, 6, 11 – 15]. ლუმინესცენციის ჩაქრობის დაბალი კონცენტრაციული მაჩვენებელი და მაღალი კვანტური გამოსავალი განსაზღვრავს მაღალკონდენსირებული ულტრაფოსფატების, ასევე Nd-ისა და ტუტე ლითონების ორმაგი პოლიფოსფატების გამოყენებას კვანტურ ელექტრონიკაში, კერძოდ, მინიატურული ლაზერული დანადგარების დასამზადებლად, რაც უდავოდ გამართლებულია ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც.

ზემოთ მოტანილი ლიტერატურის მიმოხილვიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ კონდენსირებული ფოსფატები მეტად საინტერესო არაორგანული პოლიმერების კლასია, რომელთაც უნიკალური და რთული ქიმიური ბუნება აქვთ. ამასთან ერთად, მათ ისეთი თვისებების სპექტრი ახასიათებთ, რომელთა გათვალისწინებითაც მათი გამოყენების ფართო პერსპექტივები უდავოა. ამას ამტკიცებს მსოფლიოს მეცნიერთა დიდი ინტერესი ასეთი ნაერთების სინთეზის და მათი გამოყენებადობის გზების ძიების მიმართ.

4. სინთეზირებულ კონდენსირებულ ნაერთთა შედგენილობაში შემავალი სამვალენტურიანი ლითონების განსაზღვრის ძირითადი მეთოდები

სამეცნიერო ლიტერატურაში მონაცემები კონდენსირებულ ნაერთთა შედგენილობაში შემავალი სამვალენტურიანი ლითონების განსაზღვრის ძირითადი ხერხების შესახებ არც თუ მრავალფეროვანია. შეიძლება აღინიშნოს ლ. კომისაროვას მონოგრაფია, მ.-ტ. ავერბუხ-პუშოს და ა. დიურიფის შრომები, რომლებშიც მხოლოდ ზოგადი, მწირი ინფორმაციაა მოტანილი [1, 2, 17, 18]. დეტალურად განვიხილეთ ვრცელი შრომები [26, 29], რომლებშიც აღწერილია კონდენსირებულ ფოსფატებში კონკრეტულად გალიუმის, ინდიუმისა და სკანდიუმის გრავიმეტრულად განსაზღვრის მეთოდები. ცხრილში 2 მოტანილია სკანდიუმის განსაზღვრის გრავიმეტრული მეთოდების ნეგატიური მხარეები [23, 27].

ცხრილი 2. სკანდიუმის განსაზღვრის გრავიმეტრული მეთოდები.

მეთოდი	ნეგატიური მხარეები
ჰიდროქსიდის სახით დალექვა	ნალექი ოქსიდამდე Sc_2O_3 უნდა იყოს გამომწვარი
თიოსულფატის გამოყენება	ძნელია სკანდიუმის გამოყოფა; რჩება გოგირდი
სილიკატურ-ფტორიდულ-წყალბადური	ძნელია სკანდიუმის გამოყოფა; რჩება SiF_6^{2-}
ტარტრატული ფუძე-მეთოდი	ნალექი ოქსიდამდე Sc_2O_3 უნდა იყოს გამომწვარი; აქვს მაღალი წონითი ფაქტორი
ოქსალატების დალექვა	არარაოდენობრივი მეთოდია
დალექვა პირიდინის ბუფერით	ნალექი ოქსიდამდე Sc_2O_3 უნდა იყოს გამომწვარი

ლიტერატურული მონაცემების სკრუპულოზური გაანალიზების შედეგად დავასკვნით, რომ ყველაზე უპრიანი იქნებოდა სამვალენტურიანი ლითონების განსაზღვრა ოქსიქინოლინის გრავიმეტრული მეთოდით [23, 27, 28]. ცხრილში 3 ასახულია სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ნალექის შედგენილობაზე და ანალიზის სიზუსტეზე. ეს ფაქტორებია: ბუფერის ოდენობა, აღებული წონაკის მასა, დამლექვის pH-ის გავლენა, საკვლევი ხსნარის pH დალექვამდე, ხსნარის pH-ის გავლენა გამოლექვის შემდეგ, ნალექის დაყოვნების დრო და სხვა.

ცხრილი 3. სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ნალექის შედგენილობასა და ანალიზის სიზუსტეზე.

ექსპერიმენტის #	წონაკი, გ	ოქსინის ოდენობა, მლ	ბუფერის რაოდენობა, მლ NH ₄ OH CH ₃ COOH	ნალექის რაოდენობა, გ	pH დალექვამდე	pH დალექვის შემდეგ	სკანდინიუმის თეორიული რაოდენობა: Sc, გ ან Sc ₂ O ₃ , %	გამოსავალი: Sc, გ ან Sc ₂ O ₃ , %	შენიშვნა – სხვა ფაქტორების გავლენა
1	Sc(NO ₃) ₃ 0.2018	5.0	NH ₄ OH CH ₃ COOH 15 30	0.0585	6.0	9.0	Sc 0.0044	Sc 0.0042	ცხელი ხსნარის გაფილტვრა
2	–	6.0	15 30	0.0609	6.0	8.0	–	Sc 0.0044	ხსნარის გაფილტვრა დალექვიდან 30 წთ შემდეგ
3	–	8.0	15 30	0.0567	6.0	8.5	–	Sc 0.0041	გაფილტვრა დალექვის შემდეგ; ცხელ წყალში ხსნადობა მეტია – შედეგი დაქვეითებულია
4	–	8.2	20 30	0.0757	6.0	8.0	–	Sc 0.0054	გაფილტვრა დალექვიდან 2.5 სთ შემდეგ; მატება, გამოწვეული ოქსინის კრისტალიზაციით
5	–	9.0	15 30	0.0646	6.0	8.0	–	Sc 0.0046	ხსნარის გაფილტვრა დალექვიდან 15 – 20 წთ შემდეგ
6	–	10.0	20 30	0.0649	6.0	8.2	–	Sc 0.0046	
7	–	10.0	20 30	0.0649	6.0	8.2	–	Sc 0.0046	
8	Sc(NO ₃) ₃ 0.2960	10.0	26 30	0.0985	1.2	8.5	Sc ₂ O ₃ 24.56	Sc ₂ O ₃ 24.60	დიდი რაოდენობით იქნა აღებული ბუფერი: pH=1 (t _{სინთ.} =255°C)
9	«	8.0	25 30	0.1000	1.2	8.5	Sc ₂ O ₃ 24.56	Sc ₂ O ₃ 25.00	
10	Na ₃ ScP ₈ O ₂₃ 0.1613	3.5	15 30	0.0142	6.0	8.5	Sc ₂ O ₃ 5.20	Sc ₂ O ₃ 3.60	არასრული დალექვა ოქსინის სიმცირის გამო (t _{სინთ.} =410°C)
11	0.1613	4.5	15 30	0.0180	6.0	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 4.10	გაფილტვრა დალექვიდან 3 წთ შემდეგ
12	0.2189	5.0	–	0.0132	6.2	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 4.03	გაფილტვრა დალექვიდან 4 წთ შემდეგ
13	0.2187	6.0	–	0.0119	6.2	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 4.03	გაფილტვრა დალექვიდან 4 წთ შემდეგ
14	0.2189	6.0	«	0.0129	6.2	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 4.17	გაფილტვრა დალექვიდან 5 წთ შემდეგ
15	0.1613	8.0	–	0.1118	6.2	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 5.01	გაფილტვრა დალექვიდან 10 – 15 წთ შემდეგ
16	0.1613	8.0	–	0.1121	6.0	8.5	–	Sc ₂ O ₃ 5.02	გაფილტვრა დალექვიდან 15 – 20 წთ შემდეგ

ჩვენს მიერ განხილული და აპრობირებულია სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული ვერცხლის განსაზღვრის ატომურ-აბსორბციული და მოცულობითი მეთოდები და ფოსფორის განსაზღვრის ფოტომეტრული და გრავიმეტრული მეთოდები [25 – 27, 29 – 37].

5. მეთოდები

საწყისი მასალა – საწყისი კომპონენტები იყო: H_3PO_4 (85 %), $AgNO_3$, M_2O_3 ხოლო სინთეზის ტემპერატურული ინტერვალი – 100 – 600 °C.

სინთეზირებული არაორგანული პოლიმერების ანუ მიღებული კონდენსირებული ფოსფატების შედგენილობის დასადგენად გამოყენებულ იქნა გრავიმეტრული, ფოტომეტრული, მოცულობითი და ატომურ-აბსორბციული ანალიზის მეთოდები.

არსებული სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე ჩვენ მიერ სამვალენტიანი ლითონების განსაზღვრისთვის გრავიმეტრული – ოქსიქინოლინის მეთოდი შერჩეულ იქნა შემდეგი არგუმენტების გათვალისწინებით:

- შედარებით მცირე წონაკის გამოყენების შესაძლებლობა;
- ანალიზის ძალიან მაღალი სიზუსტე და საუკეთესო განმეორებადობა;
- განსაზღვრის შედარებით მარტივი მეთოდი.

კონდენსირებულ ნიმუშებში Ga-ის, In-ისა და Sc-ის გრავიმეტრული განსაზღვრის პარალელურად, ეს ლითონები ასევე განისაზღვრება კომპლექსომეტრიით, სპექტროფოტომეტრიითა და რენტგენოსპექტრალური ანალიზით (ამ შემთხვევაში, კვლევა შესრულდა JEOL JSM-6510LV X-MaxN20 რენტგენის ანალიზატორით). ლიტერატურის მონაცემებზე [25 – 37] დაყრდნობით შეიძლება ითქვას, რომ აღნიშნული სამვალენტიანი ლითონების გრავიმეტრული განსაზღვრა ორთო-ოქსიქინოლინის გამოყენებით სრულიად გამართლებულია და ოპტიმალურია. დასკვნა მართებულია მიღებული შედეგებიდან და ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდის ურთიერთშედარებიდან გამომდინარე.

ვეცადეთ ერთგვარი დეტალიზაცია და ზოგიერთი კორექცია შემოგვეტანა ლიტერატურაში აღწერილ მეთოდებში და გადაგვემოწმებინა ზემოთ აღნიშნული გრავიმეტრული მეთოდის გამოყენება კონკრეტულად ჩვენ მიერ სინთეზირებული ორმაგი კონდენსირებული ფოსფატების ნიმუშებში სკანდიუმისა და გალიუმის გრავიმეტრული განსაზღვრისათვის, აგრეთვე, შეგვეჯერებინა ის სხვა ცნობილ მეთოდებთან. ნაერთები შესწავლილ იქნა რენტგენოფაზური ანალიზის მეშვეობითაც. ფხვნილის დიფრაქციული ინტენსივობის მონაცემების შეგროვება განხორციელდა DRON-3M რეფრაქტომეტრზე ანოდური $Cu-K\alpha$ გამოსხივებით ინტერვალში $2\theta = 10 - 60^\circ$, დეტექტორის სიჩქარეზე $2^\circ/წთ$. იზომებოდა ფარდობითი ინტენსივობა I/I_0 . გამოყენებულია სტანდარტული მონაცემების მოდელი – American Society for Testing and Materials (ASTM).

მეთოდიკების შესაბამისი ხსნარების წინასწარი მომზადება

0.10 – 0.15 გ წონაკს ვადულებთ კალიუმის ტუტესთან ერთად ან, რაც კიდევ უკეთესია, შევალდობთ 3 – 4 მარცვალ კალიუმის ტუტესთან. შემდეგ ვახდენთ ჰიდროლიზირებას კონცენტრირებულ მარილმჟავასთან ერთად გაცხელებით და მიღებულ ხსნარს შეგრილების შემდეგ შევავსებთ 50 მლ-მდე საზომ კოლბაში. ეს ხსნარი გამოიყენება როგორც ფოსფორის, ასევე – გალიუმის განსაზღვრისათვის.

ფოსფორის განსაზღვრა ქინოლინ-მოლიბდატური მეთოდით

წინასწარ მომზადებული ზემოთ აღწერილი ხსნარიდან ვიღებთ ალიქვოტურ ნაწილს 5 მლ-ის ოდენობით, რომელსაც დავამატებთ დაახლოებით 200 მლ გამოხდილ წყალს და ვაცხელებთ ადუღებამდე. შემდეგ ვამატებთ 25 მლ მოლიბდატურ რეაქტივს და თანდათანობით, წვეთ-წვეთობით, ვამატებთ ქინოლინის ხსნარს. იწყება დალექვა. ნალექს ვაყოვნებთ დაახლოებით საათნახევრით, შემდეგ ვფილტრავთ ფორებიან ტიგელში G4. გაფილტრულ ნალექს ვაშრობთ საშრობ კარადაში 130 – 140 °C-ზე დაახლოებით 1 სთ-ის განმავლობაში. ფოსფორზე გადათვლის ფაქტორია 0.0321.

გალიუმის განსაზღვრის მეთოდიკა ორთო-ოქსიქინოლინით

წინასწარ მომზადებული ზემოთ აღწერილი ხსნარიდან ვიღებთ ალიქვოტურ ნაწილს – 15 მლ-ს, რომელსაც დავამატებთ დაახლოებით 100 მლ გამოხდილ წყალს. ვამატებთ დაახლოებით 3 – 4 ან 5 მლ ორთო-ოქსიქინოლინს, ვაცხელებთ 70 – 80 °C-მდე და წვეთ-წვეთობით ვამატებთ ამიაკის ხსნარს (1:1) სრულ დალექვამდე. ხსნარის ფერი ნალექს ზემოთ უნდა იყოს ბაცი ყვითელი. ამიაკის დამატებიდან 30 – 40 წმ-ის შემდეგ გამოიყოფა ლიმონისფერი ფანტელისებრი ნალექი. დალექილი მასა ანუ ხსნარ-ნალექი უნდა დავტოვოთ წყლის აბაზანაზე 2 სთ-ის განმავლობაში. შემდეგ უნდა გადმოიდგას და დაყოვნდეს 6 – 12 სთ-ის განმავლობაში. გაფილტვრა ხორციელდება G3 ფოროვან ტიგელში წყლის ტუმბოს მეშვეობით, თბილი წყლით. ნალექის გაშრობა ხდება 120 – 130 °C-ზე. Ga-ზე გადათვლის ფაქტორია 0.1389.

5 %-იანი 8-ოქსიქინოლინის ხსნარი 2N ძმარმჟავაში წინასწარ უნდა იქნას მომზადებული.

დასალექად ზოგჯერ ამატებენ არა ამიაკის ხსნარს, არამედ – ბუფერს, რომელიც შედგება 15 მლ 2N NH₄OH-ისა და 30 მლ 2N CH₃COONH₄-ისაგან. ბუფერი ისეა შერჩეული, რომ დალექვის შემდეგ pH იყოს 6.5-დან 8.2-მდე. თუ pH 8.8-ზე მეტია, მაშინ მინარევის სახით AgQ₃·2H₂O გამოილექება, რომელსაც მოყავისფრო ფერი აქვს.

6. კვლევის შედეგები და მათი განხილვა

ორმაგი კონდენსირებული ნაერთების სინთეზის მიზნით ჩატარებულია სკანდიუმის შემცველი მრავალკომპონენტური სისტემების M₂O–M^{III}₂O₃–P₂O₅–H₂O (სადაც M^I არის Ag, ხოლო M^{III} – Ga და Sc) კვლევა ტემპერატურულ ინტერვალში 330 – 340 °C. ვინაიდან ექსპერიმენტების პროცესში ტემპერატურული ინტერვალი საკმაოდ მაღალი იყო და, როგორც ცნობილია, ფოსფორმჟავა განიცდის კონდენსაციას, ფაქტიურად სინთეზი მიმდინარეობდა პოლიფოსფორმჟავების ხსნარ-ნაღობებიდან. ექსპერიმენტები ტარდებოდა სხვადასხვა მოლური თანაფარდობისას. კონკრეტულად კი ის ვარირებდა: $n = Ag/M^{III} = 1.5$ -დან 10.0-მდე სხვადასხვა ექსპერიმენტის დროს. თუმცა, მოლური თანაფარდობა მუდმივი იყო ერთისა და იმავე ცდის პირობებში. ნარევი თავსდებოდა მინა-გრაფიტის ტიგელებში (პარალელურ ცდებში გამოიყენებოდა, აგრეთვე, ნიკელის ტიგელები), რომლებიც, თავის მხრივ, თავსდებოდა თერმოსტატირებულ მუფელის ღუმელში. სადღეღამისო ექსპერიმენტებში გახურება წარმოებდა 3-დან 10 დღემდე, რათა დეტალურად დადგენილიყო შედეგების კორელაცია ტემპერატურასთან, ექსპერიმენტის ხანგრძლივობასთან და კომპონენტების თანაფარდობასთან. სინთეზების მეორე სერიის ხანგრძლივობა უკვე 28 დღეს შეადგენდა. დადასტურდა ჩვენი მოსაზრება, რომ გახურების ხანგრძლივობის ზრდით მატულობს ორმაგი პოლი- ან ციკლოფოსფატების მიღების ალბათობა.

ცხრილი 4. პირველად სინთეზირებული გალიუმ-ვერცხლისა და სკანდიუმ-ვერცხლის ტეტრაფოსფატების რენტგენოფაზური ანალიზის მონაცემები და მათი შედარება სხვა მსგავს ნაერთებთან და ვერცხლის ტრიფოსფატის ASTM-11-642-ის მონაცემებთან.

AgScHP ₃ O ₁₀		Ag ₅ P ₃ O ₁₀		AgSc(H ₂ P ₂ O ₇) ₂ ·(1-2)H ₂ O		NaSc(H ₂ P ₂ O ₇) ₂ ·(1-2)H ₂ O		AgScP ₄ O ₁₂		AgGaP ₄ O ₁₂		NaGaP ₄ O ₁₂	
d _α /n	l/h	d _α /n	l/h	d _α /n	l/h	d _α /n	l/h	d _α /n	l/h	d _α /n	l/h	d _α /n	l/h
-	-	4.81	20	-	-	-	-	4.69	5	4.67	7	4.71	8
4.04	24	-	-	4.04	25	-	-	-	-	4.43	15	4.43	25
-	-	-	-	-	-	4.17	41	-	-	4.20	19	4.27	30
-	-	-	-	-	-	4.00	37	3.94	5	3.94	27	3.94	49
-	-	-	-	-	-	-	-	3.83	100	3.83	80	3.80	15
-	-	3.69	5	-	-	3.67	10	3.63	10	-	-	3.65	8
-	-	3.60	5	-	-	3.59	4	3.56	10	-	-	3.53	5
-	-	-	-	3.43	33	3.49	25	-	-	-	-	-	-
3.36	72	3.37	10	-	-	3.35	29	3.37	31	3.38	38	3.35	16
-	-	3.29	10	3.32	24	-	-	-	-	-	-	3.29	5
3.20	29	3.21	15	-	-	3.24	96	-	-	-	-	3.14	5
-	-	3.15	25	3.08	33	3.18	8	-	-	3.08	23	3.08	10
3.03	9	3.04	15	3.02	30	-	-	3.03	80	3.03	100	3.03	100
-	-	2.96	50	2.98	100	2.98	100	-	-	2.82	18	-	-
-	-	-	-	-	-	2.96	19	-	-	2.75	40	-	-
2.84	100	2.86	95	2.82	55	2.82	52	2.83	19	-	-	2.85	20
-	-	2.76	50	-	-	-	-	2.77	20	2.69	15	2.76	10
-	-	2.72	50	2.74	28	2.74	7	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	2.70	14	2.68	25	2.56	13	-	-
2.64	77	2.60	100	2.64	23	2.62	5	-	-	-	-	2.63	10
2.59	69	-	-	-	-	2.58	4	2.56	15	2.40	19	2.56	3
2.52	14	2.52	30	2.54	32	2.55	7	2.49	16	-	-	2.48	7
2.43	7	2.46	15	-	-	2.47	4	2.41	26	-	-	2.40	3
2.37	8	2.38	10	-	-	2.39	7	-	-	-	-	-	-
-	-	2.33	5	-	-	2.33	6	2.33	6	2.25	15	2.32	29
-	-	-	-	2.31	32	2.30	4	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	2.25	18	-	-	2.25	16	2.15	11	2.20	16
2.21	20	-	-	2.22	18	2.17	12	2.20	12	-	-	-	-
2.13	31	2.15	5	-	-	-	-	-	-	2.06	6	2.14	5
-	-	2.10	5	-	-	2.10	18	-	-	2.03	5	2.13	3
-	-	-	-	2.03	9	2.07	6	2.07	2	-	-	-	-
2.03	20	2.00	10	-	-	2.04	7	-	-	-	-	2.05	3
-	-	1.96	15	-	-	2.02	18	2.00	5	1.89	8	-	-
1.93	11	1.94	5	-	-	1.95	11	1.92	7	-	-	-	-
1.89	10	1.89	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	1.88	10	1.83	21	-	-	1.87	6	1.68	8	1.87	3
1.76	6	-	-	1.75	11	-	-	1.86	6	-	-	1.85	6
1.67	18	-	-	1.68	22	-	-	1.69	6	-	-	-	-
1.64	18	-	-	1.66	28	-	-	-	-	-	-	-	-
1.62	18	-	-	1.64	33	-	-	-	-	-	-	-	-

დადგინდა, რომ სისტემაში მონოვალენტური ლითონების არყოფნის შემთხვევაში სკანდიუმი წარმოქმნის ფოსფორშემცველ ნაერთებს: დაბალ ტემპერატურაზე სკანდიუმის მჟავა ტრიფოსფატს, ხოლო შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე – გრძელჯაჭვიან პოლიფოსფატს $\text{Sc}(\text{PO}_3)_3$. სკანდიუმის მჟავა ტრიფოსფატს $\text{ScH}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$, მსგავსად ავტორების მიერ სინთეზირებული გალიუმის ტრიფოსფატისა $\text{GaH}_2\text{P}_3\text{O}_{10}(1-2)\text{H}_2\text{O}$ [3, 4, 7], სავარაუდოდ, აქვს მკვეთრად გამოხატული იონთმიმომცვლელი თვისებები. ეს დასკვნა კეთდება ამ ნაერთთა გარკვეული იზომორფიზმიდან გამომდინარე. სწორედ ამიტაა განპირობებული მათი გამოყენების ფართო პერსპექტივები, როგორც არაორგანული იონთმიმომცვლელისა.

ცხრილი 5. გალიუმ-ვერცხლის ციკლოდოდეკაფოსფატის რენტგენოვანური ანალიზის მონაცემები და მათი შედარება ცეზიუმ-გალიუმის ანალოგიურ ციკლოდოდეკაფოსფატთან.

$\text{Cs}_3\text{Ga}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$		$\text{AgGaP}_4\text{O}_{12} + \text{Ag}_3\text{Ga}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	
d_n/n	I/I_0	d_n/n	I/I_0
5.09	14	4.69	5
–	–	–	–
4.00	24	3.94	5
–	–	–	–
3.86	100	3.83	100
–	–	–	–
3.59	5	–	–
3.50	20	3.63	10
–	–	3.56	10
3.25	24	3.37	31
3.14	20	–	–
2.94	40	3.03	80
2.83	68	2.83	19
2.76	7	2.77	20
2.68	14	2.68	25
–	–	2.56	15
–	–	2.49	16
2.40	6	2.41	26
2,36	40	2.33	6
2.33	10	2.25	16
2.27	7	2.20	12
2.17	4	–	–
2.14	5	2.07	2
–	–	2.00	5
–	–	1.92	7
–	–	1.87	6
–	–	1.86	6
–	–	1.69	6

სარეაქციო არეში Ag-ის შეტანისას აღებულ იქნა რამდენიმე მოლური თანაფარდობა: 15:2.5:1, 15:5:1, 15:7.5:1, 15:10:1, 15:5:1.5 და 15:7.5:1.5. ეს განპირობებული იყო საწყისი კომპონენტების ურთიერთკორელაციის ოპტიმუმის ძიებით.

სინთეზირებულია უაღრესად საინტერესო ორმაგი არაორგანული პოლიმერი – ციკლოტეტრაფოსფატი, რომელიც იზომორფულია ადრე მიღებული ნატრიუმ-გალიუმის ციკლოტეტრაფოსფატისა [22, 23]. სკანდიუმ-ვერცხლის შემცველი მსგავსი ნაერთები ლიტერატურაში არაა აღწერილი.

ჩვენ მიერ სინთეზირებული კონდენსირებული ნაერთების რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგები ასეთია. რენტგენოგრამები ჩაწერილია DPOH-3M ტიპის რენტგენულ დიფრაქტომეტრზე $\text{Cu-K}\alpha$ ანოდის გამოსხივებით, $2\theta = 100 - 600^\circ$ დიაპაზონში. დეტექტორის სიჩქარეა $2^\circ/\text{წთ}$. საანალიზო ნიმუშებში საწყისი არაორგანული რეაქტივები (Ga_2O_3 , Sc_2O_3 , AgNO_3 და მათი ჰიდრატები) არ აღინიშნება. მიღებულ რენტგენოგრამებზე ფაზათა იდენტიფიცირება მოხდა ამერიკის დიფრაქციული მონაცემების საერთაშორისო ცენტრის (American Society for Testing and Materials – ASTM) ეტალონებთან შედარებით. ვინაიდან კათიონთა აღნიშნული კომბინაციის (Ag-Sc) შემცველი სტანდარტული ორმაგი ფოსფატების (აგრეთვე, დი- და ტრიფოსფატების) რენტგენოფაზური მონაცემები ფაქტიურად არ არის შესწავლილი, მიღებული რენტგენოგრამები შედარდა ნიმუშებთან ახლომდგომი სინთეზირებული ნაერთების სტანდარტულ მონაცემებთან (d_a/n მანძილია კრისტალური მესრის სიბრტყეთა შორის, ხოლო I/I_0 – ფარდობითი ინტენსივობა) – იხ. ცხრილები 4 და 5, და სინთეზის პირობების გათვალისწინებით დადგინდა მიღებული ნიმუშების სავარაუდო შედგენილობა, რაც დადასტურდა კლასიკური ქიმიური მეთოდებითაც.

მოტანილი ცხრილიდან 4 ჩანს გალიუმ-ვერცხლისა და სკანდიუმ-ვერცხლის ტეტრაფოსფატების ურთიერთიზომორფიზმი და მათი მსგავსება, ფაქტიურად იზომორფულობა, ქართველი მკვლევრების [3, 7, 10] მიერ ადრე მიღებულ ნატრიუმ-გალიუმის ტეტრაფოსფატთან. მოლური თანაფარდობისას $n = \text{Me}^I/\text{Me}^{III} = 7.5$ და 27 – 28 დღიანი სინთეზით მიღებულია გალიუმ-ვერცხლის ციკლოდოდეკაფოსფატი, რომელიც კრისტალდება ციკლოტეტრაფოსფატის მიწარევით (ცხრილი 5).

ექსპერიმენტის დეტალები

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, სინთეზები ტარდებოდა მინა-გრაფიტის ტიგელში, 85 %-იანი H_3PO_4 -ის თანაობისას, რომელსაც ემატებოდა ტუტე ლითონთა ოქსიდები ან AgNO_3 , აგრეთვე, შესაბამისად, Ga-ის ან Sc-ის ოქსიდები იმის მიხედვით, თუ რომელი მრავალკომპონენტური სისტემები გვქონდა გამიზნული შესასწავლად.

ექსპერიმენტების ტემპერატურული ინტერვალი კვლავ $100 - 600^\circ\text{C}$ -ს შეადგენდა, სადღეღამისო ცდების ხანგრძლივობა კი – 3-დან 25 დღეს.

ჩვენს მიერ სინთეზირებული ნიმუშების წყალხსნარში გადასაყვანად ვერცხლის ტიგელში მოთავსებულ კარგად გაფხვიერებულ 0.15 გ საანალიზო წონაკს ემატებოდა კალიუმის ტუტის 10 – 15 მარცვალი, რამდენიმე წვეთი გამოხდილი წყალი და ენერგიულად მორევის შემდეგ მასა თავსდებოდა 400°C -მდე წინასწარ გახურებულ მუფელის ღუმელში 5 – 10 წთ ერთგვაროვანი მასის მიღებამდე. გაციების შემდეგ ნაღობს ვამატებდით 10 – 12 მლ გამოხდილ წყალს შენაღობის სრულ გახსნამდე და გადაგვქონდა მინის ცეცხლგამძლე ჭიქაში. გასანეიტრალებლად ხსნარს ემატებოდა 10 მლ კონცენტრირებული აზოტმჟავა (ცხადია, შესამჟავებლად არ შეიძლება მარილმჟავას გამოყენება, რადგან სინთეზირებული ნაერთები შეიცავენ ვერცხლის იონებს, რომლებიც ქლორ-იონთან ნალექს წარმოქმნიან). მიღებულ საანალიზო ხსნარს ვაცხელებდით თითქმის ამოშრობამდე და გადაგვქონდა 50 მლ-იან საზომ კოლბაში, საიდანაც ვიღებდით ალიქვოტებს ფოსფორის, ვერცხლის, სკანდიუმისა და გალიუმის განსასაზღვრად.

ფოსფორის განსაზღვრა

ფოსფორის განსაზღვრის მრავალი მეთოდია ცნობილი. ჩვენს მიერ სინთეზირებული ნიმუშების საანალიზოდ არჩეულ იქნა წონითი მეთოდი $Mg_2P_2O_7$ -ის სახით და ფოტომეტრული მეთოდი ფოსფორვანადიუმ-მოლიბდენის კომპლექსური ნაერთის სახით.

ფოსფორის განსაზღვრა ფოტომეტრული მეთოდით

ეს მეთოდი გულისხმობს ყვითელი შეფერილობის ფოსფორვანადიუმ-მოლიბდენის კომპლექსის წარმოქმნას, რომლის შედგენილობა შეესაბამება ფორმულას: $P(Mo_3O_{10})_2(V_2O_5)_3$. შეფერვის მაქსიმალური ინტენსივობა მიიღწევა 1N HNO_3 არეში.

ცხრილი 6. ფოსფორის(V) ოქსიდის საკალიბრო გრაფიკის მონაცემები.

სმ ³ / 50 სმ ³	P ₂ O ₅ მგ / 50 სმ ³	L = 1 სმ	L = 2 სმ
1.0	0.1	0.030	0.060
2.0	0.2	0.060	0.120
3.0	0.3	0.090	0.180
4.0	0.4	0.120	0.235
5.0	0.5	0.150	0.290
6.0	0.6	0.180	0.350
7.0	0.7	0.205	–
8.0	0.8	0.235	–
9.0	0.9	0.265	–

საკალიბრო გრაფიკის აგება

50 მლ-იან საზომ კოლბებში მიკრობიურეტიტ აღებული იქნა 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 და 9.0 მლ სტანდარტული ხსნარები, რომელთა 1 მლ შეიცავს 0.1 მგ ფოსფორის(V) ოქსიდს $TP_2O_5 = 0.1$ მგ/მლ. ამას ემატებოდა მცირეოდენი წყალი, 2.5 მლ აზოტმჟავა $d = 1.40$. სამუშაო ხსნარი A მლ, შევსებულ იქნა ჭდემდე და 15 წთ-ის შემდეგ იზომებოდა ოპტიკური სიმკვრივე ხელსაწყოზე KFK-2 ტალღის სიგრძეზე 440 ნმ (ლურჯი შუქფილტრი). შესადარებელი ხსნარის მიმართ $L = 10$ ან 20 მმ. შესადარებელ ხსნარად გამოყენებულ იქნა საკალიბრო გრაფიკის პირველი წერტილი, რომელიც მომზადებულია იგივე პირობებში ფოსფორის სტანდარტული ხსნარის გარეშე. მიღებული შედეგები მოტანილია ცხრილში 6.

ცხრილი 7. საკვლევ ნიმუშში P₂O₅-ის შემცველობა.

ნიმუში და საწყისი კომპონენტების მოლური თანაფარდობა	ოპტიკური სიმკვრივე L = 10 მმ	შემცველობა ალიქვოტურ ნაწილში P ₂ O ₅ , მგ	P ₂ O ₅ , %	P, %
P/Ag/Sc 15:5:1	0.285	0.95	60.0	26.2
P/Ag/Sc 15:7.5:1	0.280	0.93	58.7	25.6
P/Ag/Ga 15:5:1	0.255	0.86	54.0	23.7
P/Ag/Ga 15:7.5:1	0.260	0.89	56.4	24.6
–	0.015	0.05	–	–

ანალიზის მსვლელობა

წინასწარ მომზადებულ საკვლევი ხსნარებიდან პიპეტით ვიღებდით 5 მლ ალიქვოტს, გადაგვექონდა ცეცხლგამძლე ჭიქაში, ვამატებდით 5 – 10 მლ აზოტმჟავას $d = 1.40$, ვაშრობდით მშრალ ნაშთამდე, ვამატებდით 2.5 მლ აზოტმჟავას, 8 მლ სამუშაო ხსნარს (A), გადაგვექონდა 50 მლ-იან საზომ კოლბაში, ვავსებდით ჭდემდე და 15 წთ-ის შემდეგ ვახდენდით შეფერვის ინტენსივობის შემოწმებას ისევე, როგორც გრაფიკის აგებისას. იგივე ხსნარებით იმავე პირობებში ვატარებდით ბრმა ცდებს. ფოსფორის შემცველობა ათვლებოდა საკალიბრო გრაფიკზე. შედეგები მოცემულია ცხრილში 7.

საანალიზო ნიმუშში ფოსფორისა და ფოსფორის(V) ოქსიდის გამოსათვლელად ვისარგებლეთ ფორმულით: $\% P_2O_5 = (A - a) \cdot 100 / m_1$, სადაც m_1 არის საანალიზო ხსნარის ალიქვოტში ნიმუშის მასა მგ-ში: $0.3 \text{ მგ} \cdot 5 = 1.5 \text{ მგ}$; A – საკალიბრო გრაფიკზე საანალიზო ხსნარის ალიქვოტში ნაპოვნი ფოსფორის(V) ოქსიდის შემცველობა მგ-ში, ხოლო a – საკალიბრო გრაფიკზე ბრმა ცდის ალიქვოტში ნაპოვნი P_2O_5 -ის შემცველობა მგ-ში. ფოსფორზე გადასათვლელი კოეფიციენტი გამოიანგარიშება ფორმულის მიხედვით: $Mr(P_2O_5) = 142$, $Ar(P) = 31$ და $K = 42 / 142 \approx 0.436$.

ფოსფორის განსაზღვრის გრავიმეტრული

მეთოდი – დალექვა $Mg_2P_2O_7$ -ის სახით

საკვლევ ნიმუშში ფოსფორის განსაზღვრის გრავიმეტრული მეთოდი ეფუძნება ნიმუშის დაშლისას წარმოქმნილი ორთოფოსფატის დალექვაზე ამონიუმის მოლიბდატის $(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3 \cdot 2HNO_3 \cdot H_2O$ სახით აზოტმჟავისა და ამონიუმის ნიტრატის თანაობისას. ნალექის შედგენილობა დამოკიდებულია დალექვის პირობების, რეაქტივის შედგენილობისა და სხვა ნივთიერებების არსებობაზე. დალექვისას ფოსფორის განსაზღვრის ხელშემშლელი ელემენტების უმეტესობა რჩება სარეაქციო არეში. ფოსფორის რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის აუცილებელია P:Mo თანაფარდობის 1:12 დაცვა, რაც ანალიზის მსვლელობაში რთული მისაღწევია. ამიტომ, ჩვენი აზრით, სავსებით უპრიანია წარმოქმნილი ნალექის გახსნა ამიაკში და ფოსფორის ხელახლა დალექვა მაგნეზიალური ხსნარის $MgNH_4PO_4$ სახით. შემდეგ ხდება მიღებული ნალექის ხელახალი გადალექვა, შემდგომი გახურება და მიღებული მაგნიუმის დიფოსფატის $Mg_2P_2O_7$ აწონვა. ორგანიკა ხელს უშლის ფოსფორის განსაზღვრას, ამიტომ თუ საკვლევ ნიმუშში მოსალოდნელია მისი არსებობა, მას წინასწარ აშორებენ ნიმუშის ფაიფურის ტიგელში გახურებით. რეკომენდებულია ფილტრი ნალექით მოთავსდეს ფაიფურის ტიგელში და ფრთხილად მოხდეს მისი დაფერფლვა მუფელის ღუმელში. ნალექის ჩაფერფლის შემდგომ მასა უნდა გახურდეს 20 – 25 წთ 900 – 1000 °C პირობებში. ამ დროს მიმდინარე რეაქცია შემდეგია: $2(MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O) \rightarrow Mg_2P_2O_7 + 2NH_3 + 13H_2O$.

ცხრილი 8. გრავიმეტრული მეთოდით ფოსფორის განსაზღვრის შედეგები.

ნიმუში და საწყისი კომპონენტების მოლური თანაფარდობა	შემცველობა ალიქვოტურ ნაწილში	P_2O_5 , %	P, %
P/Ag/Sc 15:5:1	0.0143	61.0	26.6
P/Ag/Sc 15:7.5:1	0.0140	59.5	26.0
P/Ag/Ga 15:5:1	0.0128	54.4	23.8
P/Ag/Ga 15:7.5:1	0.0135	57.4	25.1

P₂O₅-ზე გადასათვლელად Mg₂P₂O₇-ის მასა მრავლდება კოეფიციენტზე 0.6379. მიღებული შედეგებით გამოითვლება ფოსფორის(V) ოქსიდის შემცველობა. გრავიმეტრული მეთოდით ფოსფორის განსაზღვრის შედეგები მოცემულია **ცხრილში 8**.

ვერცხლის განსაზღვრა

საკვლევი ნიმუშის შედგენილობიდან და შემცველობიდან გამომდინარე ლიტერატურაში ვერცხლის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდია აღწერილი. საანალიზო ნიმუშებში ვერცხლის განსაზღვრად შერჩეულ იქნა ატომურ-აბსორბციული და მოცულობითი მეთოდები.

ვერცხლის განსაზღვრის ატომურ-აბსორბციული მეთოდი

მეთოდს საფუძვლად უდევს ატომურ-აბსორბციულ ხელსაწყოზე ატომური შთანთქმის ინტენსივობის განსაზღვრა. რეზონანსული გამოსხივების წყაროდ გამოიყენება სპეციალური ვერცხლის ნათურა. ატომიზაციისათვის საანალიზო ხსნარის გაფრქვევა ხდებოდა ჰაერ-აცეტილენის არეში.

სტანდარტული ხსნარის (ხსნარი A) მომზადება შემდეგნაირად ხდებოდა. ქიმიურად სუფთა (99.99 %) ვერცხლის მავთულის წონაკი მოთავსებულ იქნა ცეცხლგამძლე ჭიქაში და გაიხსნა 10 მლ აზოტმჟავაში (1:1). თანდათანობით გაცხელებისას ხსნარს ემატებოდა 20 – 25 მლ გამოხდილი წყალი და შემდეგ ხდებოდა მისი შესაბამისი რაოდენობის გადატანა საზომ კოლბაში (500 მლ), რომელიც ჭდემდე ივსებოდა მარილმჟავით (1:3). ამგვარად მიღებული ხსნარის 1 მლ შეიცავს 200 მკგ ვერცხლს.

სამუშაო სტანდარტული ხსნარის მომზადების პროცედურა კი ასეთია. 100 მლ-იან საზომ კოლბებში მოთავსებული იქნა 0.2, 0.5, 1, 2, 2.5, 4 და 5 მლ სტანდარტული ხსნარი A, რომელიც შევსებული იქნა ჭდემდე მარილმჟავის (1:4) ხსნარით. მიღებული ხსნარები შეიცავს, შესაბამისად, 0.4, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 8.0 და 10.0 მკგ ვერცხლს 1 მლ-ში. ეს ხსნარები მდგრადია 2 თვის განმავლობაში. ყოველი სტანდარტული და საანალიზო ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე განისაზღვრა ერთდროულად და თითოეული 3-ჯერ. ჩვენ მიერ ჩატარდა მომზადებული ხსნარების ატომურ-აბსორბციული ანალიზი. მათი შთანთქმის ინტენსივობა ბევრად გასცდა საკალიბრო გრაფიკის მონაცემებს 10 მკგ/მლ (სმ³). შესაბამისად, საკვლევი ხსნარში ვერცხლის შემცველობა არის ~ 10 % ან მეტი.

ვერცხლის ასეთი შემცველობისათვის მაღალი სიზუსტის შედეგების მისაღებად განსაზღვრის მოცულობითი მეთოდია რეკომენდებული. ხსნარში ვერცხლის შემცველობის რაოდენობრივად დასადგენად ფოლგარდის მეთოდი იქნა გამოყენებული.

ვერცხლის განსაზღვრის მოცულობითი მეთოდი

მოცულობითი მეთოდით ვერცხლი შეიძლება განისაზღვროს როგორც პირდაპირი, ისე – უკუტიტრირებით. ვერცხლის განსაზღვრის უკუტიტრირების მეთოდი (მორის მეთოდი) დაფუძნებულია ნატრიუმის ქლორიდის ტიტრირების ხსნარის დადგენაზე. ვერცხლის ნიტრატის განეიტრალეზულ ხსნარს მუდმივი მორევით ემატებოდა ნატრიუმის ქლორიდის სიჭარბე და ინდიკატორი – კალიუმის ქრომატი და ხდებოდა გატიტრვა ვერცხლის ნიტრატის ტიტრირების ხსნარით ვერცხლის ქრომატის მდგრადი აგურისფერი შეფერილობის მიღებამდე.

ვერცხლის განსაზღვრის პირდაპირი ტიტრირების მეთოდი (ფოლგარდის მეთოდი) დაფუძნებულია ვერცხლისა და როდანიდის იონების მოქმედებისას მცირედ ხსნადი ნალექის წარმოქმნაზე $Ag^+ + SCN^- = AgSCN$. ინდიკატორად ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა რკინა-ამონიუმის შაბის ხსნარი. ექვივალენტობის წერტილის

მიღწევისას როდანიდ იონების (SCN⁻) სიჭარბე რკინის იონებთან (Fe³⁺) შედარებით[^] წარმოქმნის წითელი შეფერილობის FeSCN²⁺ ხსნად კომპლექსს.

ტიტრირება ჩატარდა ოთახის ტემპერატურაზე (25 °C) განზავებულ აზოტმჟავა არეში. გაკეთდა დასკვნა, რომ ოპტიმალურია 0.2 – 0.4 N აზოტმჟავა ვინაიდან კონცენტრირებული აზოტმჟავა აფერხებს რკინის როდანიდის წარმოქმნას, უფრო მაღალი ტემპერატურა კი იწვევს ხსნარის გაუფერულებას. ანალიზის მსვლელობისას AgSCN თეთრი ფერის ნალექის წარმოქმნა გრძელდება მანამ, სანამ საანალიზო ხსნარს დაემატება ვერცხლის იონების ექვივალენტური რაოდენობის კალიუმის ან ამონიუმის როდანიდის ტიტრირანი ხსნარი.

ანალიზის მსვლელობა

ტიტრის დასადგენისას საანალიზოდ ხდება ვერცხლის ნიტრატის 0.025 N ხსნარის ალიქვოტის 5 მლ-ის აღება, რომელსაც ემატება 4 მლ რკინა-ამონიუმის შაბის ხსნარი, გამოხდილი წყალი (100 მლ) და განზავებული აზოტმჟავა გაუფერულებამდე, მიკრობიურეტიდან წვეთ-წვეთობით ხდება ამონიუმის როდანიდის ხსნარის დამატება მდგრადი ბაცი ვარდისფერის მიღებამდე. ერთდროულად ხდებოდა სამი პარალელური განსაზღვრა. დადგინდა ტიტრირების კოეფიციენტი და ტიტრი $T = 2.6323$ მგ. ნიმუშებში ვერცხლისა და მისი ოქსიდის შემცველობა მოცემულია ცხრილში 9.

ცხრილი 9. ნიმუშებში ვერცხლისა და ვერცხლის ოქსიდის შემცველობა, დადგენილი მოცულობითი მეთოდით.

ნიმუში	0.025 N ამონიუმის როდანიდის მოცულობა, მლ	Ag ₂ O, %	Ag, %
P/Ag/Sc 15:5:1	1.30	24.5	22.81
P/Ag/Sc 15:7.5:1	1.24	23.3	21.7
P/Ag/Ga 15:5:1	1.34	25.2	23.5
P/Ag/Ga 15:7.5:1	1.28	24.2	22.5

გალიუმისა და სკანდიუმის რაოდენობრივი განსაზღვრა

გალიუმისა და სკანდიუმის რაოდენობრივი განსაზღვრის მრავალი მეთოდია ცნობილი. კონკრეტულ მეთოდს ირჩევენ საკვლევი ობიექტის შედგენილობის გათვალისწინებით, მოსალოდნელი შემცველობიდან გამომდინარე და სიზუსტისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად. ლიტერატურულ მონაცემებზე დაყრდნობით ჩვენ მიერ სინთეზირებულ კონდენსირებულ ფოსფატებში გალიუმისა და სკანდიუმის განსაზღვრად შეირჩა გრავიმეტრული მეთოდი. მეთოდის არსი მგგომარეობს იმაში, რომ გალიუმი და სკანდიუმი სუსტ მჟავა ნეიტრალურ და სუსტ ამიაკურ ხსნარებში ოქსიქინოლინით გარკვეული რაოდენობით ილექება. საკვლევი ხსნარებიდან ხდებოდა 15 მლ ალიქვოტის აღება, რომელსაც ემატებოდა ხოლმე 100 მლ გამოხდილი წყალი, 5 მლ ორთო-ოქსიქინოლინი, ხდებოდა მისი გაცხელება 70 – 80 °C-მდე და წვეთ-წვეთობით ამიაკის ხსნარის (1:1) დამატება სრულ დალექვამდე. ამიაკის დამატებიდან 30 – 40 წმ-ის შემდეგ გამოიყოფა ფანტელისებრი ლიმონისფერი ნალექი. ეს ხსნარ-ნალექი უნდა დაყოვნდეს წყლის აბაზანაზე 1 – 2 სთ-ის განმავლობაში და გაიფილტროს დალექვიდან 6 – 12 სთ-ის შემდგომ. ნალექი შრება დაახლოებით 120 °C-ზე. გალიუმისა და სკანდიუმის განსაზღვრის შედეგები მოცემულია ცხრილში 10.

ცხრილი 10. გალიუმისა და სკანდიუმის განსაზღვრის შედეგები.

ნიმუში	მოლური თანაფარდობა	P ₂ O ₅ ფოტომეტრული განსაზღვრა	P ₂ O ₅ წონითი განსაზღვრა	Ag ₂ O მოცულობითი განსაზღვრა	Sc ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃
P/Ag/Sc	15:5:1	60.0	61.0	24.5	14.3	–
P/Ag/Sc	15:7.5:1	58.7	59.5	23.3	15.8	–
P/Ag/Ga	15:5:1	54.0	54.4	25.2	–	21.8
P/Ag/Ga	15:7.5:1	56.4	57.4	24,2	–	20.7

ქიმიური ანალიზის ექსპერიმენტული სამუშაოები შესრულდა მ. ავალიანის, ნ. ლონდამისა და მ. გველესიანის მიერ რ. აგლამის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტის ადგილობრივი წიაღისეულისა და მინერალური ნედლეულის ქიმიური გადამამუშავების ლაბორატორიაში და, აგრეთვე, საგამოცდო ცენტრის „გეოანალიტიკა“ აკრედიტირებულ ლაბორატორიაში (GACTL-0117) გ. თოდრაძის მიერ დაკალიბრებულ ხელსაწყოების გამოყენებით სერტიფიცირებული რეაქტივების გამოყენებით.

7. დასკვნები

განხორციელებულია არაორგანული პოლიმერების, კონკრეტულად კი – კონდენსირებული ფოსფატების, სინთეზი და ფუნდამენტური კვლევა. ექსპერიმენტების მთელი სერიების საფუძველზე დაგროვილია მნიშვნელოვანი სამეცნიერო გამოცდილება პერსპექტიული ორმაგი კონდენსირებული ოლიგო-, პოლი- და ციკლოფოსფატების სინთეზის, მათი აგებულების დადგენისა და თვისებების შესწავლის სფეროში.

ტექნოლოგია ემყარება პოლიფოსფორმჟავათა ხსნარ-ნალღობებიდან კონდენსაციის გზით ახალი. დღემდე უცნობი, კონდენსირებული ფორმების – არაორგანული ოლიგომერების, ციკლური ნაერთებისა და გრძელჯაჭვიანი პოლიმერული ნაერთების მიღებას.

განხორციელებულია პოლიკომპონენტური სისტემების M₂O–M^{III}₂O₃–P₂O₅–H₂O კვლევა ტემპერატურულ ინტერვალში 100 – 600 °C. აგრეთვე, ჩატარებულია მიღებული ნაერთების ქიმიური ანალიზი, შედარებულია კვლევის არსებული მეთოდები და შერჩეულია კონდენსირებულ ნაერთებში ფოსფორისა და სამვალენტური ლითონების განსაზღვრის ოპტიმალური მეთოდები. პირველადაა სინთეზირებული სკანდიუმ-ვერცხლისა და გალიუმ-ვერცხლის ორმაგი ციკლოტეტრაფოსფატები, აგრეთვე, მრავალი ოლიგო-, ციკლო- და პოლიფოსფატი, რომლებიც შეიცავენ მონო- და პოლივალენტურ ლითონებს.

გარდა გრავიმეტრული, ფოტომეტრული, მოცულობითი, ატომურ-აბსორბციული მეთოდებისა, ნაერთები აგრეთვე შესწავლილია რენტგენოფაზური და რენტგენოსპექტრალური ანალიზების მეშვეობით. მიღებული შედეგები გაანალიზებულია და შედარებულია სამეცნიერო პუბლიკაციებში არსებულ მონაცემებთან და მოტანილია ინდივირებული რენტგენოგრამები.

მიღებული პოლიმერების საკრისტალიზაციო პირობებისა და პროდუქტის თვისებების გაანალიზებით შესაძლებელი ხდება მიზნობრივი თვისებების მქონე ახალი

არაორგანული პოლიმერების სინთეზი და მათი მონოკრისტალების ჩამოყალიბების რეჟიმების დადგენა.

გარდა ამისა, აღნიშნული ფუნდამენტური კვლევების გაღრმავება შესაძლებლობას იძლევა არაორგანული პოლიმერების ნაერთთა ქიმიაში შეიქმნას / სრულყოფილ იქნას მონაცემთა ბაზა (თუნდაც ე.წ. ETDEWEB ენერგეტიკულ მონაცემთა ბაზა), ჩვენი კვლევის შედეგად გატარებულია პარალელი სხვა მრავალვალენტური ლითონთა კონდენსირებულ ნაერთებთან გარკვეული თვისებების მქონე მიზნობრივი პროდუქტის მიღების მეთოდის სრულყოფის მიზნით.

დამოწმებანი

- [1] A. Durif. *Crystal Chemistry of Condensed Phosphates*, 2014, City, Plenum Press.
- [2] M.-Th. Averbuch–Pouchot, A. Durif. *Topics in Phosphate Chemistry*, 1996, Singapore, World Scientific.
- [3] M. Avaliani, N. Barnovi, N. Esakia, Sh. Makhatadze. *Apropos of inorganic polymers. Condensed phosphates as inorganic polymers and various domains of their applications*, Proc. Georgian Natl. Acad. Sci. (Chem. Ser.), 2015, 41, 3, 227-231.
- [4] M. Avaliani, D. Dzanashvili, E. Shapakidze, N. Esakia. *New inorganic polymers: Condensed phosphates and diverse spheres of their applications*. In: Abs. 26th Ann. World Forum Adv. Mater. “Polychar”, 2018, 1, 101-101.
- [5] G. A. Bandurkin, N. N. Chudinova, G. V. Lysanova, V. A. Krut’ko, K. K. Palkina, M. G. Komova. *Heavy lanthanide phosphates: Nanostructuring during their solid-phase synthesis*. Russian J. Inorg. Chem., 2006, 51, 9, 1473-1482.
- [6] N. N. Chudinova, E. V. Murashova, A. B. Yluikhin. *Double cyclohexaphosphates of cesium and divalent metals*. Inorg. Mater., 2003, 39, 12, 1298-1302.
- [7] M. Avaliani, M. Gvelesiani, B. Purtseladze, V. Kveselava, P. Nikoleishvili, G. Gorelishvili, R. Chagelishvili, N. Barnovi. *Inorganic Polymers double condensed phosphates of mono- and polyvalent metals – General overview*. In: Proc. Int. Conf. “Innov. Technol. Metall. & Mater. Sci.”, 2015, Tbilisi, 124-128.
- [8] მ. ავალიანი, ნ. ბარნოვი, მ. გველესიანი, ნ. ესაკია. *ერთ- და სამვალენტური მეტალების კონდენსირებული ფოსფატების ქიმია*. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2017, 17, 1, 6-11.
- [9] M. Avaliani, E. Shapakidze. *Areas of crystallization of double condensed phosphates of Ag and trivalent metals*. J. Chem. Sci., 2018, 9, 63-63.
- [10] M. Avaliani, E. Shapakidze, N. Barnovi, D. Dzanashvili, G. Todradze, V. Kveselava, N. Gongadze. *Regiocontrolled synthesis of double condensed oligo-, poly-, and cyclophosphates, their characterization and possible solid-state applications*. Nano Studies, 2019, 19, 273-284.
- [11] მ. ავალიანი. *კონდენსირებული ფოსფატების პრაქტიკული გამოყენების აქტუალობის საკითხი*. კრ.: მე-5 რესპ. კონფ. ქიმიაში (მოხს. თეზისები), 2004, თბილისი, ი. ჯავახიშვილის სახ. თსუ, 15-17.
- [12] მ. ავალიანი, მ. გველესიანი, ვ. გაფრინდამვილი. *არაორგანული ფოსფატური ოლიგომერებისა და პოლიმერების სინთეზი*. კრ.: მე-5 რესპ. კონფ. ქიმიაში (მოხს. თეზისები), 2004, თბილისი, ი. ჯავახიშვილის სახ. თსუ, 13-15.

- [13] მ. ავალიანი. სამვალენტური და პოლივალენტური მეტალების პრაქტიკული გამოყენების საკითხისთვის. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერია), 2004, 30, 1/2, 36-39.
- [14] მ. ავალიანი, მ. გველესიანი, ვ. გაფრინდაშვილი. არაორგანული პოლიმერების – კონდენსირებული ფოსფატების სინთეზი და კვლევა. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერია), ტ.31, 2005, 3/4, 233-236.
- [15] M. Avaliani. About development in chemistry and application of condensed phosphates. In: Abs. Int. Conf. GEOHET, 2011, Tbilisi, I. Javakhishvili TSU, 162-163.
- [16] T. P. Marsh. Studies into the Ion Exchange and Intercalation Properties of $AlH_2P_3O_{10} \cdot 2H_2O$ (PhD Thesis), 2011, Birmingham, Univ. Birmingham.
- [17] E. V. Murashova, N. N. Chudinova. Double phosphates of cesium–indium. J. Inorg Mater., 2001, 37, 12, 1521-1524.
- [18] Л. Н. Комиссарова. Неорганическая и аналитическая химия скандия, 2006, Москва, Эдиториал.
- [19] K. Hore. The Investigation of Condensed Phosphates of Alkaline Earth Metals for Use as Biomaterials (Res. Theses), 2011, Birmingham, Univ. Birmingham.
- [20] T. V. Kulakovskaya, V. M. Vagabov, I. S. Kulaev. Inorganic polyphosphate in industry, agriculture and medicine: Modern state and outlook. Process Biochem., 2012, 47, 1, 1-10.
- [21] მ. ავალიანი, მ. გველესიანი. ცეზიუმ–გალიუმის და ცეზიუმ–ინდიუმის კონდენსირებული ფოსფატების საკრისტალიზაციო არეები და წარმოქმნის კანონზომიერებანი. საქართველოს მეცნ. ეროვ. აკად. მაცნე (ქიმიის სერია), 2006, 32, 1/2, 52-56.
- [22] M. Avaliani. Investigation and thermal behaviour of double condensed compounds of gallium, scandium and silver. Nano Studies, 2018, 17/18, 21-24.
- [23] M. Avaliani, E. Shapakidze, N. Barnovi, M. Gvelesiani, D. Dzanashvili. About new inorganic polymers-double condensed phosphates of silver and trivalent metals. J. Chem. Chem. Eng., 2017, 11, 60-64.
- [24] P. Zanello. Chains, Clusters, Inclusion Compounds, Paramagnetic Labels, 2012, Elsevier.
- [25] I. V. Tananaev. Some Aspects of the Chemistry of Phosphates and Their Practical Application. Problems of Chemistry and Chemical Technology, 1987, Moscow, Nauka.
- [26] M. Avaliani. General overview of synthesis and properties of a new group of inorganic polymers – Double condensed phosphates. In: Proc. Int. Conf. Adv. Mater. Technol., 2015, Tbilisi, Universal, 240-245.
- [27] მ. ავალიანი, ვ. კვესელავა, ნ. ესაკია. გალიუმის, ინდიუმის და სკანდიუმის განსაზღვრა ორმაგ კონდენსირებულ ფოსფატებში ოქსიქინოლინის მეშვეობით. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2018, 1, 17-26.
- [28] Р. Берг. Применение оксикинолина в аналитической химии, 1937, Москва, ОНТИ.
- [29] М. Э. Брицке. Атомо-абсорбционный спектрохимический анализ, 1982, Москва, Наука.
- [30] И. Г. Юделевич, З. А. Старцева. Атомно-абсорбционное определение благородных металлов, 1981, Москва, Наука.
- [31] R. E. Humphrey, M. R. Maniscalco, W. Hinze. Determination of silver by potentiometric titration with sodium thiosulfate. Microchem. J., 1971, 16, 3, 410-418.

- [32] А. П. Крешков. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ, 1971, Москва, Химия.
- [33] А. А. Пупышев. Атомно-абсорбционный спектральный анализ, 2009, Москва, Техносфера.
- [34] J. W. Robinson, S. E. Frame, G. M. Frame II. Undergraduate Instrumental Analysis, 2014, CRC Press.
- [35] П. П. Коростелев. Титриметрический и гравиметрический анализ в металлургии, 1985, Москва, Металлургия.
- [36] А. И. Бусев. Аналитическая химия индия, 1958, Москва, Изд. АН СССР.
- [37] D. Ch. Harris. Quantitative Chemical Analysis. Gravimetric Analysis, Precipitation Titrations and Combustion Analysis, 2010, W. H. Freeman & Co.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПЛАСТИНАХ КРЕМНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИМПУЛЬСОВ БЕЛОГО СВЕТА

А. Б. Герасимов¹, Г. Д. Чирадзе^{2,*}

¹Грузинский технический университет
Тбилиси, Грузия

²Государственный университет Акакия Церетели
Кутаиси, Грузия

* gogichiradze@yahoo.com

Принята 27 июля 2020 года

Аннотация

Целью настоящей работы являлось изучение перераспределения примесей в пластинах кремния, вызванное воздействием импульсами белого света. Исследовались пластины n-типа проводимости, легированные фосфором, с удельным сопротивлением 0.5 Ом·см и толщиной 500 мкм (КЭФ–0.5). Поверхности образцов были обработаны по 14 классу чистоты. С целью удаления естественного окисла перед световым воздействием и перед каждым измерением образцы обрабатывались в водном растворе HF с соотношением 1:50 в течении 50 с. Микротвердость измерялась по методу вдавливания. Установлено, что в той области, где по сравнению с исходным образцом происходит уменьшение микротвердости, увеличивается концентрация примеси, а в области увеличения микротвердости – уменьшение этой концентрации. С ростом длительности импульсов света и их количества эффект перераспределения примесных атомов усиливается. Причем, эффект перераспределения больше вблизи той поверхности, с которой происходило освещение.

Согласно работам [1 – 3], освещение полупроводника образует движущие силы диффузии (ДСД) [4]. Эти ДСД влияют на примесные атомы, которые исходно равномерно распределены в легированном образце и при его освещении должны вызвать их перераспределение, которое, со своей стороны, должно отразиться на физико-механические свойства материала.

Одним из наиболее чувствительных физико-механических характеристик полупроводниковых кристаллов, зависящих от рода и концентрации примесей, является

микротвердость [5]. По этой причине целью настоящей работы являлось исследование методом индентирования того перераспределения примесей в кремнии, которое вызвано воздействием импульсами белого света.

Использовались кремниевые пластины n-типа проводимости, легированные фосфором, с удельным сопротивлением 0.5 Ом·см и толщиной 500 мкм (КЭФ-0.5). Поверхности образцов были обработаны по 14 классу чистоты. С целью удаления естественного окисла перед световым воздействием и перед каждым измерением образцы обрабатывались в водном растворе HF в соотношении 1:50 в течении 50 с.

Воздействие белым светом проводилось в специальной установке импульсного фотонного облучения (УИФО) светом галогенных ламп [6].

Профиль концентрации примесей по глубине образца измерялся методом дифференциальной емкости ($C-V$) с использованием ртутного зонда.

Измерение микротвердости производилось на установке DURIMET по методу вдавливания с помощью стандартной пирамиды Кнупа, методика которого описана в [7].

Использование разных режимов фотонного облучения исследуемых образцов показало, что с увеличением длительности импульсов и их количества (когда температура превышает примерно 1000 °С) происходит накопление примесей у поверхности из-за возникновения ДСД.

На **Рисунке 1** приведены профили распределения примесей около поверхности образца в результате фотонного облучения.

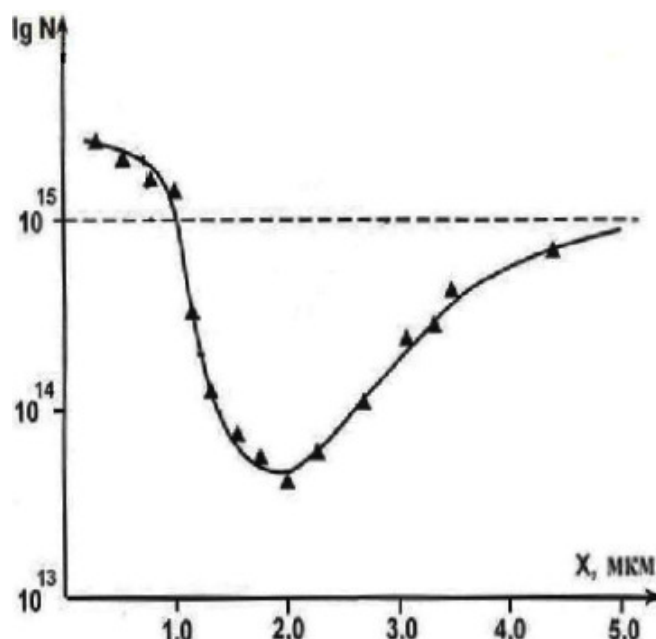


Рисунок 1. Перераспределение исходно равномерно распределенных примесных атомов фосфора в пластинах кремния после их обработки импульсами белого света (10 с, 4-раза, ~ 1200 °С). Пунктиром обозначена исходная концентрация в пластинах. X – координата по толщине пластины.

Видно, что происходит перераспределение ранее равномерно распределенных по образцу примесных атомов. В частности имеет место увеличение концентрации примесей у поверхности за счет уменьшения ее в смежной области.

Это подтверждается равенством количества атомов, пришедших к поверхности, с их количеством, ушедших из смежной области, и изменением значения микротвердости (Рисунок 2).

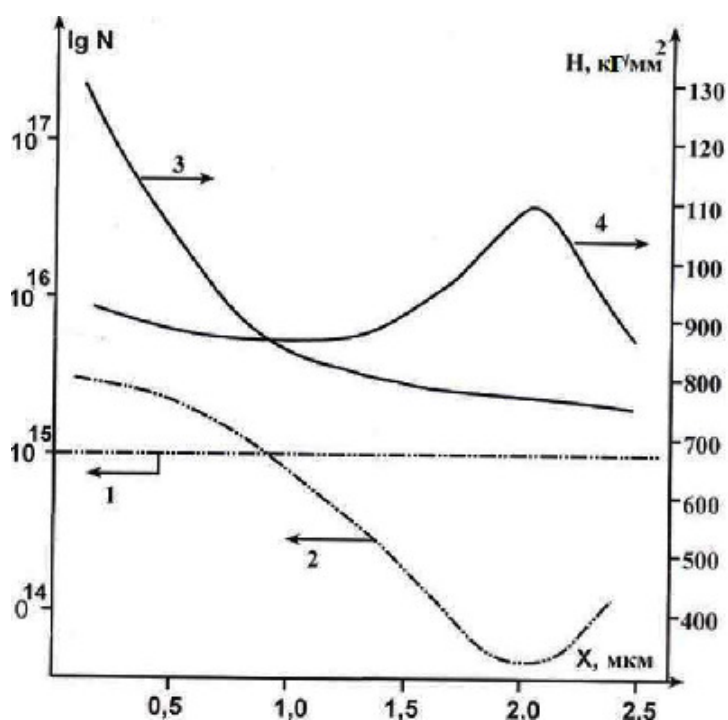


Рисунок 2. Зависимость концентрации примесных атомов и микротвердости от расстояния до поверхности в кремнии: концентрации до (1) и после (2) световой обработки и микротвердости до (3) и после (4) световой обработки.

В той области, где по сравнению с исходным образцом происходит уменьшение микротвердости, увеличивается концентрация примеси, а в области увеличения микротвердости – имеет место уменьшение концентрации примеси.

С ростом длительности импульсов света и их количества увеличивается эффект перераспределения примесных атомов. Причем, эффект перераспределения больше около той поверхности, с которой происходило освещение.

Ссылки

- [1] A. Gerasimov, A. Bibilachvili, Z. Bokhochadze, R. Kazarov, M. Vepkhvadze, G. Chiradze, N. Kutivadze, Z. Samadashvili. Bull. Georgian Acad. Sci., 1999, 159, 417.
- [2] А. Б. Герасимов, А. П. Бибилашвили, Т. Э. Мелкадзе. Физика и химия обработки материалов, 2000, 2, 5.
- [3] A. Gerasimov, N. Gochaleishvili, I. Lomidze, E. Maziashvili, Z. Samadashvili, R. Kazarov, L. Vardosanidze, M. Klibadze. Bull. Georgian Acad. Sci., 2002, 166, 267.
- [4] Дж. Манинг. Кинетика диффузии атомов в кристаллах, 1971, Москва, Мир, 384.
- [5] А. Б. Герасимов, Г. Д. Чирадзе. ФТП, 2001, 35, 385.

- [6] А. Б. Герасимов, Г. Р. Капанадзе, З. В. Джибути, М. А. Куправа. Приборостроение, 1987, Тбилиси, Грузинский НИИНТИ, Техническая информация 3.1.
- [7] А. Б. Герасимов, Г. Д. Чирадзе, Н. Г. Кутивадзе. ФТП, 2001, 35, 70.

MATHEMATICAL APPROACH TO “SPANISH FLU” PANDEMIC

G. G. Chikhladze¹, K. G. Kapanadze^{1,*}, J. Liu²

¹Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia

*kapanadzeketevani08@gtu.ge

²New School International School of Georgia
Tbilisi, Georgia

Accepted 2020 December 11

Abstract

Paper deals with an attempt of description, possible prediction of long-term aftermath and mathematical analysis of famous “Spanish Flu” pandemic in the second decade of 20th century. Authors tried to apply current experience to present situation in the World to, possibly, find the optimal ways of overcoming the continuing epidemic, supplying some helpful analysis of arising situation.

1. Introduction

Being under the huge influence of present situation of global ongoing COVID-19 pandemic covering all over the World, authors decided to carry out some investigations of former happening epidemics making the mathematical approach to them, in the attempt to describe and predict the further long-term aftermath of pandemic using definite mathematical functions for description of the process.

Unfortunately, development of humans’ society always been followed by ongoing long-term epidemics of different deceases, periodically arising thru all history of existence of humanity. As one of the most awful, huge and widespread epidemic historians consider the Spanish flu, also known as the 1918 flu pandemic, was an unusually deadly influenza pandemic caused by the H1N1 influenza A virus. Lasting from February 1918 to April 1920, it infected 500 million people – about a third of the world’s population at the time – in four successive waves. The death toll is typically estimated to have been somewhere between 17 million and 50 million, and possibly as high as 100 million, making it one of the deadliest pandemics in human history [1].

The first observations of illness and mortality were documented in the US (in Kansas and NYC, and months before, in December 1917, at Camp Greene, North Carolina) [1], France, Germany and UK [2]. To maintain morale, World War I censors minimized these early reports.

Newspapers reported the epidemic effects in neutral Spain, such as the grave illness of King Alfonso XIII, and these stories created a false impression of Spain as especially hard hit. This gave rise to the name “Spanish” flu (**Figure 1**). Historical and epidemiological data are inadequate to identify with certainty the geographic origin of pandemic, with varying views as to its location.



Figure 1. From 1918 to 1920, Spanish flu infected third of world’s population.

Most influenza outbreaks disproportionately kill the very young and the very old with a higher survival rate for those in between, but the Spanish flu pandemic resulted in a higher-than-expected mortality rate for young adults [3]. Scientists offer several possible explanations for the high mortality rate of the 1918 influenza pandemic (Figure 2), including a severe 6-year climate anomaly that affected the migration of disease vectors and increased the likelihood of the spread of the disease through bodies of water [3]. Some analyses have shown the virus to be particularly deadly because it triggers a cytokine storm, ravaging the stronger immune system of young adults [4].

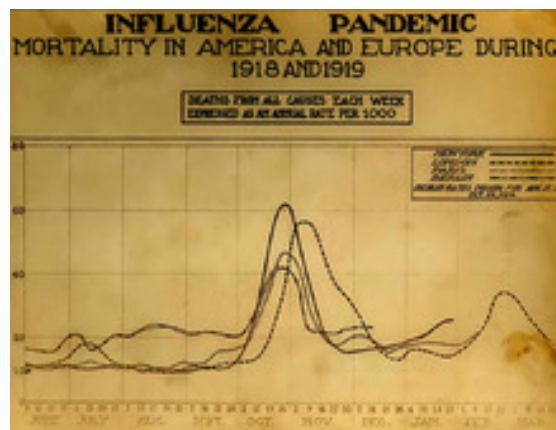


Figure 2. Mortality in America and Europe during 1918 and 1919 pandemic.

In contrast, a 2007 analysis of medical journals from the period of the pandemic found that the viral infection was no more aggressive than previous influenza strains [4]. Instead, lack of food, overcrowded medical camps and hospitals together with poor hygiene, all exacerbated by the recent war, and had promoted bacterial super-infection. This super-infection killed most of the victims, typically after a somewhat prolonged death-bed [3, 4].

The 1918 Spanish flu was the first of two pandemics caused by H1N1 influenza A virus; the second was the 2009 swine flu pandemic [4].

It should be noted as well that the World War I greatly influenced on fast expansion of pandemic thru Europe, occupying involved countries one by one.

2. Move of investigations

Development of Spanish flu pandemic had undergone thru four waves of its expansion.

2.1. First wave of early 1918

The pandemic is conventionally marked as having begun on 4 March 1918 with the recording at Camp Funston in Kansas, US, despite there likely was having been cases before this [5]. The disease had been observed in Haskell County in January 1918. By 11 March 1918, the virus had reached Queens, NY. Failure to take preventive measures in March / April was later criticized.

As the US had entered World War I, the disease quickly spread from Camp Funston, a major training ground for troops of the American Expeditionary Forces, to other US camps and Europe. It became an epidemic in the Midwest, East Coast and French ports by April 1918, and reached the Western Front by the middle of the month. It then quickly spread to the rest of France, Great Britain, Italy, and Spain and in May reached even Odessa [3].

After the signing (March 1918) of the Treaty of Brest–Litovsk, Germany started releasing Russian prisoners of war, who then brought the disease to their country. It reached then North Africa, India, and Japan in May, and soon after had likely gone around the World as there had been recorded cases in Southeast Asia in April. In June, an outbreak was reported in China, while after reaching Australia in July, the wave started to recede [2].

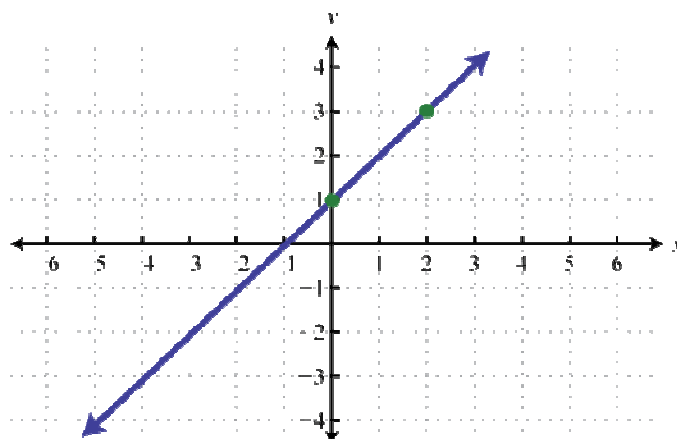


Figure 3. Estimated rate of expansion of epidemic during first wave described by linear function.

Estimating the rate of expansion of epidemic during the first wave of the flu lasted from the first quarter of 1918 and being relatively mild, we concluded that the process may preferably be described by the linear function of the type

$$y = ax + b$$

(Figure 3), considering here x as the time given in months or may be in weeks, while y – announcing the total number of infected citizens and mortality corresponding to given time interval; a and b here we assume like numerical coefficients, but not permanently constant, but different for different continents, countries, regions, etc.

Mortality rates were not appreciably above normal in the United States ~ 75000 flu-related deaths were reported in the first six months of 1918, compared to ~ 63000 deaths during the same time period in 1915.

In Madrid, Spain, fewer than 1000 people died from influenza between May and June 1918. There were no reported quarantines during the first quarter of 1918. However, the first wave caused a significant disruption in the military operations of World War I, with three-quarters of French troops, half the British forces, and over 900000 German soldiers' sick [3].

2.2. Deadly second wave of late 1918

The second wave began in the second half of August, probably spreading to Boston and Freetown, Sierra Leone by ships from Brest, where it had likely arrived with American troops or French recruits for naval training [3]. Helped by troop movements, it spread over the next two months to all of North America, and then to Central and South America, reaching Brazil and the Caribbean. In July 1918, the Ottoman Empire saw its first cases in some soldiers. From Freetown, the pandemic continued to spread through West Africa along the coast, rivers, and the colonial railways, and from railheads to more remote communities, while South Africa received it in September on ships bringing back soldiers returning from France.

From Europe, the second wave swept through Russia in a South-West–North-East diagonal front, as well as being covering all its European area. Then it spread throughout Asia following the Russian Civil War and Trans-Siberian railway. Later pandemic reached India in September, as well as China and Japan in October [4]. In December, however, the wave was mostly over.

The second wave of the 1918 pandemic was much more deadly than the first. The first wave had resembled typical flu epidemics; those most at risk were the sick and elderly, while younger, healthier people recovered easily. October 1918 was the month with the highest fatality rate of the whole pandemic. In the US, ~ 292000 deaths were reported between September–December 1918, compared to ~ 26,000 during the same time period in 1915. The Netherlands reported 40000 plus deaths from influenza and acute respiratory disease. The pandemic in India was especially deadly, with an estimated 12.5 – 20 million deaths in the last quarter of 1918 alone [2].

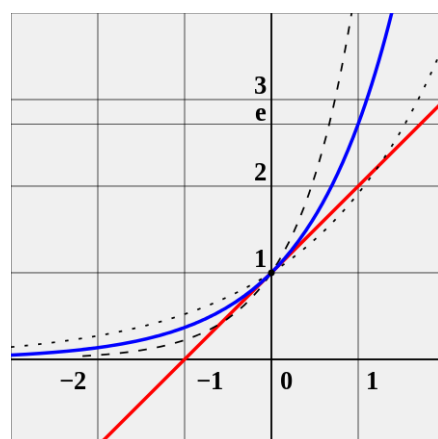


Figure 4. Estimated rate of expansion of epidemic during second wave described by exponential function.

That is why it became clear that such fast and deadly expansion of epidemic cannot be considered by the linear function any more, as to the process was evidently undergoing the exponential increment of cases, and we used the exponential function, thus

$$y = ke^x + l$$

(**Figure 4**). In given conditions consider x and y to be the same quantities like it was in previous case (of linear relation) and k and l coefficients again may be either constant or different depending on what data used investigators estimating the level of expansion. For the second wave of epidemic, exponential function much better reveals the current conditions because the way of expansion of the epidemic exactly follows the rules of exponents.

2.3. Third (of 1919) and fourth (of 1920) waves

In January 1919, a third wave of the Spanish flu hit Australia, where it killed 12000 following the lifting of a maritime quarantine, and then spread quickly through Europe and the United States, where it lingered through the spring and until June 1919 [4, 5]. It affected Spain, Serbia, Mexico, Great Britain, resulting in hundreds of thousands of deaths. It was less severe than the second wave but still much more deadly than the initial first wave. In the US, isolated outbreaks occurred in some cities including Los Angeles, NYC, Frisco, and St. Louis. The overall American mortality rates were in the tens of thousands during the first six months of 1919 [5].

In spring 1920, a fourth wave occurred in isolated areas including NYC, Switzerland, Scandinavia and some South American islands. NYC alone reported 6374 deaths between December 1919 and April 1920, almost twice the number of the first wave in spring 1918. Other US cities were hit particularly hard with death rates higher than all of 1918. Peru experienced a late wave in early 1920, and Japan had one from late 1919 to 1920 with the last cases in March. In Europe, five countries (Spain, Denmark, Finland, Germany and Switzerland) recorded a late peak between January–April 1920.

Analyzing presented data we arrive to the conclusion that both as linear as exponential functions should be involved in description of these years of expansion – the linear function describing the initial period of epidemic, while the exponential one we then apply to show wide expansion of pandemic reaching its peak.

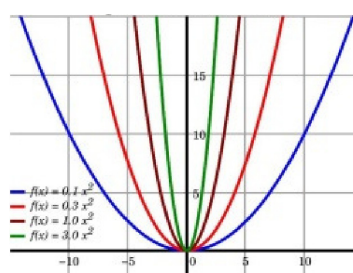


Figure 5. Quadric functions.

We also analyze the possibility of application of quadratic function

$$y = ax^2$$

(**Figure 5**). But then we decided not to use it due to extremely high rate of its increment and necessity of presence of negative values of x , itself being false by definition – all data for x are either time periods (months, weeks, even days), or countries, cities, regions, etc.

3. Conclusions

Due to lack of information concerning the present pandemic and taking into account definite similarities in expansion of epidemics we suppose approximately the same periods of developing present COVID-19 pandemic, but due to much better development of modern treatment and general level of medicines we predict more optimistic results, following soon recede of pandemic.

Authors choose the linear and exponential functions, describing expansion of the pandemic, but also showed the failure of the quadratic function there.

Representing the development of epidemic with as linear as exponential functions appear to be rather precise and completely display the ongoing process. Representation of pandemic in mathematical way using as equations, as graphs greatly clarifies the proper estimation of expansion of the pandemic.

We hope that our studies may be rather useful in searching the proper ways of exit of given situation all over the World as soon as possible.

References

- [1] W. Yang, E. Petkova, J. Shaman. The 1918 influenza pandemic in New York City: Age-specific timing, mortality, and transmission dynamics. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 2014, 8, 2, 177-188.
- [2] H. Hagemann. The 1918 flu pandemic was brutal, killing more than 50 million people worldwide. NPR, 2 April 2020.
- [3] P. Spreeuwenberg, M. Kroneman, J. Paget. Reassessing the global mortality burden of the 1918 influenza pandemic. *Am. J. Epidemiol.*, 2018, 187, 12, 2561-2567.
- [4] M. S. Rosenwald. History’s deadliest pandemics, from ancient Rome to modern America. *Washington Post*, 7 April 2020.
- [5] S. Mata. 1917 American Pandemic: The Origin of the Spanish Flu, 2020, US Independently Published: ISBN 979-8561005909.

SCANNING ELECTRON MICROSCOPIC STUDY OF ZnO CRYSTALLITES

A. Jishiashvili¹, Z. Shiolashvili¹, D. Jishiashvili^{1,2,*},
N. Makhatadze¹, A. Chirakadze¹, V. Gobronidze¹

¹V. Chavchanidze Institute of Cybernetics
Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia

*d_jishiashvili@gtu.ge

²E. Andronikasvili Institute of Physics
I. Javakhishvili Tbilisi State University
Tbilisi, Georgia

Accepted 2020 December 22

Abstract

The wide band-gap semiconductor – zinc oxide finds broad applications due to its unique electrical, optical, and biomedical properties. This work deals with a new method of synthesis. Scanning electron microscopy was used to study the morphology and composition of a layer produced on the Si substrate after deposition of volatile species produced by pyrolytic decomposition of CuO, ZnO, and NH₄Cl source powders. Heating of the source at 650 °C caused the formation of hexagonal ZnO crystallites with maximum diameters and heights up to tens of micrometers. Energy dispersive spectroscopy and selected area electron diffraction confirmed the synthesis of wurtzite structured ZnO, which was growing along the *c*-axis. ZnO crystallites were growing only in the presence of CuO in the source powder. We proposed that ZnO was nucleated from the molten copper chloride salts after over-saturating with Zn and oxygen. The further growth of ZnO was performed by the vapor phase growth using precursors formed after pyrolysis of source powders.

ZnO finds a wide range of applications in modern science starting with materials for electrical and optical devices and ending with bio-medical, pharmaceutical, and catalytic usage [1 – 7]. ZnO, which is a wide band-gap semiconductor, can be attributed to one of the most studied materials.

ZnO nanoparticles (NPs) with diameters below 100 nm have superior electrical, optical, biological, catalytic, and many other unique properties resulting from the large surface-to-volume ratio, domination of surface-related properties together with strong manifestations of size-dependent quantum effects.

ZnO NPs are synthesized by different technologies including chemical vapor deposition, plasma-enhanced methods, laser ablation, reactive sputtering, co-precipitation, sol-gel method, high energy ball milling, electrochemical and electrophoretic depositions, ultrasound, anodization, microwave-assisted, and combustion methods. Nowadays, ZnO NPs are also synthesized by biogenic methods using plants, yeast, fungi, bacteria, and algae [8 – 12]. As a rule, the properties and morphology of produced ZnO depend on the method of synthesis.

The purpose of this work was to present our preliminary results on the growth of ZnO micro- and nanocrystals using the new pyrolytic technology.

The details of developed technology can be found elsewhere [13]. In brief, it implies the formation of volatile Zn and copper molecules in the atmosphere of NH_4Cl thermal decomposition products. The source materials were chemically pure ZnO, CuO, and NH_4Cl powders. They were placed on the bottom of the evacuated vertical quartz tube which was heated in the temperature range of 400 – 700 °C through an external resistive furnace. The Si crystal substrate was located at 2 – 3 cm above the source material and heated by furnace radiation and convection. The samples were studied by scanning and transmission electron microscopy (SEM and TEM) using TESCAN Vega-3 XMU and Philips CM12 facilities.

The process parameters that may be varied during the synthesis were the source temperature, source substrate distance, the ratio of source powders. The results presented below concern the changes in morphology and composition of materials grown on Si substrate at two temperatures.

Figure 1 represents the SEM image and elemental map of particles that were formed on the surface of Si substrate after heating of ZnO + CuO source with the total mass of 1.8 g, mixed with 0.4 g NH_4Cl (18 wt. % NH_4Cl). Previously it was established that in the similar condition the separate treatment of CuO and ZnO powders cause the formation of Cu microcrystals in case of CuO source [13], and Zn compounds when zinc oxide was used. The source was heated at 600 °C. As can be seen, the layer of microparticles with average sizes of 2 micrometer is produced. The segregation of copper particles is clearly shown in the EDS elemental map (**Figure 1b**). The formation of Cu particles is not surprising and complies with our previous results on the pyrolysis of CuO in ammonium chloride [13]. The distribution of other elements (Zn, oxygen, Cl) is rather homogeneous. It should be emphasized that the flat plains with perforated edges, denoted with arrow, can be observed in the central part of the image. They seem to be formed due to the coalescence of molten microparticle edges. The plate-like discs, denoted with asterisks, can be seen in the same region. Both of these structures do not contain copper, as is evidenced by the elemental map in **Figure 1b**.

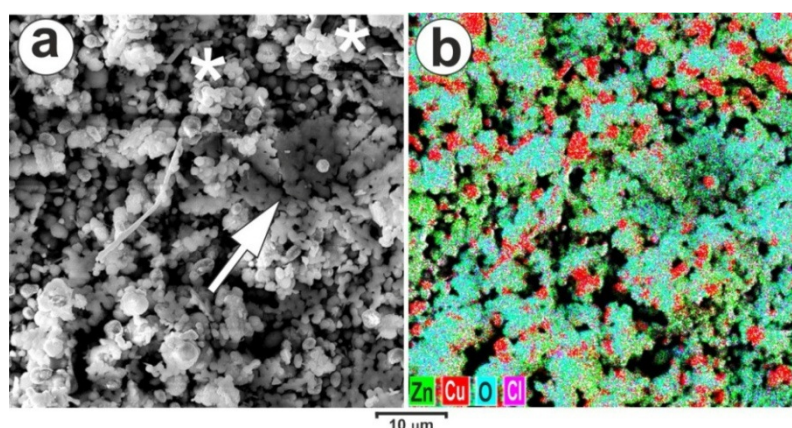


Figure 1. SEM image of layer formed on Si substrate after annealing of source powders at 600 °C (a) and elemental map of same area (b).

The increase of a source temperature up to 650 °C causes the drastic changes in the morphology and structure of the synthesized product, as is represented in **Figures 2** and **3a**. The formation of hexagonal microcrystals with maximum diameters of ca. 20 micrometer can be

observed. The surface distribution of crystals is quite random and their diameters are changed in the wide range. A part of them has an uncompleted hexagonal ring or comprises only part of a hexagon. The segregation of copper particles still presents, while the crystals contain mostly Zn and oxygen. The segregation of copper particles still presents, while the crystals contain mostly Zn and oxygen.

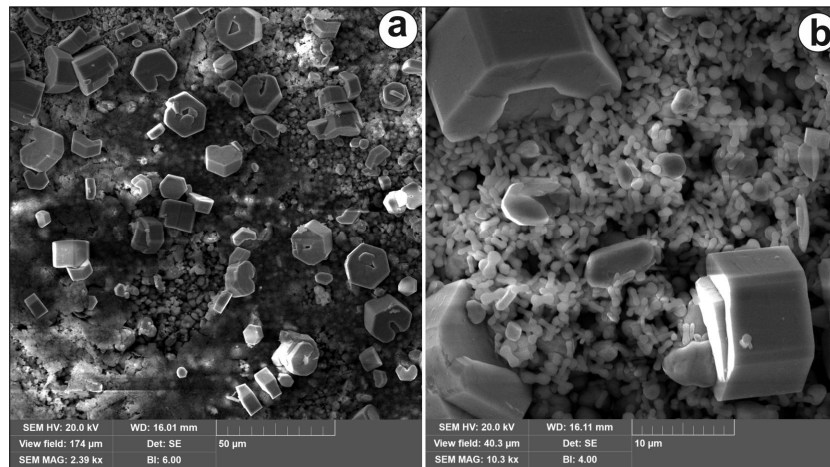


Figure 2. SEM images of materials produced on Si substrate after annealing of source at 650 °C; magnification: (a) $\times 2390$ and (b) $\times 10300$.

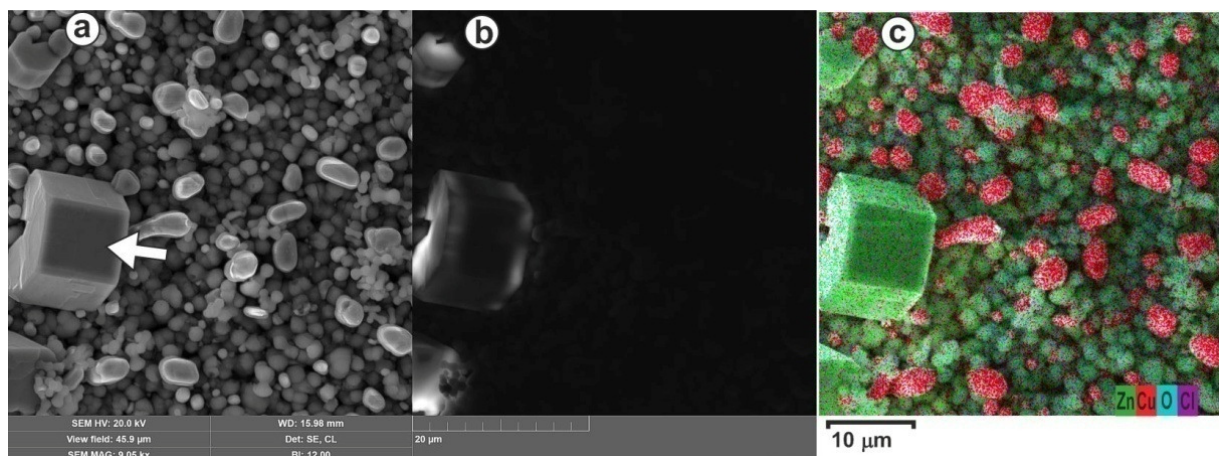


Figure 3. SEM and cathodoluminescence images of part of Si substrate covered with ZnO crystallites and microparticles (a, b) and elemental map of the same area (c).

Table 1 lists the composition of synthesized materials. Data were collected using energy dispersive spectroscopy, which was attached to SEM facility. The compositions are presented as average content of elements over the areas shown in **Figures 1a** and **3a**. To obtain direct composition of a microcrystal, the electron beam was focused on one of its facet (prism plane) indicated by an arrow in **Figure 3a**. Data presented in **Table 1** clearly show that microcrystals consist of Zn and oxygen, and hexagonal ZnO is a most probable candidate for the composition of microcrystals. The excess of oxygen may be caused by its well-known adsorption on the surface of a sample after air exposure. Copper also exists in the microcrystals. However, its concentration does not exceed 0.5 at. %, which is quite below of Cu solubility limit in ZnO (5 at. %. [14]). It should be emphasized that no ZnO microcrystal formation was observed without adding CuO powder in the source material.

Table 1. Composition of synthesized materials.

Element	Composition of area depicted in Figure 1a, at. %	Composition of area depicted in Figure 2a, at. %	Composition of crystal facet marked in Figure 2a, at. %
Zn	19.81	22.45	37.65
O	45.55	44.37	54.38
Cu	12.05	16.74	0.45
Cl	3.85	1.69	–
Si	13.25	7.73	–
C	5.50	7.09	7.52
Total	100	100	100

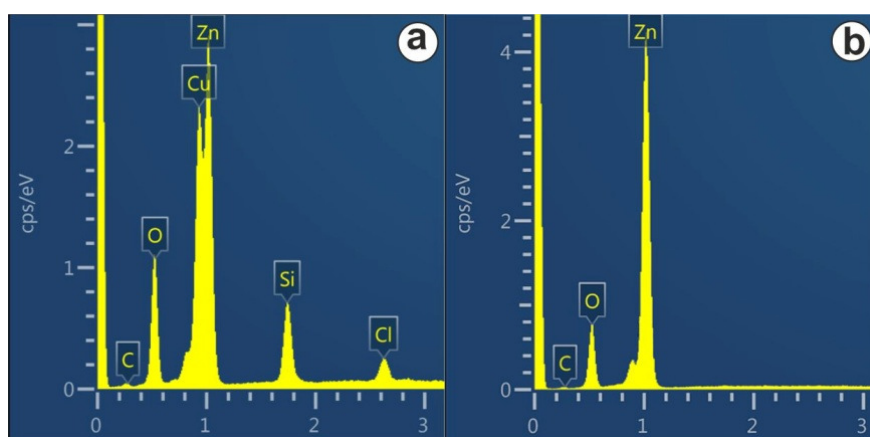
**Figure 4.** EDS peaks obtained from whole area presented in **Figure 3a** (a) and from crystallite indicated with arrow (b).

Figure 4 demonstrates the difference between the overall composition of the area depicted in **Figure 3a** and the composition of the microcrystal marked by an arrow. The peaks of Cu, Cl, and Si are almost completely eliminated.

The cathodoluminescence (CL) image of the area presented in **Figure 3a** is shown in **Figure 3b**. The luminescence is observed only for hexagonal microcrystals proving that the material of microcrystals may have a direct band gap. The last fact can be considered as another approval of the formation of a wurtzite structured ZnO as it has a direct band gap.

TEM image of a microcrystal is presented in **Figure 5** together with the Selected Area Electron Diffraction (SAED) pattern. The calculated interplanar spacings proved once again the formation of wurtzite ZnO (JCPDS card N 036–1451).

One of the major subjects of crystal formation is the nucleation and growth mechanisms. More complex further investigation is needed to clarify these items. However, we can make some assumption based on the obtained results. EDS data illustrate that this material contains Zn, Cu, Cl, and O. The salts like CuCl, CuCl₂, or copper oxychloride – Cu₂(OH)₃Cl can be produced on the Si substrate from precursors that were formed after pyrolysis of source powders. The listed compounds have low melting points ranging from 250 °C for oxychloride, up to 498 °C for CuCl₂. During our growth process, the surface of Si substrate may attain these temperatures. The blurred regions shown at the bottom of **Figure 3** can be possibly attributed to

the solidified molten salt, which may serve as Zn vapor sink. The molten salt growth method is a well established technology for the growth of crystalline materials [15 – 17]. We suppose that after oversaturation with Zn and O, the salt may facilitate the formation of ZnO nuclei, which may then grow either by molten salt method or by vapor phase epitaxy.

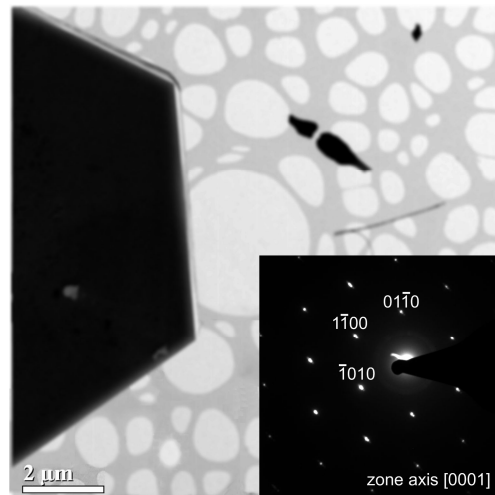


Figure 5. TEM image of thin ZnO plate. Inset Shows Selected Area Electron Diffraction pattern.

In conclusion, we have shown that ZnO microcrystals can be grown using ZnO, CuO, and NH₄Cl powders as source materials. Annealing of the source at 650 °C causes the formation of volatile species, which produce on Si substrate the layer of Cu, Zn, Cl, and O containing microparticles. It is suggested, that ZnO is produced from Cu chlorides or copper oxychloride molten salts, after their oversaturation with zinc and oxygen. The microcrystals with diameters up to tens of micrometers were grown along the *c*-axis and they have the hexagonal wurtzite structure.

Acknowledgement

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) – Grant Number YS–19–087.

References

- [1] V. Parihar, M. Rajam, R. Paulose. Rev. Adv. Mater. Sci., 2018, 53, 119.
- [2] A. N. Ul Haq, A. Nadhman, I. Ullah, G. Mustafa, M. Yasinzai, I. Khan. J. Nanomater., 2017, 8510342, 1-14.
- [3] A. Kołodziejczak–Radzimska, T. Jesionowski. Mater., 2014, 7, 2833.
- [4] T. C. Bharat, S. Mondal, H. S. Gupta, P. K. Singh, A. K. Das. Mater. Today, 2019, 11, 767.
- [5] H. Zheng, D. Wu, Y-L. Wang, X.-P. Liu, P.-Z. Gao, W. Liu, J. Wen, E. V. Rebrov. J. Alloys Comp., 2020, 838,155219.
- [6] X. Shen, H. Shao, Y. Liu, Y. Zhai. J. Mater. Sci. Technol., 2020, 51, 1.
- [7] N. Tiwale. J. Mater. Sci. Technol., 2015, 31,14, 1681.

- [8] Inamuddin, N. Shakeel, A. Imran, S. Kanchi, H. A. Kashmery. *Sci. Rep.*, 2020, 10, 5052.
- [9] A. Aldalbahi, S. Alterary, R. A. A. Almoghim, M. A. Awad, N. S. Aldosar, S. F. Alghannam, A. N. Alabdan. *Molecules*, 2020, 25, 4198.
- [10] J. Santoshkumar, V. Kumar, R. Shanmugam. *Resource-Efficient Technologies*, 2017, 3, 4, 459.
- [11] R. Sharma, R. Garg, A. Kumari. *EXCLI J.*, 2020,19, 1325.
- [12] K. Sadowska. *Biotechnologia*, 2014, 2, 2, 150.
- [13] D. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, N. Makhatadze, A. Jishiashvili, A. Chirakadze, V. Gobronidze. *Nano Studies*, 2019, 19, 285.
- [14] S. Das, V. C. Srivastava. *Nanotechnol. Rev.*, 2018, 7, 3, 267.
- [15] P. Afanasiev. *J. Phys. Chem. C*, 2012, 116, 2371.
- [16] X. Wang, H. Yin, W. Liu, G. Yu, J. He, Z. Tang, L. Yan. *Materials and Corrosion*, 2019, 1.
- [17] T. A. Rozdyalovskaya. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2018, 2, 163.

ბნჩთ-ის როლი თანამედროვე რადიაციულ მედიცინაში (მოკლე მიმოხილვა)

შ. მაქაცარია

საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
shio.makatsaria@gmail.com

მიღებულია 2020 წლის 15 ნოემბერს

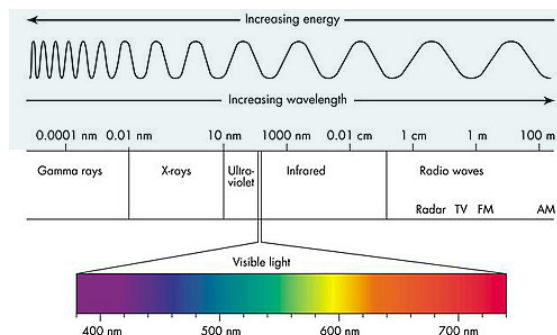
ანოტაცია

მოკლედ არის მიმოხილული ბორის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის თერაპიის (ბნჩთ) როლი თანამედროვე რადიაციულ მედიცინაში. კერძოდ, მოყვანილია ნეიტრონჩამჭერი ბორის ^{10}B იზოტოპის კონცენტრაციის ის მნიშვნელობები, რაც საჭიროა ამ თერაპიის რეალიზებისათვის.

1. შესავალი

დღეს რადიაციის გამოყენება მედიცინაში გავრცელებული და რუტინულია. 100 წლის წინ დანერგილი დიაგნოსტიკური რენტგენოლოგია, ბირთვული მედიცინა და სხივური თერაპია უკვე განვითარების საკმაოდ მაღალ საფეხურზე არიან ასული და თანამედროვე მედიცინის ყველა განხრის აუცილებელ ატრიბუტებად განიხილებიან.

მაიონებელი გამოსხივება მრავალ სარგებელს იძლევა, მაგრამ მას ზიანის მოტანაც შეუძლია. ამიტომ სამედიცინო პრაქტიკაში მისი გამოყენება გულისხმობს რისკი / სარგებელი ფარდობის ინფორმირებულ შეფასებას. ეს განსჯა კი, თავის მხრივ, მოითხოვს არამხოლოდ სამედიცინო ცოდნას, არამედ – რადიაციის, როგორც ფიზიკური ფენომენის, არსის გაგებასაც. რადიაცია არის ენერჯის ნაკადი, რომელიც მოდის წყაროდან ელექტრომაგნიტური ტალღების ან ნაწილაკების კონის სახით.



სურათი 1. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრი.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრის შედარებით დაბალსიხშირულ დიაპაზონს შეესაბამება რადიო- და მიკროტალღები, რომლებიც საზოგადოდ ადამიანისათვის უვნებელია. მზის მიერ გამოსხივებული ხილული სინათლის სპექტრი

მოქცეულია შედარებით გრძელ ინფრაწითელ და შედარებით მოკლე ულტრაიისფერ ტალღებს შორის. ულტრაიისფერი დიაპაზონის გარეთ გამოსხივების ქვანტებს საკმარისი ენერგია აქვთ იმისათვის, რომ ელექტრონები ამოგლიჯონ ატომებიდან. ეს არის იონიზების სახელით ცნობილი პროცესი. **სურათზე 1** წარმოდგენილია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრის დიაპაზონების კლასიფიკაცია ტალღის სიგრძის მიხედვით.

ჩვენ ყველანი ვიღებთ მაიონებელი დასხივების მცირე დოზებს კოსმოსიდან, ატმოსფეროდან და კლდოვანი მასივებიდანაც კი. მედიცინაში მაიონებელი გამოსხივების სათანადო ათვისების არაერთი პროგრამაა შემუშავებული, რამაც შეიძლება გააფართოოს მისი ადამიანზე სასარგებლო ზემოქმედების არეალი. ამასთან გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ცოცხალი არსებების შემადგენელ ატომებთან ურთიერთქმედებისას ამ ფორმის რადიაცია პოტენციურად დამაზიანებელია ჯანმრთელი ქსოვილის, გენებისა და დნმ-ისათვის. შესაბამისად, კონტროლირებადი და მართვადი რადიაციული ზემოქმედება და რისკი / სარგებელი ფარდობის შეფასება ყოველთვის უნდა უსწრებდეს წინ კლინიკური გადაწყვეტილების მიღებას.

არამაიონებელი რადიაცია არის ისეთი გამოსხივება, რომელსაც აქვს ენერგია, საკმარისი მოლეკულაში ატომების გადასადგილებლად ან მათი რხევების გამოსაწვევად, მაგრამ არა – მათგან ელექტრონების მოსაწყვეტად. ეს ნიშნავს, რომ ასეთი დასხივებისას იონები არ წარმოქმნება. მაგრამ სწორედ იონების მაღალი ფიზიკური და ქიმიური აქტივობა განაპირობებს ცოცხალ ქსოვილზე დასხივების ზემოქმედების ეფექტურობას. ამიტომაც, რომ როგორც დიაგნოსტიკური, ისე – თერაპიული მიზნებისათვის თანამედროვე მედიცინა რადიაციის მაიონებელ ფორმებს იყენებს.

წინამდებარე სტატიაში მოკლედ აღწერილია მაიონებელი რადიაციის ძირითადი ფორმები. კერძოდ, დახასიათებულია ბორის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის თერაპია (ბნჩთ), როგორც რადიაციულ მედიცინის ერთერთი პერსპექტიული მიმართულება. მიმოხილვის შედეგისას ვეყრდნობოდით ისეთ წყაროებს, როგორიცაა [1 – 4].

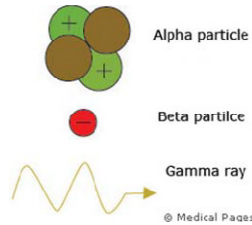
2. მედიცინაში გამოყენებული მაიონებელი რადიაციის სახეები

მაიონიზებული რადიაცია არის გამოსხივების (ნაწილაკების ან ტალღების სახით) ტიპი, რომელსაც აქვს საკმარისი ენერგია, რომ ატომებში ძლიერად ბმული ელექტრონები ამოგდოს მათი ბირთვის გარშემო მოძრაობის ორბიტებიდან და ამით შექმნას დადებითად დამუხტული იონები. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მაიონებელი გამოსხივება არის ნებისმიერი სახის გამოსხივება, რომელსაც შეუძლია ორბიტალური ელექტრონის ამოგლეჯა ატომიდან.

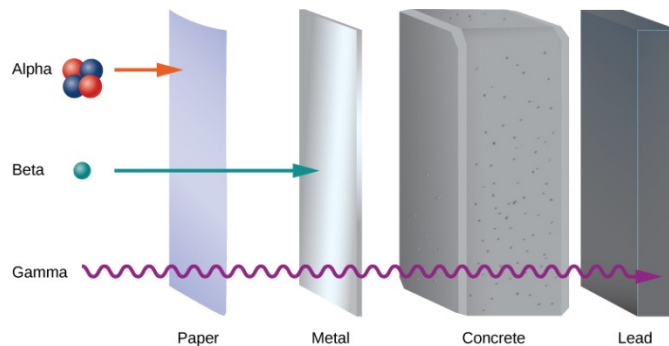
საზოგადოდ, იონიზაცია არის პროცესი, რა დროსაც სტაბილური ნეიტრალური ატომი ან მოლეკულა კარგავს ან ჩაიჭერს ელექტრონებს, რითაც იძენს ელექტრულ მუხტს. ატომს ან მოლეკულას ელექტრული მუხტით ეწოდება იონი, რომლისათვისაც, როგორც წესი, დამახასიათებელია შესაბამისი ნეიტრალური ატომის ან მოლეკულისგან განსხვავებული ელექტრონული თვისებები და ქიმიური აქტივობა.

ადამიანის ორგანიზმში იონიზაციის ეფექტებმა შეიძლება გამოიწვიოს უჯრედების სტრუქტურული ცვლილებები, რადგანაც მაიონებელ გამოსხივებას აქვს საკმარისი ენერგია იმისათვის, რომ შეძლოს ელექტრონის გადაადგილება ატომში მისი ორბიტიდან. ასეთი მაიონებელი გამოსხივება მიიღება გარკვეული ატომბირთვების რადიოაქტიური დაშლის პროცესში. რადიაციის წყაროს წარმოშობის მიხედვით,

ერთმანეთისაგან განასხვავებენ ბუნებრივ და ხელოვნურ რადიოაქტივობებს. რადიოაქტიური დაშლის დროს გამოყოფილი მაიონებული გამოსხივების ძირითადი ტიპებია ალფა- და ბეტა-ნაწილაკები და გამა-სხივები (სურათი 2). მოკლედ დავახსიანოთ თითოეული მათგანი წყაროებისა და მასალათა გამჭოლუნარიანობის (სურათი 3) თვალსაზრისით.

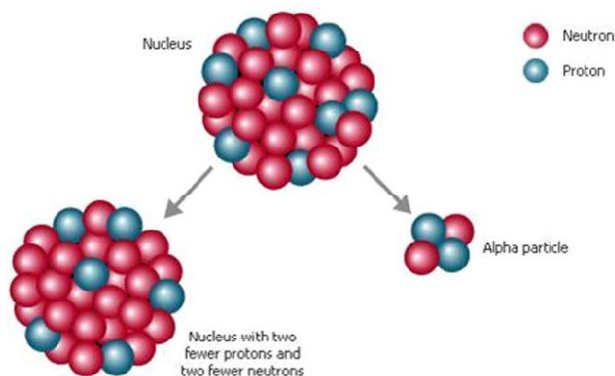


სურათი 2. მედიცინაში გამოყენებული მაიონებული რადიაციის ძირითადი სახეები: ალფა- და ბეტა-ნაწილაკები და გამა-სხივები.



სურათი 3. ალფა- და ბეტა-ნაწილაკებისა და გამა-სხივების შედარებითი გამჭოლუნარიანობა.

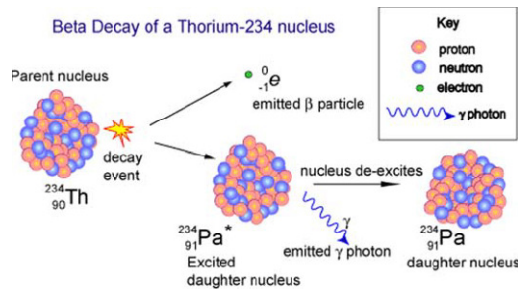
ალფა-გამოსხივებამ განსაკუთრებული პოპულარობა მოიპოვა ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის განვითარების ადრეულ ეტაპზე, როდესაც ის გამოიყენებოდა სხვადასხვა სამიზნის დასაბომბად. ამათგან ყველაზე ცნობილი ექსპერიმენტი ერნესტ რეზერფორდმა ჩაატარა 1917 წელს, რასაც ატომის სტრუქტურის აღმოჩენა მოჰყვა.



სურათი 4. ალფა-ნაწილაკის წარმოქმნა მძიმე რადიოაქტიური ბირთვის დაშლის პროცესში.

მისი შემადგენლობიდან – ორი პროტონი და ორი ნეიტრონი – გამომდინარე, ატომური მასშტაბებით ალფა-ნაწილაკი ანუ ჰელუმის ^4He იზოტოპის ბირთვი დიდი ზომისაა. ჩვეულებრივ, ის გამოიყოფა მხოლოდ ყველაზე მძიმე რადიოაქტიური ბირთვების, მაგალითად, ურანის, აქტინიუმისა და რადიუმის დაშლის დროს

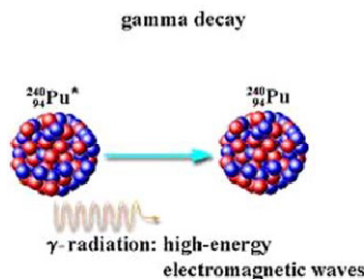
(სურათი 4). მიუხედავად მაღალი ენერჯის და ძლიერი მაიონებელი თვისებებისა, ალფა-ნაწილაკების მასა და ზომა ისეთია, რომ ნივთიერებაში მოხვედრისას ისინი საკმაოდ ადვილად კარგავენ ენერჯიას შედარებით მოკლე მანძილებზე და, შესაბამისად, საკმაოდ ადვილად ჩერდებიან, მაგალითად, ქაღალდის ფურცლის მეშვეობითაც კი.



სურათი 5. თორიუმის ^{234}Th იზოტოპის ბირთვის ბეტა-დაშლის პროცესი.

ისტორიულად ბეტა-ნაწილაკები ეწოდათ მცირე ზომის, სწრაფად მოძრავ, უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს, რომლებიც გამოიყოფოდა ატომის ბირთვიდან მათი სპეციფიკური რადიოაქტიური დაშლის დროს (სურათი 5). შემდგომში გაირკვა, რომ ისინი წარმოადგენენ ელექტრონებს. ბეტა-დაშლის პროცესში ელექტრონის ნაცვლად შეიძლება გამოყოფოდეს მისი ანტინაწილაკი – პოზიტრონი.

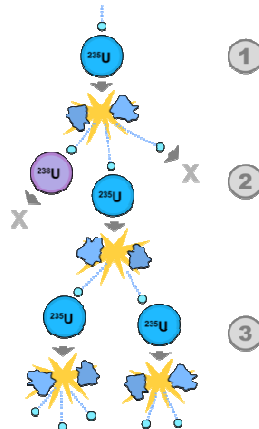
ბეტა-ნაწილაკების ემისია ხდება მაშინ, როდესაც ატომის ბირთვში ნეიტრონებისა და პროტონების რაოდენობათა ფარდობა საკმაოდ მაღალია. ასეთ შემთხვევებში თითოეული ჭარბი ნეიტრონი გარდაიქმნება პროტონად და ელექტრონად. პროტონი რჩება ბირთვში, ხოლო ელექტრონი მაღალი ენერჯით ამოიტყორცნება. ბეტა-ნაწილაკების გამომსხივებლებიდან უფრო მეტად გავრცელებულია ნახშირბადისა და სტრონციუმის, შესაბამისად, ^{14}C და ^{90}Sr იზოტოპების შემცველი წყაროები. ბეტა-ნაწილაკები უფრო გამჭოლია, ვიდრე ალფა-ნაწილაკები, მაგრამ უფრო ნაკლები ზიანის მიმყენებელი იონიზაციის უზნის უფრო დიდ ფართობზე გადანაწილების გამო. ბეტა-ნაწილაკებს შეუძლიათ უფრო დიდი მანძილის გავლა ჰაერში, მაგრამ მათ ადვილად აჩერებს თუნდაც ალუმინის თხელი ფირფიტა.



სურათი 6. პლუტონიუმის ^{240}Pu იზოტოპის ბირთვის ბეტა-დაშლის პროცესი.

გამა-სხივებს, რომლებიც გამოიყოფა როგორც რადიოაქტიულ დაშლისას (სურათი 6), ისე – ბირთვულ აფეთქებების დროს, აქვთ უმცირესი ტალღის სიგრძე და, შესაბამისად, ქვანტის უდიდესი ენერჯია ელექტრომაგნიტური სპექტრის სხვა, პრაქტიკაში გამოყენებად, დიაპაზონებთან შედარებით. ალფა- და ბეტა-ნაწილაკებისაგან განსხვავებით, რომლებსაც აქვთ ენერჯია და უძრავობის მასა, გამა-სხივები „სუფთა“ ენერჯიაა. გამა-ქვანტების ენერჯია ისე მაღალია, რომ მათ

შესაკავებლად საჭიროა რამდენიმეშრიანი ან სქელი ტყვიის ანდა ბეტონის ფენები. გამასხივებს შეუძლიათ პრაქტიკულად შეუფერხებლად გაიარონ ადამიანის სხეულში და ამ დროს დააზიანონ ქსოვილი და დნმ.



სურათი 7. ნეიტრონული ჯაჭვური რეაქცია ურანის ^{235}U იზოტოპის ბირთვის მონაწილეობით.

ნეიტრონების წყაროებიც ბირთვული რეაქციებია. კერძოდ, ატომურ ენერგეტიკაში ნეიტრონული ჯაჭვური რეაქციები გამოიყენება. მაგალითად, ნეიტრონის ურთიერთქმედებით ურანის ^{235}U იზოტოპის ბირთვთან (სურათი 7) მიიღება 3 ნეიტრონი, რომელთაგანაც 2 ურთიერთქმედებს სხვა ^{235}U ბირთვებთან და ა.შ. – ჯაჭვურად იზრდება ნეიტრონების რიცხვი ბირთვული რეაქტორის აქტიურ ზონაში.

ნეიტრონული გამოსხივება მაიონებელი რადიაციის განსაკუთრებულ ფორმას წარმოადგენს. საქმე ისაა, რომ, ერთი მხრივ, ნეიტრონს, დამუხტული ალფა- და ბეტა-ნაწილაკების მსგავსად, აქვს უძრაობის მასა, მაგრამ, მეორე მხრივ, უმასო გამა-ქვანტის მსგავსად, ის ელექტრულად ნეიტრალურია. ელექტრონეიტრალობის გამო ნეიტრონს არ შეუძლია ატომის პირველადი იონიზაცია ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედებით მისგან ელექტრონის მოწყვეტით. სამაგიეროდ ის შედის ძლიერ ურთიერთქმედებაში ატომის ბირთვთან და იწვევს მეორად იონიზაციას პროტონის ამოგლეჯით ბირთვიდან.

ეს პროცესი განსაკუთრებით აქტიურად მიმდინარეობს ცოცხალ ქსოვილში, რადგანაც, როგორც ცნობილია, უჯრედი ძირითადად წყლისაგან შედგება და, შესაბამისად, ძალზე მაღალია მასში წყალბადის კონცენტრაცია. წყალბადის ატომის ბირთვი კი სხვა არაფერია, გარდა გამხოლოებული პროტონისა. ამიტომ ნეიტრონული გამოსხივების სამედიცინო მიზნით გამოყენებისას აუცილებელია მისი სპეციფიკის გათვალისწინება: ელექტრონეიტრალობის წყალობით ნეიტრონული ნაკადი ადვილად გაივლის ადამიანის სხეულის გარე ფენას და იწვევს შინაგანი ორგანოების პროტონირებას, რაც მათი მძიმე დაზიანების მიზეზი შეიძლება გახდეს.

3. როგორ განვსაზღვროთ რადიაცია

ადამიანების დასხივების წყაროები შეიძლება დავეყოს ორ დიდ კლასად – ბუნებრივ და ხელოვნურ წყაროებად. აქ არ განვიხილავთ ბირთვული ობიექტების მომსახურე პერსონალის დასხივებას და, მით უმეტეს, ისეთ ექსტრემალურ სიტუაციებს, როგორცაა მოსახლეობის დასხივება ბირთვული იარაღის გამოყენების შემთხვევაში.

იმ დასხივების თითქმის ნახევარი, რომელსაც ვიღებთ, მოდის გარემოდან. დედამიწის ქერქში აღმოჩენილი მრავალი ელემენტი ასხივებს, მათ შორის, ურანი,

რადიუმი, პოლონიუმი, თორიუმი და კალიუმი. ზემოქმედების დონე დამოკიდებული იქნება ადგილობრივი ნიადაგისა და ქანების ტიპზე. დასხივების კიდევ ერთი ბუნებრივი წყაროა კოსმიური გამოსხივება: დედამიწა მუდმივად განიცდის მზის, სხვა ვარსკვლავებისა და მთელი სამყაროდან მომდინარე რადიაციის ზემოქმედებას. ბუნებრივი რადიაციის ყველაზე მავნე წყაროა რადონი – უფერული და უსუნო გაზი, რომელიც წარმოიქმნება რადიუმის დაშლის შედეგად. ეს ელემენტი თითქმის ყველა ქანსა და ნიადაგშია. რადონის გაზი შენობებში აღწევს ბზარებიდან და სხვაგვარი ღიობებიდან იატაკებსა და კედლებში.

ქვეყნებში, განვითარებული კლინიკური სექტორით, ადამიანებზე რადიაციული ზემოქმედების მეორე ნახევარი განპირობებულია სამედიცინო წყაროებით. ამგვარ რადიაციულ დაზიანებათა უმეტესობა მოდის სტანდარტულ რენტგენულ გამოკვლევასა და კომპიუტერული ტომოგრაფიით დაავადებათა დიაგნოსტიკაზე.

პრაქტიკაში გამოსხივებას ოთხი ერთმანეთისაგან განსხვავებული, მაგრამ ურთიერთდაკავშირებული სიდიდით ზომავენ. ესენია:

- რადიოაქტივობა, რაც გულისხმობს ნივთიერებისაგან გამოთავისუფლებული მაიონებული გამოსხივების სიდიდეს;
- ექსპოზიცია, რომელიც ზომავს რადიოაქტიურობის სიდიდეს გამოსხივების ატმოსფერულ ჰაერში გავრცელებისას;
- შთანთქმული დოზა, რომელიც აღწერს რადიაციის რა რაოდენობას შთანთქავს ობიექტი (მაგალითად, პაციენტის სხეული რადიაციული თერაპიის პროცედურის განმავლობაში); და
- ეფექტური დოზა, რომელიც ითვალისწინებს როგორც შთანთქმულ დოზას, ისე – მოცემული ტიპის გამოსხივების სამედიცინო ეფექტებს.

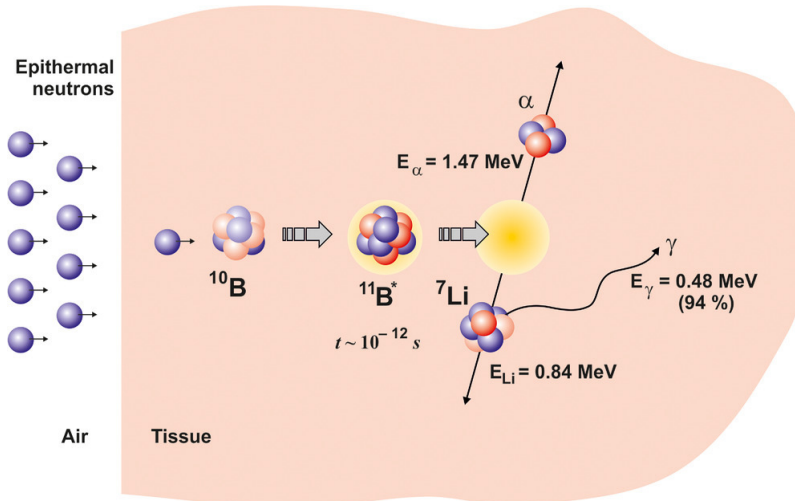
4. ბორის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის თერაპიის განვითარება

იმის გათვალისწინებით, რომ კიბოთი ავადობა და სიკვდილიანობა კვლავ რჩება შედარებით მუდმივ მაღალ დონეზე, მიგვაჩნია, რომ კიბოს ალტერნატიული თერაპიები და, კერძოდ, ბორის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის თერაპია – ბნჩთ (Boron Neutron Capture Therapy – BNCT) შემდგომ განვითარებას იმსახურებს.

ნეიტრონის არსებობა პირველად დაადასტურა ჩედვიკმა 1932 წელს, რომელმაც შეისწავლა ბერილიუმიდან და ბორიდან გამოყოფილი გამჭოლი გამოსხივების თვისებები, როდესაც ისინი პოლონიუმის დაშლით მიღებული ალფა-ნაწილაკებით იბომბებოდნენ. სულ მალე ნეიტრონის აღმოჩენიდან რამდენიმე მკვლევარმა ერთმანეთს შეადარა ნეიტრონებისა და რენტგენის სხივების გავლენა ნორმალურ და სიმსივნურ ქსოვილებზე. ამ კონტექსტში უნდა აღინიშნოს, რომ ნეიტრონებით დასხივებისას სიმსივნური ქსოვილი უფრო მეტ დოზას იღებს, ვიდრე – ნორმალური.

დღეს ბნჩთ-ის მიმართ ინტერესის ბუმი, რაც ორი ფაქტორით არის განპირობებული. ერთი მხრივ, შეიქმნა საკმაოდ სიმძლავრისა და სათანადო ენერგეტიკული სპექტრის მქონე პორტატული ნეიტრონული წყაროები, რაც საშუალებას იძლევა, რომ ეს თერაპიული პროცედურა განხორციელდეს ჩვეულებრივ კლინიკაში და აღარაა აუცილებელი სპეციალური კლინიკის მოწყობა ბირთვული რეაქტორის უშუალო სიახლოვეს. მეორე მხრივ, მიღებულია ბორის მაღალი კონცენტრაციის შემცველი ნაწარმები, რომლებიც კიბოთი დაზიანებულ უჯრედებამდე ^{10}B იზოტოპის ეფექტურად გადამტანებს წარმოადგენენ.

ბნჩთ ემყარება ^{10}B ბირთვის მიერ ე.წ. სითბური (ნელი) ან ეპისითბური ნეიტრონის ჩაჭერასა და მისი გახლეჩის $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$ რეაქციას (სურათი 8). ^{10}B ბირთვები, ჩაიჭერენ რა ნეიტრონებს, თითქმის მყისიერად ასხივებენ ალფა-ნაწილაკს ^4He , ლითიუმის ბირთვს ^7Li და γ -ქვანტს დაბალი ენერგიის წრფივი გადაცემით – ეწგ (Linear Energy Transfer – LET).



სურათი 8. ბორის ^{10}B იზოტოპის ბირთვის მიერ ეპისითბური ნეიტრონის ჩაჭერა და მისი შემდგომი გახლეჩის რეაქცია.

ბორის ^{10}B იზოტოპის ბირთვის მიერ შთანთქმული ნეიტრონების ენერგია დაბალია: < 0.5 ევ, მაგრამ $^{10}\text{B} + n \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$ რეაქციის შედეგად გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკი და ლითიუმის ბირთვი იძენენ მაღალ ენერგიას (გახლეჩილი ბირთვის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე) და იმავდროულად ხასიათდებიან მაღალი ეწგ-ით, შესაბამისად, 150 და 175 კევ/მკმ. ამ ნაწილაკების თავისებურება ისაა, რომ ისინი უზრუნველყოფენ ენერგიის მაღალ გადაცემას ძალიან მოკლე მანძილზე, < 10 მკმ, რომელიც შესადარისია უჯრედის დიამეტრთან.

ბნჩთ-ის ეფექტურობა და უსაფრთხოებაც დამოკიდებულია ^{10}B ატომების სიმსივნურ უჯრედებში ლოკალიზებულობის ხარისხზე, რადგანაც ამ ტიპის მეთოდების გამოყენებით ნადგურდება მხოლოდ ^{10}B ატომების საკმაო კონცენტრაციის შემცველი უჯრედები. ივარაუდება, რომ ნებისმიერი უჯრედი, რომელიც მათ არ შეიცავს, პრაქტიკულად დაცულია მაღალი ინტენსივობის ნეიტრონული გამოსხივების ზემოქმედებისაგან. ქსოვილში ნეიტრონმშთანთქმელი ცენტრების მინიმალური კონცენტრაცია, რომელიც საჭიროა ლეტალური დაზიანებისათვის ბნჩთ-ში დაახლოებით არის $1 \cdot 10^9$ ^{10}B ატომი/უჯრედზე ანუ 20 მკგ/გ ქსოვილზე.

ამრიგად, ბნჩთ-ის ეფექტურობა უფრო მეტად სიმსივნურ არეში ^{10}B ატომების მიწოდებით განისაზღვრება, ვიდრე ნეიტრონული სხივის მახასიათებლებით. შესაბამისად, დღეს ბორის მიწოდებელი აგენტების შექმნაზე მუშაობა ძალზე აქტიურია. ბორის ნაერთის მისაწოდებლად, ჩვეულებრივ, გამოიყენება ინტრავენური ინფუზია, რასაც მოსდევს დასხივება სითბური ნეიტრონებით. ^{10}B ატომების შემცველი აგენტების სპეციფიკურად სიმსივნურ უჯრედებში მიწოდების გამო, ნეიტრონული სხივები შერჩევით ანადგურებენ სიმსივნურ უჯრედებს, მაშინ როდესაც მიმდებარე ნორმალური ქსოვილის სტრუქტურა თითქმის უცვლელი რჩება.

ქვემოთ მოყვანილია ბორის მიწოდების აგენტებისადმი წაყენებული აუცილებელი მოთხოვნები:

- ბორის კონცენტრაცია სიმსივნეში უნდა იყოს ~ 20 მკგ $^{10}\text{B/g}$ ქსოვილში;
- ბორის კონცენტრაციების ფარდობები სიმსივნე / ნორმალური ქსოვილი (T/N) და სიმსივნე / სისხლი T/B უნდა იყოს არანაკლებ 3;
- სისხლისა და ნორმალური ქსოვილების სწრაფი გაწმენდა;
- დაბალი სისტემური ტოქსიკურობა; და
- სიმსივნეში ბორის ატომების კონცენტრაციის მუდმივობა ბნჩთ-პროცედურის განმავლობაში.

პირველი თაობის ბორის ნაერთებს, რომლებიც გამოიყენებოდა 1950- და 1960-იან წლებში ჩატარებულ ბნჩთ-ის კლინიკურ კვლევებში, წარმოადგენენ ბორის მჟავა და მისი ნაწარმები. მეორე თაობის ნაერთებს განეკუთვნებიან, მაგალითად, ნატრიუმის მერკაპუნტეკაჰიდრო-კლოდო-დოდეკაბორატი ($\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$), ნატრიუმის ბოროკაპტატი (BSH) და, აგრეთვე, ბორშემცველი ამინომჟავა (L)-4-დიჰიდროქსი-ბორილფენილალანი ან ბრონოფენილალანინი (BPA). აღსანიშნავია, რომ ამ ნაერთებს ამჟამადაც იყენებენ მრავალ კლინიკურ კვლევაში.

5. შემაჯამებელი შენიშვნები

ბნჩთ აერთიანებს ორ ფუნდამენტურ მიდგომას: ქიმიოთერაპიასა და რადიოთერაპიას. მიუხედავად იმისა, რომ სიმსივნის უჯრედებში ბორის ნაერთების მაღალი კონცენტრაცია ხელს უწყობს ნეიტრონული დასხივების ეფექტურობას, კონკრეტულ სიტუაციაში ბნჩთ შეიძლება ვერ განხორციელდეს ბორის მიმწოდებელი ნივთიერებების არასპეციფიკურობის, სისხლში ბორის შემცველი აგენტების არსებობისა და არაადეკვატური გამოსხივების დოზის გამო.

რა თქმა უნდა, ამ ტიპის თერაპია ჯერ კიდევ არ არის ფართო მასშტაბით ხელმისაწვდომი სიმსივნის მკურნალობისათვის და მისი გამოყენების ჩვენებები შეზღუდულია. დღეისათვის ბნჩთ გამოყენებულია შემდეგი სიმსივნეების სამკურნალოდ: მულტიფორმული გლიობლასტომა, ყელის სიმსივნე, მრავალფოკალური ჰეპატოცელულური კარცინომა, განმეორებადი ფილტვის სიმსივნე, ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა, სანერწყვე ჯირკვლის კარცინომა, სარკომა, განმეორებითი ავთვისებიანი მენინგიომა და პაჯეტის დაავადება.

დამოწმებანი

- [1] Д. Мур. Основы и применения трибоники, 2018, Москва, Мир, 122-125.
- [2] T. Xie, Zh. H. Zhou, Zh. X. Xu, J. W. Yu, M. H. Jiao. Characteristics of the transfer film and tribological properties of oxide / PTFE composites. *Adv. Mater. Res.*, 2013, 631/632, 172-175.
- [3] S. R. Yu, H. X. Hu, Y. B. Zhang, Y. H. Liu. Effect of transfer film on tribological behavior of polyamide 66-based binary and ternary nanocomposites. *Polymer Int.*, 2008, 57, 3, 454-462.
- [4] M. H. Cho. The role of transfer film and back transfer behavior on the tribological performance of polyoxymethylene in sliding. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2009, 23, 8, 2291-2298.

წყალმცენარის *Spirulina platensis* ღა pH-ის
ურთიერთდამოკიდებულების საკითხი

ნ. კუჩავა

ე. ანდრონიკაშვილის სახ. ფიზიკის ინსტიტუტი
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო
e.kuchava@mail.ru

მიღებულია 2019 წლის 12 დეკემბერს

ანოტაცია

მოცემულია ციანობაქტერიის *Spirulina platensis* ღა pH-ის ურთიერთდამოკიდებულების საკითხის გარკვევის მცდელობა, რისთვისაც განხილულია შემთხვევები, როცა ექსპერიმენტის საწყის დღეებში აღნიშნული წყალმცენარის მკვებავ Zarrouk-გარემოში სხვადასხვა რაოდენობითა და სხვადასხვა დროს ცალკ-ცალკე ჩატვირთულია შემდეგი ქიმიური ელემენტები: Cu, Zn, Ni, Hg, Cd და Ag. შედეგები მიღებულია ატომური აბსორბციული სპექტრომეტრის მეთოდით და წარმოდგენილია ცხრილების სახით.

როგორც ცნობილია, წყალმცენარე *Spirulina platensis* შეიცავს ბევრ ნივთიერებას: ფერმენტებს, ცილებს, ნუკლეინის მჟავებს და მრავალ სხვას. ის განიხილება იმ მიკროორგანიზმად, რომლის გაჯერება ამინომჟავებით, ვიტამინებით, ცხიმოვანი მჟავებით და სხვებით იძლევა საშუალებას ის გამოვიყენოთ ადამიანისა და ცხოველთა საკვების უაღრესად საჭირო დანამატად [1]. დადგენილია, რომ აღნიშნული ციანობაქტერიის შემცველობა ადამიანისა და ცხოველთა საკვებში ხელს უწყობს სხვადასხვა ნივთიერებათა ათვისებას ორგანიზმის მიერ, აგრეთვე, ზრდის სისხლში ჰემოგლობინის რაოდენობას. შრომაში [2], სხვა საკითხებთან ერთად, დასმულია *Spirulina platensis*-ის გამოყენების საკითხი ადამიანისა და ცხოველთა საკვების განვითარების პერსპექტივის შესახებ. ვარაუდობენ, რომ აღნიშნული წყალმცენარე ებრძვის თავისუფალ რადიკალებს, რის გამოც ითრგუნება სიმსივნური წარმონაქმნების ზრდა. მისი უაღრესად მნიშვნელოვანი თვისებებით სარგებლობასთან დაკავშირებით შესაძლებელია ბევრი სამეცნიერო-ტექნიკური სფეროს დასახელება, მაგრამ ამჯერად მხოლოდ ზემოთ აღნიშნულით შემოვიფარგლებით.

ე. ანდრონიკაშვილის სახ. ფიზიკის ინსტიტუტში გამოკვლევები ჩატარდა IPPAS B-265 ტიპის *Spirulina platensis*-ის ბიომასის საშუალებით, რომელიც მიღებულ იქნა რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის კ. ტიმირიაზევის სახ. მცენარეთა ფიზიოლოგიის ინსტიტუტიდან. აღნიშნული წყალმცენარის კულტივირება წარმოებს მკვებავ Zarrouk-გარემოში [3] მუდმივი განათებისას, 30 – 34 °C ტემპერატურის პირობებში. ხდება უწყვეტი ბარბატირება და ექსპერიმენტში pH-ის ცვლილების ყოველდღიური

კონტროლი. შრომაში [4] გამოკვლეულია *Spirulina platensis*-ის მიერ ვერცხლის შეწოვის ალბათობა სხვადასხვა pH-ის პირობებში და აღნიშნულია, რომ ნეიტრალური pH-ის შემთხვევაში ბიოსორბცია მუდმივად მაღალია. შრომაში [5] ნაჩვენებია pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის ბიომასის ზრდის პროცესში Zarrouk მკვებავ გარემოში სხვადასხვა კონცენტრაციით ტყვიისა (Pb) და ტყვიას + სპილენძის (Pb + Cu) დამატებით.

pH-ის შესახებ, უნდა გავიმეოროთ შემდეგი საყოველთაოდ ცნობილი დებულება: ის წარმოადგენს წყალბადის იონთა კონცენტრაციის შებრუნებულ ათობით ლოგარითმს $pH = -\lg [H^+]$ ანუ ხსნარში OH^- იონების ათობითი ლოგარითმის შებრუნებულ სიდიდეს. ის აღნიშნავს ამა თუ იმ სუბსტანციის მჟავიანობას ან ტუტეიანობას. თუ $pH = 7$, რეაქცია ნეიტრალურია, თუ < 7 – მჟავაა, ხოლო თუ > 7 – ტუტე. *Spirulina platensis* იზრდება ძლიერ ტუტოვანი წყლებში. ცნობისათვის, სუფთა წყლის $pH = 7.0$, ზღვის წყლის 8.0, ხოლო სისხლის 7.36 – 7.44. pH უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლისუნარიანობისათვის [6]. შრომაში [7] წარმოდგენილია pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის ბიომასის ზრდის მიხედვით, აგრეთვე, ზოგიერთი ბიოგენური და ტოქსიკური ქიმიური ელემენტის აკუმულირების უნარი მკვებავ გარემოში მათ ჩატვირთვამდე და ჩატვირთვის შემდეგ. ამასთან ერთად, წყალმცენარის ლიოფილურად გამომშრალ ბიომასაში შესწავლილია სპილენძის, მანგანუმის, თუთიის, მაგნიუმისა და ნატრიუმის შემცველობა. მოკლედაა განხილული *Spirulina platensis*-ის მიერ ვერცხლისა და ოქროს ნანონაწილაკების წარმოქმნის შესაძლებლობა. შრომაში [8] ატომური აბსორბციული სპექტრომეტრიის მეთოდით შესწავლილია *Spirulina platensis*-ის ბიომასის ცვლილების საკითხი, როცა ექსპერიმენტის საწყისი დღეებში მკვებავ გარემოში ცალკ-ცალკე ჩავტვირთეთ 8 ქიმიური ელემენტის წინასწარ განსაზღვრული რაოდენობები.

წინამდებარე სამუშაო ციანობაქტერიის *Spirulina platensis* და pH-ის ურთიერთდამოკიდებულების საკითხის გარკვევის მცდელობაა. ამ მიზნით განხილულია შემთხვევები, როცა ექსპერიმენტის საწყისი დღეებში აღნიშნული წყალმცენარის მკვებავ Zarrouk გარემოში სხვადასხვა რაოდენობით და სხვადასხვა დროს ცალკ-ცალკე იქნა ჩატვირთული შემდეგი ქიმიური ელემენტები: Cu, Zn, Ni, Hg, Cd და Ag. შედეგები მიღებულია ატომური აბსორბციული სპექტრომეტრიის მეთოდის გამოყენებით და წარმოდგენილია ცხრილების სახით. უნდა აღინიშნოს, რომ წინამდებარე შრომატევადი სამუშაოს შესრულებაში ავტორთან ერთად მონაწილეობდნენ სხვა მეცნიერ თანამშრომლებიც – დიდი მადლობა მათ.

ცხრილი 1. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში სპილენძის (Cu) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 5 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული სპილენძის (Cu) რაოდენობა, მგ/ლ	დღე				
	1	2	3	4	5
კონტროლი	10.24	10.96	11.67	11.52	11.60
0.05	9.92	11.09	11.51	11.10	11.15
0.25	10.05	10.93	11.48	10.90	11.22
0.5	9.96	10.24	10.80	10.92	11.00
1	10.02	9.90	10.67	11.03	11.28
2.5	9.64	9.52	9.94	10.02	10.19

განვიხილოთ pH-ის ცვლილება წყალმცენარის მკვებად გარემოში სპილენძის (Cu) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 5 დღის განმავლობაში, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილში 1. როგორც ცხრილიდან ჩანს, მკვებად გარემოში სპილენძის სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას განსხვავება pH-ის მნიშვნელობებს შორის შედარებით მცირეა საწყისი – 1-ლი დღის განმავლობაში. იმ შემთხვევაში, როცა ჩატვირთული სპილენძის რაოდენობა შეადგენდა 0.05 მგ/ლ-ს, pH-ის მნიშვნელობები მე-2 – მე-5 დღეებში ახლოს იყო ერთმანეთთან და კონტროლთანაც, ხოლო 1-ლ დღეს – ცოტათი შემცირებული. რაც შეეხება მკვებად გარემოში ჩატვირთულ 2.5 მგ/ლ სპილენძს, ამ შემთხვევაში ნათლად გამოხატული მკვებადი გარემოს pH-ის მნიშვნელობათა შემცირება კონტროლთან შედარებით ხუთივე დღის განმავლობაში.

ცხრილი 2. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებად გარემოში თუთიის (Zn) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 5 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული თუთიის (Zn) რაოდენობა, მგ/ლ	დღე				
	1	2	3	4	5
კონტროლი	10.00	10.53	10.57	11.99	11.23
0.5	9.34	10.41	11.14	11.34	–
10	9.77	10.06	10.96	10.50	10.48
25	9.90	10.09	10.10	10.18	10.05
50	9.87	9.94	9.69	9.65	9.72

განვიხილოთ pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებად გარემოში თუთიის (Zn) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 5 დღის განმავლობაში. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2. pH-ის საწყისი მნიშვნელობა იყო 8.9. როგორც ცხრილიდან ჩანს, pH-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა (11.99) აღინიშნა კონტროლის შემთხვევაში მე-4 დღეს, ხოლო მინიმალური მნიშვნელობა – 1-ლ დღეს, როდესაც მკვებად გარემოში ჩატვირთული იყო 0.5 მგ/ლ თუთია (რომლის მნიშვნელობაც ექსპერიმენტის მეხუთე დღეს არ მოგვეპოვება ტექნიკურ მიზეზთა გამო). როგორც ცხრილი გვიჩვენებს, მკვებად გარემოში 50 მგ/ლ თუთიის ჩატვირთვისას pH-ის სიდიდე შემცირებულია ყველა დღის განმავლობაში.

ცხრილი 3. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებად გარემოში ნიკელის (Ni) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 7 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული ნიკელის (Ni) რაოდენობა, მგ/ლ	დღე					
	1	2	3	4	5	7
კონტროლი	9.87	10.14	10.20	10.50	10.59	10.70
0.075	9.80	10.20	10.37	10.63	10.82	11.39
0.25	9.99	10.35	11.03	11.48	11.39	11.59
1.5	10.0	10.32	10.64	11.45	11.64	11.83
2.5	9.99	10.35	10.73	11.14	11.37	11.25
5	9.77	10.15	10.53	10.63	10.82	11.00

ცხრილში 3 მოცემულია pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ Zarrouk გარემოში ნიკელის (Ni) სხვადასხვა რაოდენობის ჩატვირთვისას საწყისი 7 დღის განმავლობაში. ცხრილიდან ჩანს, რომ არა გვაქვს მე-6 დღის შედეგები ტექნიკურ მიზეზთა გამო. ნიკელის შერჩეულ რაოდენობათა ჩატვირთვისას შესამჩნევია მკვებავი Zarrouk გარემოს pH-ის ზრდის ტენდენცია კონტროლთან შედარებით, რაც ნათლად შეინიშნება მე-4, მე-5 და მე-7 დღეების შედეგების მიხედვით.

ცხრილი 4 ასახავს pH-ის ცვლილებას *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში ვერცხლისწყლის (Hg) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში. როგორც ეს ცხრილი გვიჩვენებს, პირველი ოთხი დღის განმავლობაში ვერცხლისწყლის ყველა ჩატვირთული რაოდენობისათვის შეინიშნება pH-ის ზრდის ტენდენცია, ხოლო მეექვსე დღეს – განსხვავება pH-ის მნიშვნელობათა შორის თითქმის აღარ არის.

ცხრილი 4. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში ვერცხლისწყლის (Hg) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული ვერცხლისწყლის (Hg) რაოდენობა, მკგ/ლ	დღე					
	1	2	3	4	5	6
კონტროლი	9.42	9.76	10.34	11.05	11.57	11.23
0.1	9.63	10.01	10.59	11.20	11.38	11.25
1	9.55	9.98	10.49	11.24	11.49	11.28
5	9.60	9.98	10.48	11.35	11.15	11.30
50	9.67	10.04	10.46	11.45	11.33	11.23

ცხრილი 5. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში კადმიუმის (Cd) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული კადმიუმის (Cd) რაოდენობა, მკგ/ლ	დღე					
	1	2	3	4	5	6
კონტროლი	9.65	9.94	10.32	10.85	10.33	10.15
1	9.42	9.84	10.15	10.43	11.00	10.62
5	9.45	9.81	10.22	10.56	10.60	10.45
10	9.45	9.77	10.17	10.64	10.47	10.25
40	9.40	9.69	9.78	9.87	10.21	10.37

განვიხილოთ **ცხრილში 5** წარმოდგენილი pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში კადმიუმის (Cd) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში. ექსპერიმენტში რეაქტივად გამოყენებულ იქნა კადმიუმის ქლორიდი $CdCl_2 \cdot 2.15H_2O$. საწყისი სუსპენზიის pH = 8, რომლის მნიშვნელობაც ექსპერიმენტის ყველა შემთხვევაში გაზრდილია. როგორც ცხრილიდან ჩანს, მკვებავ გარემოში კადმიუმის 5-, 10- და 40-ჯერ განსხვავებულ რაოდენობათა ჩატვირთვის მიუხედავად, ოთხივე შემთხვევაში ექსპერიმენტის პირველ დღეს pH-ის რაოდენობა არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან და კონტროლთან შედარებით ცოტათი მცირეა. მეორე

დღესაც თითქმის ისეთივე მდგომარეობაა, ოღონდ, მკვებავ გარემოში კადმიუმის 40 მგ/ლ-ის ჩატვირთვისას, სხვებისაგან განსხვავებით, ცოტათი შემცირებულია. ასეთივე სიტუაციაა მე-3 – მე-5 დღეების განმავლობაშიც. მე-6 დღეს კი აღნიშნული ქიმიური ელემენტისათვის pH-ის მნიშვნელობა კონტროლთან შედარებით უმნიშვნელოდ არის მომატებული.

ცხრილში 6 წარმოდგენილია pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში ვერცხლის (Ag) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში. ვერცხლის სხვადასხვა ნაერთიდან რეაქტივად ექსპერიმენტისათვის შერჩეულ იქნა ვერცხლის ნიტრატი AgNO₃. მკვებავი გარემოს საწყისი pH = 8.27. ცხრილი გვიჩვენებს, რომ მკვებავ გარემოში ჩატვირთული ვერცხლის რაოდენობა წარმოდგენილი ოთხი შემთხვევისათვის საკმაოდ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. მაგრამ აღნიშნულმა pH-ის ცვლილებაზე ნაკლები ასახვა ჰპოვა 1-ლ, მე-2 და, ნაწილობრივ, მე-3 დღეებში. მე-4 დღიდან მოყოლებული pH-ის რაოდენობამ მოიმატა, რაც აშკარად შესამჩნევი გახდა მე-5 და მე-6 დღეებისათვის. კონტროლის შემთხვევაშიც თითქმის იგივე კანონზომიერებას აქვს ადგილი.

ცხრილი 6. pH-ის ცვლილება *Spirulina platensis*-ის მკვებავ გარემოში ვერცხლის (Ag) სხვადასხვა რაოდენობათა ჩატვირთვისას საწყისი 6 დღის განმავლობაში.

ჩატვირთული ვერცხლის (Ag) რაოდენობა, მგ/ლ	დღე					
	1	2	3	4	5	6
კონტროლი	9.56	9.55	9.96	10.59	11.80	11.78
0.13	9.50	9.59	10.10	11.23	11.82	11.74
3.11	9.59	9.54	10.00	10.78	11.74	11.01
8	9.29	9.54	9.95	10.57	11.79	11.70
40	9.58	9.50	9.99	10.72	11.73	11.20

საბოლოოდ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დასმული საკითხის შესწავლამ, როცა ჩატარებულ ექსპერიმენტებში საწყისი დღეების განმავლობაში სხვადასხვა რაოდენობით და სხვადასხვა დროს ციანობაქტერიის მკვებავ Zarrouk გარემოში ცალკე-ცალკე იქნა ჩატვირთული 6 ქიმიური ელემენტი, გარკვეული წარმოდგენა შეგვიქმნა წყალმცენარე *Spirulina platensis*-ის და pH-ის ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ.

დამოწმებანი

- [1] Н. А. Пронина, Ю. И. Ковшова, В. В. Попова, Л. Н. Цоглин. Химия и компьютерное моделирование – Бутлеровские сообщения, 2001, 5, 1999-2001.
- [2] S. Molnar, A. Kiss, D. Virag, P. Forgo. Chem. Eng. Proc. Technol., 2013, 4, 7, 2157-2160.
- [3] C. Zarrouk. Doctoral Thesis, 1966, Paris, Univ. Paris, 1-146.
- [4] E. Gelagutaschvili, E. Ginturi, N. Kuchava, N. Bagdavadze, A. Rcheulishvili. arXiv:1106.0594 [physics.chem-ph], 2011, 1-6.

- [5] ე. ღელაღუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე, ა. რჩეულიშვილი. Nano Studies, 2017, 15/16, 47-52.
- [6] А. Т. Пилипенко, В. Я. Починок, И. П. Середа, Ф. Д. Шевченко. Справочник по элементарной химии, 1973, Киев, Наукова думка, 164-167.
- [7] ნ. კუჭავა. Nano Studies, 2013, 7, 185-192.
- [8] ნ. კუჭავა. Nano Studies, 2019, 19, 263-272.

მარტივი სენსომოტორული
რეაქციის ღრვის ბაზომმა

მ. გიგინეიშვილი¹, ო. კეთილაძე²,
თ. მიქელაძე¹, მ. ჩიხლაძე^{2*}, თ. ხაჩიძე²

¹სააქციო საზოგადოება „კურაციო“
თბილისი, საქართველო

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

* chixladze_manana51@mail.ru

მიღებულია 2019 წლის 22 დეკემბერს

ანოტაცია

განმარტებულია ბიოლოგიური ობიექტის სენსომოტორული რეაქციის არსი და ტიპები. მოცემულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ფიზიკის სასწავლო ლაბორატორიის ბაზაზე შემუშავებული მარტივი სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობის განსაზღვრის მეთოდი. წარმოდგენილია ექსპერიმენტის ელექტრული სქემა.

ადამიანის ქცევის მიხედვით მისი შინაგანი სამყაროს შემეცნების მცდელობას მეტად ხანგრძლივი ისტორია აქვს, მაგრამ ჭეშმარიტად სამეცნიერო გამოკვლევის დაწყებას საფუძველი ჩაეყარა XIX საუკუნის დასაწყისში, როდესაც ივან სეჩენოვმა და სხვა ფიზიოლოგებმა პირველად დააკავშირეს ადამიანის მოტორული (მამოძრავებელი) ფუნქციები ცენტრალური ნერვული სისტემის უმაღლესი ნაწილების ფუნქციებთან. მისი მტკიცებით, „ნერვული სისტემა საქმიანობის მრავალფეროვანი რეგულატორების კრებულს წარმოადგენს“.

გარე სიგნალზე (სტიმულზე) ადამიანის რეაგირების სიჩქარე და სიზუსტე მისი პირველი ფსიქომოტორული მახასიათებელია. ვინაიდან ამა თუ იმ სიგნალზე ადამიანის სენსომოტორული რეაქცია (საპასუხო მოქმედება გამაღიზიანებელზე) არის თითქმის ნებისმიერი შრომითი საქმიანობის შემადგენელი ელემენტი, ამიტომ ამ რეაქციის ხანგრძლივობისა და სიზუსტის შესწავლა ძირეულად მნიშვნელოვანია მრავალი ყოფითი პრობლემის გადაჭრისათვის.

თანამედროვე მედიცინის სერიოზული გამოწვევაა ისეთი დაავადებები, რომლებიც სენსომოტორული რეაქციის დარღვევით მიმდინარეობს. ამ დაავადებებისა და შესაბამისი მდგომარეობების ჩამონათვალი საკმაოდ ვრცელია. მაგალითად,

პოლინეიროპათია გამოწვეულია ისეთი მიზეზებით, როგორცაა დიაბეტი, აივინფექცია, თირკმლის დაავადებები ბოლო სტადიაზე, ამილოიდოზი, ჰიპოთირეოზი, ვიტამინების დეფიციტი, ლაიმის დაავადება, აუტოიმუნური და ტოქსიური, თანდაყოლილი და იდიოპათიური პროცესები. მოტორული ნეირონების დაავადებას მიეკუთვნება გვერდითი ამიოტროფიული სკლეროზი. მრავალი ამგვარი დაავადება განუკურნებელია და დღესდღეობით მათი პროგრესირების შეჩერება და პაციენტის მდგომარეობის მართვად პროცედურად ქცევაც კი დიდ წარმატებად ითვლება. სენსომოტორული რეაქცია ვითარდება როგორც იმ სხვადასხვა ფუნქციონალური სისტემების ურთიერთქმედების პროცესი, რომლებიც აღიქვამენ რეალურ სიტუაციას და რეაგირებენ მასზე.

ნერვული მოქმედების რეფლექტორული პრინციპი არ უნდა განვიხილოთ მარტივი სქემის „სტიმული–რეაქცია“ სახით. ეს სქემა მოქმედებს მხოლოდ ორნეირონიან რკალში. უმრავლეს შემთხვევაში ამგვარი რეაქცია სხვადასხვა ინტეგრაციული დონეების მუშაობის შედეგად ინფორმაციის რთული გადამუშავების პროცესია. ნერვულ სისტემაში შესული ინფორმაციის დამუშავება და შერჩეული გადაწყვეტილების რეალიზაცია კონკრეტული მოქმედების სახით შეიძლება დავეყოს შემდეგ ეტაპებად.

ყველაზე პერიფერიული – რეცეპტორულ-ეფექტორული დონე – წარმოდგენილია რეცეპტორული აპარატით და კუნთით. იგი, ერთი მხრივ, უზრუნველყოფს გამლიზიანებლის ენერჯის ტრანსფორმაციას და ნერვული იმპულსის სპეციფიკურ ენერჯიას, ხოლო, მეორე მხრივ, ეფექტორულ ნერვულ სიგნალს გადაამუშავებს კუნთოვანი შეკუმშვის ენერჯიად.

რეცეპტორული აპარატი აფერენტაციის ძირითადი წყაროა შემდგომი ინტეგრაციული – სეგმენტური დონისათვის. სეგმენტურ დონეში იგულისხმება არა მხოლოდ ზურგის ტვინის სეგმენტი, არამედ თავის შინაარსით „სეგმენტური“ ღეროვანი კომპლექსებიც, რომლებიც თავზურგტვინის ნერვების მგრძნობიარე და მამოძრავებელი ბირთვებისაგან შედგება.

ამ ეტაპზე ხდება რეცეპტორებიდან შემოსული ინფორმაციის კოდირება და გადაცემა ინტეგრაციის უფრო რთულ აპარატში – ქერქქვემა სტრუქტურებში. ამავდროულად გარკვეულ დონეზე ნარჩუნდება სეგმენტური ცენტრების ეფერენტული (მამოძრავებელი) აქტივობაც, რაც უზრუნველყოფს კუნთების შეკუმშვისადმი მზადყოფნის მუდმივობას.

რამდენიმე დამოუკიდებელი აფერენტული არხისა და ქერქქვემა ეფერენტული (სტრიო-პალიდური) სისტემის მეშვეობით ქერქქვემა სტრუქტურებში ინფორმაციის დამუშავება ხდება ბევრად უფრო ნატიფად, ვიდრე სეგმენტურში. სტრიო-პალიდურ სისტემას კუნთებთან უშუალო კავშირი არა აქვს, მაგრამ მართავს მათ სეგმენტური ეფერენტული ცენტრების საშუალებით და მონაწილეობს რთული ავტომატიზებული მოძრაობითი აქტების განხორციელებაში, რაც კუნთების სხვადასხვა ჯგუფის შეთანხმებულ მოძრაობას საჭიროებს.

ქერქქვემა სტრუქტურებიდან ინფორმაცია თავის ტვინის ქერქს გადაეცემა. ქერქისკენ მიმართული იმპულსები თავდაპირველად ხვდება ე.წ. „ქერქის პროექციულ ზონებში“, რომლებშიც აისახება („პროექცირდება“) ინფორმაცია ყველა რეცეპტორული ზონიდან უკვე დამუშავებული სახით. ამ ინფორმაციის ანალიზი და სინთეზი ხორციელდება ქერქის გნოსტიკურ ცენტრებში, რომლებიც უზრუნველყოფენ აღქმას.

ამგვარად, აფერენტული გზებით თავის ტვინის ქერქში მოხვედრილი ინფორმაცია წინასწარ გადამუშავდება სულ მცირე სამ საფეხურზე: რეცეპტორულ-ეფექტორულზე, სეგმენტურ და ქერქქვეშა დონეებზე. თითოეული ინტეგრაციული დონე დამოუკიდებლად გადაამუშავებს ინფორმაციის ნაწილს და გამოიმუშავებს პასუხს. ინფორმაციის მნიშვნელოვანი ნაწილი კი გადაეცემა ზემდგომ ცენტრებს, რომლებიც ანალოგიურად მუშაობს. აქედან გამომდინარე, ვასკნით, რომ თავის ტვინის ქერქში ხვდება მხოლოდ ის სიგნალები, რომლებიც უმაღლეს დონეზე დამუშავებას საჭიროებს. სწორედ მათზეა დამოკიდებული ადამიანის გაცნობიერებული, მიზანმიმართული ქმედებები.

ყველა ცენტრის ურთიერთშეთანხმებული მუშაობის საფუძველზე ყალიბდება ობიექტური წარმოდგენა გარემოსა და თავად ორგანიზმის მდგომარეობის შესახებ. სიტუაციისა და მოცემულ მომენტში მამოძრავებელი სისტემის რეალური შესაძლებლობების ანალიზის შედეგად ყალიბდება „გადაწყვეტილება“ – ე.წ. მოქმედების გეგმა. მისი რეალიზაცია ხდება პრაქსისის ცენტრებით, რომლებიც უზრუნველყოფს მოძრაობითი ავტომატიზმის შერჩევას და თანმიმდევრობას გარემოს შესაბამისად. პრაქსის-ცენტრები მოძრაობითი აქტების მართვის უმაღლესი ცენტრებია და მათ ემორჩილება ქვემდებარე ინტეგრაციულ დონეზე მყოფი ყველა ეფერენტული სისტემა.

ნერვული სისტემის ნორმალური მუშაობისას ეფერენტული სიგნალები ზემოდან ქვემოთ ეშვება ყველა ეტაპის გავლით. სიგნალი გაივლის მაპროექცირებელ მოძრაობით მიდამოს, ქერქქვეშა ეფერენტულ სტრუქტურებს და ნათხემს, სეგმენტურ მამოძრავებელ აპარატს და გადაეცემა კუნთს.

ამა თუ იმ დონეზე დაზიანებისას უნდა დაირღვეს ამ დონის უშუალო გავლენა ქვემდებარე ცენტრებზე და ასევე უნდა გაწყდეს მათი კავშირი ქერქთან, მაგრამ ქერქს გააჩნია ეფერენტაციის დამატებითი არხები, რომლებითაც კუნთებს „ბრძანება“ გადაეცემა დაზიანებული ადგილის გვერდის ავლით. თუ ქერქის ზეგავლენა მაინც შეწყდება ქვემდებარე ინტეგრაციულ დონეებზე, მაშინ ეს უკანასკნელნი გადადიან მუშაობის ავტომატურ რეჟიმზე და მთელ თავის აფერენტულ სიგნალებს გზავნიან საკუთარ ეფერენტულ სისტემებთან.

აფერენტული და ეფერენტული სისტემები მჭიდროდ ურთიერთქმედებენ, ვინაიდან ისინი რეფლექსური რკალის რგოლებს წარმოადგენენ. ამიტომ აფერენტული სისტემის დაზიანებამ შეიძლება რეფლექსური მოქმედების დარღვევა გამოიწვიოს მაშინაც კი, როდესაც ეფერენტული, რეფლექსის რეალიზაციის მუშა აპარატი დაზიანებული არაა.

ნერვული სისტემის რთული, ინტეგრაციული მუშაობა შენიღბულია ცალკეული ფიზიოლოგიური აქტების სიმარტივით. ხშირად მხოლოდ ნერვული ცენტრის ან გამტარი გზების დაზიანებისას ხდება თვალსაჩინო ამა თუ იმ ფუნქციის ორგანიზაციის სირთულე.

სენსომოტორული რეაქცია იყოფა ორ ტიპად. ესენია: მარტივი და რთული. მარტივი რეაქციაა, როცა ადამიანისათვის წინასწარ ცნობილია მოულოდნელი ზემოქმედების სახე – სიგნალი (სინათლე, ბგერა) და საპასუხო მოქმედება. რთული რეაქციაა, როცა ცნობილია სიგნალები და შესაბამისი საპასუხო მოქმედებები, მაგრამ არაა ცნობილი სიგნალთა თანმიმდევრობა. რთული რეაქციის დრო საგრძნობლად აღემატება მარტივი რეაქციის დროს. იგი დამოკიდებულია გამოცდილებაზე, საშიშროების წინასწარ ცოდნაზე, განწყობაზე. იგი იზრდება ავადმყოფობის, წამლების

გამოყენების, ალკოჰოლური სასმელის მიღების, ატმოსფერული წნევისა და ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების, გადაღლის, ასაკის გავლენის მიხედვით და ა.შ.

სენსომოტორულ რეაქციას ახასიათებენ სწორი მოქმედებით, სიზუსტით, დროულობით. შეიძლება რეაგირება სწორი იყოს, მაგრამ – ნაადრევი ან პირიქით – სწორი, მაგრამ – დაგვიანებული. ზოგადად რეაქციის დრო ასაკის მატებასთან ერთად იზრდება, მაგრამ გამოცდილება და სიტუაციის პროგნოზირების უნარი აკომპენსირებს შენელებულ რეაქციას.

აშკარაა, რომ სენსომოტორული რეაქციის დრო დამოკიდებულია როგორც ინდივიდუალური ფუნქციონალური სისტემების მდგომარეობაზე, ასევე – გარე პირობებზე, რომლებიც განსაზღვრავს ფუნქციონალური სისტემების მოქმედების პარამეტრებს. ამ პირობების გათვალისწინება ექსპერიმენტის ჩატარებისას საშუალებას იძლევა მივიღოთ მონაცემები რეაქციის დროს სხვადასხვა ფაქტორზე (მაგალითად, სტიმულის სიგნალის სიძლიერეზე, დავალების ლოგიკურ სირთულეზე, საავტომობილო რეაქციის შესრულების სირთულეზე და ა.შ.) დამოკიდებულების შესახებ.

თითოეული სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობა იყოფა ორ ნაწილად. ესენია: ლატენტური (ინკუბაციური) და მოტორული პერიოდი.

ლატენტური პერიოდი მოიცავს დროის შუალედს ბიოლოგიურ ობიექტზე რაიმე გამღიზიანებელი მოქმედების დაწყებიდან საპასუხო რეაქციამდე. ის შედგება შემდეგი ინტერვალებიდან: შესაბამისი რეცეპტორებიდან ნერვული იმპულსების გადაცემა თავის ტვინის ქერქის შესაბამის ზონაში, ინფორმაციის გადამუშავება ცენტრალური ნერვული სისტემის მიერ, საპასუხო რეაქციის გადაწყვეტილების მიღება, ბრძანების გადაცემა შემსრულებელ ორგანოებზე. მარტივი რეაქციის საშუალო ლატენტური პერიოდი სინათლით ზემოქმედებისას არის 0.3 – 0.4 წმ, ბგერითი სიგნალის შემთხვევაში კი 0.15 – 0.20 წმ. ლატენტური პერიოდის ხანგრძლივობით შეიძლება მსჯელობა ნერვული სისტემის დინამიურობაზე.

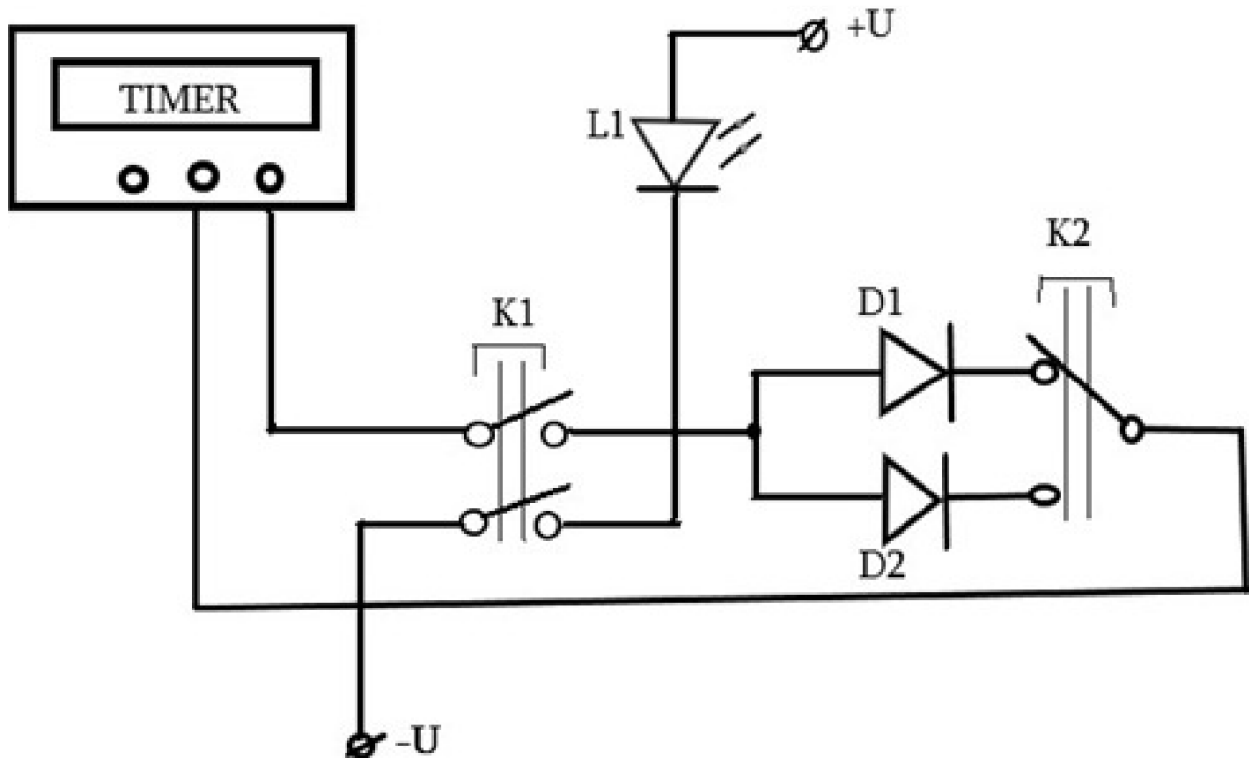
მოტორული პერიოდი საპასუხო მოქმედების ხანგრძლივობაა. ის, თავის მხრივ, შედგება რამდენიმე ინტერვალისაგან: შესაბამისი კუნთების აღზნება, მათი ინერციულობის დაძლევა და შესატყვისი მოქმედების შესრულება. მოტორული პერიოდი, როგორც წესი, აღემატება ლატენტურს.

ადამიანის სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობა განსაკუთრებით მოტორულ ნაწილში, მეტწილად ბუნებრივია (თანდაყოლილია) და მცირედ იცვლება ვარჯიშით. იგი მოწიფული ასაკიდან დაწყებული თანდათან სუსტდება. მოტორული პერიოდის ხანგრძლივობა გადამწყვეტ როლს თამაშობს ისეთი პროფესიებით მუშაობისას (მაგალითად, მფრინავი, ინსტრუქტორი, მემანქანე, ოპერატორი და სხვა), რომლებიც განსაკუთრებით სწრაფი და სწორი გადაწყვეტილების მიღებაზეა ორიენტირებული.

ადამიანის სენსომოტორული რეაქციის მახასიათებლები წარმოდგენას იძლევა მისი პიროვნების რეალური რესურსებისა და რეზერვების შესახებ. ადამიანის სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობის გასაზომად გამოყენებული ფრიად განსხვავებული კონსტრუქციის ხელსაწყოების დიდი უმრავლესობა დაფუძნებულია ცნობილ წინააღმდეგობის გავლით კონდენსატორის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესის დროის პარამეტრთა გაზომვაზე.

ჩვენი მიზანი იყო ლაბორატორიულ პირობებში სტუდენტებს შეძლებოდათ მარტივი სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობის განსაზღვრა. კერძოდ, სინათლის

ან ბგერითი სიგნალების მიღებისას შეესრულებინათ საპასუხო მოქმედება (მაგალითად, გადამრთველის საშუალებით შეეწყვიტათ სიგნალის მოქმედება) და გაეზომათ პროცესის ხანგრძლივობა.



სურათი 1. მარტივი სენსომოტორული რეაქციის ხანგრძლივობის გამზომი სისტემის ელექტრული სქემა.

ამ მიზნით ჩვენ მიერ დამუშავდა ელექტრული სქემა, რომელიც მოცემულია **სურათზე 1**. ელექტრული სქემის ძირითადი ელემენტია რეაქციის დროის აღმრიცხველი TIMER (სიზუსტე 0.01 წმ). სქემაში გამოყენებულია დილაკური ჩამრთველი K1 (გამომცდელის დილაკი) ორი წყვილი კონტაქტით, მისი ჩართვით (სქემაზე კონტაქტების ზედა წყვილი) იკვრება წრედი D1 ნახევარგამტარული დიოდის გავლით და გამშვები სიგნალი მიეწოდება დროის აღმრიცხველ მოწყობილობას, რომელიც იწყებს დროის ათვლას. პარალელურად იკვრება K1 ჩამრთველის კონტაქტების მეორე წყვილიც (სქემაზე ქვედა) და კვების ძაბვა მიეწოდება შუქდიოდურ (LED) ნათურას L1, რომელიც ფაქტიურად მყისიერად ინთება.

ასეთი ტიპის მანათობლების სწრაფმოქმედება ბევრად აღემატება ვარვარების და გაზური განმუხტვის ნათურების სწრაფმოქმედებას. ეს კი მნიშვნელოვანია მოცემული მოწყობილობის ზუსტი ფუნქციონირებისათვის.

მაშასადამე დროის ათვლა და სასიგნალო შუქდიოდური ნათურის ანთება ერთდროულად ხდება. იმისათვის, რომ დროის ათვლის პროცესი შეჩერდეს საჭიროა დროის ამთვლელი მოწყობილობიდან მოვხსნათ პირველი სიგნალი და მივაწოდოთ მეორე. ამის განსახორციელებლად სქემაში ჩართულია დილაკური გადამრთველი K2 (გამოსაცდელის დილაკი), რომელსაც გამოსაცდელი თითს აჭერს ნათურის ანთების დაფიქსირების მომენტში, რის შედეგადაც ითიშება კონტაქტი D1 დიოდთან და წყდება დროის აღმრიცხველ მოწყობილობაზე მიწოდებული სიგნალი, მაგრამ

მომენტალურადვე იკვრება კონტაქტი D2 დიოდთან და უკვე მისი საშუალებით მიეწოდება მეორე სიგნალი დროის აღმრიცხველ მოწყობილობას. დროის ათვლა ჩერდება და მოწყობილობა გვიჩვენებს სენსომოტორული რეაქციის დროს.

დამოწმებანი

- [1] П. И. Сидоров, А. В. Парняков. Введение в клиническую психологию, Том I (Учебник для студентов медицинских вузов), 2000, Москва, Академический Проект – Екатеринбург, Деловая книга.
- [2] დ. უზნაძე. ზოგადი ფსიქოლოგია (ელ-წიგნი), 2000, თბილისი.
- [3] მ. ჩიხლაძე, მ. გიგინეიშვილი, თ. კეთილაძე. სამედიცინო ფიზიკის საფუძვლები, 2018, თბილისი, გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. ISBN 978-9941-20-998-7 (PDF), სტუ-ის ბიბლიოთეკა: CD-4522.

CHIRAL MAGNETIC STRUCTURE OF Y-TYPE
 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ HEXAFERRITE IN INTERMEDIATE PHASE

G. Khazaradze *, A. Shengelaya **

I. Javakhishvili Tbilisi State University
Tbilisi, Georgia

* khazaradzegeorge@gmail.com

** alexander.shengelaya@tsu.ge

Accepted 2020 May 11

Abstract

Magnetic structure in intermediate-II and intermediate-III phases of Y-type hexaferrite single crystal $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ was investigated using neutron diffraction with polarization analysis. It was found that both phases have chiral magnetic structures. This shows that in contrast to previous assumptions, intermediate-II phase has transverse conical spin structure similar to the intermediate-III phase. Therefore, magnetic field induced ferroelectric state may exist also in the intermediate-II phase of Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite. Obtained results provide important insight into the recent observations of room temperature magnetoelectric coupling in Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite.

1. Introduction

Hexaferrites are ferrites with hexagonal structures with alkaline earth metal and transition metal sites, extensively used in permanent magnets and in microwave absorber applications [1]. High temperature (above 100 K) magnetoelectric coupling discovered during last decade in this class of compounds generated possibility of numerous applications in data storage with added flexibility of tuning magnetoelectric properties by substituting the transition metal as well as alkaline earth metal sites [2, 3]. Hexaferrites divided into different classes M, Y, Z, X, U, and W with rich magnetic phase diagram, were reported to exhibit magnetoelectric coupling at much higher temperature. Out of these compounds Y-type $\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ was the first hexaferrite in which a magnetic field-induced ferroelectric phase with significant magnetoelectric (ME) coupling was found [4].

The crystal structure of Y-type hexaferrite consists of alternately stacked spinal (S) and tetragonal (T) blocks crystallizing in $R\bar{3}m$ space group [4]. Magnetic structure is best described in terms of the block spin model, where crystallographic unit cell is divided into large (μ_L) and small (μ_S) spin blocks. Superexchange interactions at the spin block boundary can be modified either by transition metal site substitution or by changing the alkaline earth metal sites.

In $\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$, due to the Sr substitution magnetic structure changes from collinear to in plane spiral ordering [4]. Upon applying field perpendicular to (001), six metamagnetic steps in the magnetization curves were observed [5]. The centrosymmetric space

group does not allow any polarization, but scenario changes when magnetic field is applied perpendicular to c -axis. Magnetic field driven ferroelectric polarization was observed in the intermediate-III metamagnetic phase where a “2-fan” planner structure shown in **Figure 1a** was earlier reported [5, 6]. However, later it was shown that the magnetic field driven ferroelectricity cannot be explained in the proposed fanlike structure [6]. Instead, it can exist in a transverse conical spin structure shown in **Figure 1b**. Such magnetic structure has chirality which is consistent with the inverse Dzyaloshinski–Moriya mechanism of ferroelectricity [2].

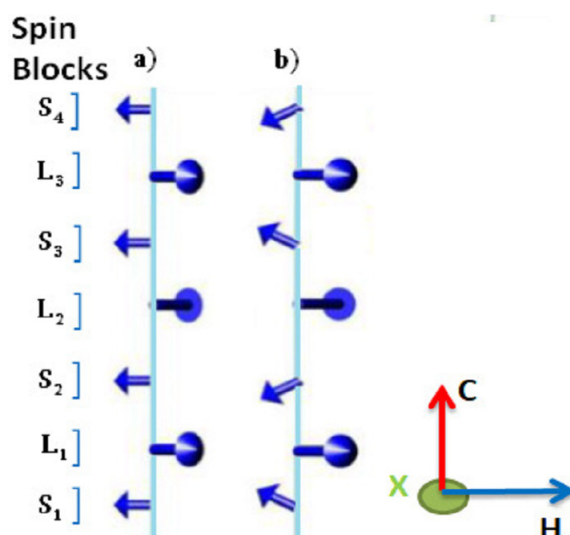


Figure 1. Schematic of proposed “2-fan” magnetic structures in intermediate-II and intermediate-III phases (a) and transverse conical spin structure in ferroelectric phase for Y-type $\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite (b).

Recently we reported ME effect at room temperature in single-crystal Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite [7]. This result indicates that the intermediate-II phase, similar to intermediate-III, is ferroelectric in this compound. If this is the case, intermediate-II phase should also have a transverse conical spin structure with corresponding chirality. Neutron diffraction with polarization analysis is a powerful tool for investigating chirality of magnetic structures in multiferroic oxides. Therefore, we performed the polarized neutron diffraction experiments to study magnetic structure in the intermediate-II and intermediate-III phases of magnetoelectric Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite single crystal.

2. Experimental details

Single crystal of Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite was prepared by flux growth method from high purity starting materials BaCO_3 , SrCO_3 , ZnO , Fe_2O_3 and Na_2CO_3 used as a solvent [8]. The exact composition was determined by refinements of single crystal X-ray diffraction data in an Oxford diffraction instrument from Rigaku. The refined lattice parameters were found to be 5.85 and 43.42 Å in $R\bar{3}m$ space group with hexagonal settings. For neutron scattering experiments in the present work we used crystal with dimensions $3 \times 1.5 \times 0.3$ mm.

The scattering cross section of the polarized neutrons is sensitive to spin chirality [9]. Therefore, the polarized neutron scattering technique is very well suited to study the magnetic

chirality. The scattering cross-section for polarized neutrons is given by Blume–Maleyev equation [10, 11]:

$$\sigma_Q = |N_Q|^2 + |M_Q^\perp|^2 + P(N_{-Q}M_Q^\perp + M_{\pm Q}^\perp N_Q) + iP(M_{\pm Q}^\perp \times M_{\mp Q}^\perp).$$

Here, σ_Q is a scattering cross-section for polarized neutrons, \mathbf{Q} is a scattering vector, N_Q and M_Q are nuclear and magnetic scattering amplitudes for a given \mathbf{Q} and \mathbf{P} polarization of a neutron beam, respectively.

In above equation, only the last two terms depend on polarization of the incoming neutrons, and describe nuclear–magnetic interference scattering and chirality. In our case, according to soft X-ray diffraction experiment (P. Thakuria, et al. – *in preparation*) there is no nuclear scattering present at (1, 0, 0.5) reflection. Therefore, in that equation we need only last chiral term. Polarization dependent neutron scattering is a very useful probe of the magnetic chirality in the spin networks [9]. In the present work we used polarized incident neutron beam without polarization analysis of the scattered beam (so-called half polarized experiment). By measuring the difference

$$\Delta I(\omega, Q) = I^\uparrow(\omega, Q) - I^\downarrow(\omega, Q)$$

for incident neutron polarizations parallel $I^\uparrow(\omega, Q)$ and antiparallel $I^\downarrow(\omega, Q)$ to the scattering vector Q , chiral magnetism was determined.

Polarized neutron diffraction measurements were performed at the Institut Laue–Langevin on the IN12 cold triple-axis spectrometer in the temperature range 5 – 100 K at different horizontal magnetic fields ($H < 2$ T). We used full polarization analysis to separate the possible position of magnetic and structural peaks. Half polarized experiment was used to get access to the magnetic chirality. For both methods we needed the polarization in the scattering plane, therefore horizontal magnetic field was used. For the transverse conical spin structure, in case of the vertical magnetic field the modulation of the magnetic moments in the scattering plane is restricted, which implies no chiral scattering.

3. Results and discussions

Figure 2 shows full polarized analysis neutron scattering spectra of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite single-crystal for spin-flip and non-spin-flip intensities at 5 K. These measurements were performed for some selected reflections in a horizontal magnetic field configuration $H = 0.5$ T. For further measurements we selected (1, 0, 0.5) reflection where one of the clear differences was observed between spin-flip and non-spin-flip intensities (see **Figure 2d**). For this reflection we explored chiral magnetism by performing half polarized experiments at different temperatures and magnetic fields.

Figure 3a shows ω -scans across the (1, 0, 0.5) reflection at $T = 100$ K in $H = 0.6$ T horizontal magnetic field ($\mathbf{H} \perp \mathbf{c}$). One can see that the intensity is higher with neutron spin parallel (I^\uparrow) to the scattering vector \mathbf{Q} compared to neutron spin antiparallel (I^\downarrow). The difference ($I^\uparrow - I^\downarrow$) is plotted in **Figure 3b**. Such behavior is typical for the spiral magnets [12]. Observed intensity difference provides evidence for the presence of chiral magnetism in intermediate-II phase. Therefore, one can conclude that the intermediate-II phase in Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite can be ferroelectric in addition to the intermediate-III phase. This deviates from the conclusion derived by Kimura, et al. [4] based on macroscopic measurements. However, it is in agreement with our recent results obtained by ferromagnetic resonance [7] and soft X-ray chiral scattering (P. Thakuria, et al. – *in preparation*) techniques.

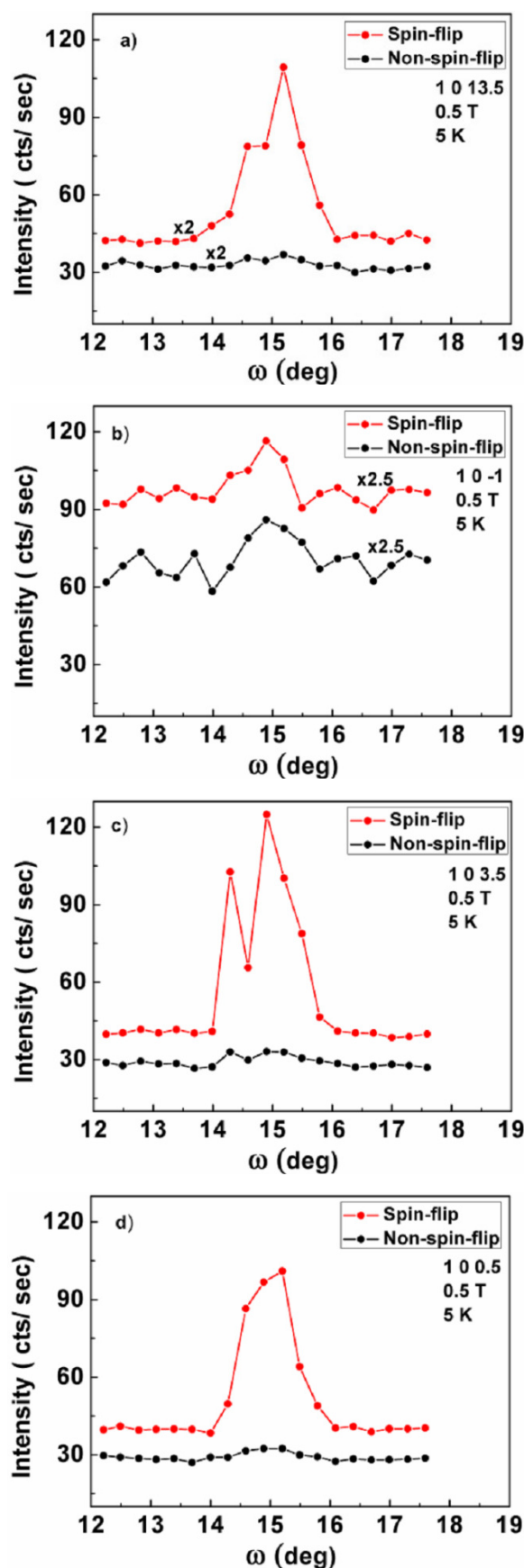


Figure 2. Examples of full polarized analysis neutron scattering spectra for some selected reflections of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite single-crystal for spin-flip and non-spin-flip intensities at $T = 5$ K in horizontal field $H = 0.5$ T configuration.

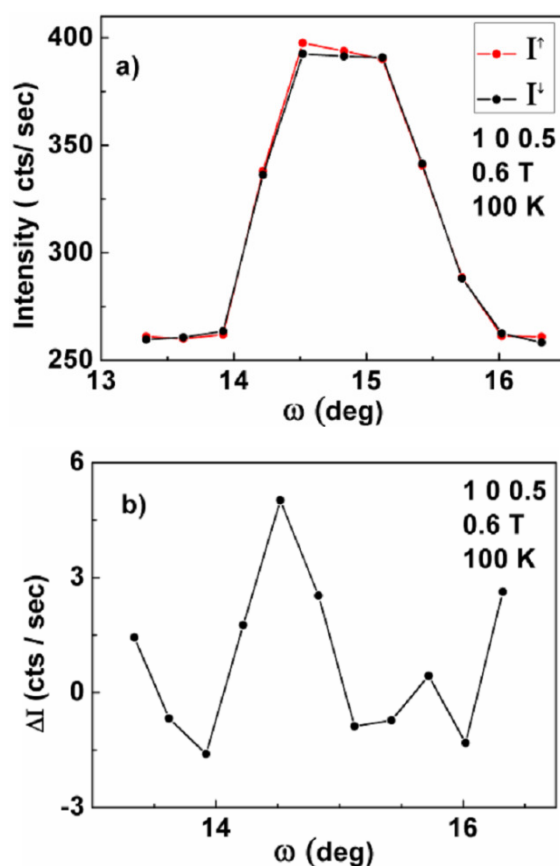


Figure 3. ω -scans across (1, 0, 0.5) reflection at $T = 100$ K in $H = 0.6$ T horizontal magnetic field ($\mathbf{H} \perp \mathbf{c}$) for positive (I^\uparrow) and negative polarized (I^\downarrow) neutrons (a) and difference $\Delta I = I^\uparrow - I^\downarrow$ between intensities of positive and negative polarized neutrons (b).

We also performed similar neutron diffraction measurements at $T = 5$ K and in horizontal magnetic fields $H = 0.3 - 1.3$ T. In this field and temperature range Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite is in intermediate-III phase [2]. This phase is known to be ferroelectric. Indeed, we observed that in the intermediate-III phase, intensity of positive polarized neutrons (I^\uparrow) is higher than negative polarized neutrons (I^\downarrow). This confirms transverse conical spin structure also in intermediate-III phase. Therefore, we can conclude that the magnetic structure in both intermediate-II and intermediate-III phases allows the existence of magnetic field-induced ferroelectricity.

4. Summary and conclusions

To summarize, we studied chiral magnetic structure in single crystal of Y-type $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ hexaferrite by using neutron diffraction with polarization analysis. A wide range of the temperature and magnetic field was explored, which includes intermediate-II and intermediate-III phases of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{1.4}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$. Chiral magnetism was detected in both of these phases. It shows that in contrast to previous assumptions, intermediate-II phase also has transverse conical spin structure similar to the intermediate-III phase. This magnetic structure has chirality which is consistent with the inverse Dzyaloshinskii–Moriya mechanism of ferroelectricity and therefore magnetic field induced ferroelectricity is possible. Obtained

results justify the presence of magnetoelectric coupling in intermediate-II phase of Ba_{0.6}Sr_{1.4}Zn₂Fe₁₂O₂₂ hexaferrite, which was reported recently by using electrically modulated ferromagnetic resonance [7].

References

- [1] R. C. Pullar. *Prog. Mater. Sc.*, 2012, 57, 1191.
- [2] T. Kimura. *Ann. Rev. Cond. Matter Phys.*, 2012, 3, 93.
- [3] Y. Tokura, S. Seki, N. Nagaosa. *Rep. Prog. Phys.*, 2014, 77, 076501.
- [4] T. Kimura, G. Lawes, A. P. Ramirez. *Phys. Rev. Lett.*, 2005, 94, 137201.
- [5] N. Momozawa, Y. Yamaguchi, H. Takei, M. Mita. *J. Phys. Soc. Jpn.*, 1985, 54, 771.
- [6] N. Momozawa, Y. Yamaguchi. *J. Phys. Soc. Jpn.*, 1993, 62, 1292.
- [7] G. Khazaradze, P. Thakuria, D. Daraselia, D. Japaridze, M. Angst, A. Shengelaya. *J. Magn. Magn. Mater.*, 2020, 498, 166177.
- [8] N. Momozawa, M. Mita, H. Takei. *J. Crys. Growth*, 1987, 83, 403.
- [9] V. P. Plakhty, J. Kulda, D. Visser, E. V. Moskvina, J. Wosnitza. *Phys. Rev. Lett.*, 2000, 85, 3942.
- [10] M. Blume. *Phys. Rev.*, 1963, 130, 1670.
- [11] S. V. Maleyev, V. G. Baryakhtar, P. A. Suris. *Fiz. Tv. Tela*, 1962, 4, 3461.
- [12] Y. Yamasaki, H. Sagayama, T. Goto, M. Matsuura, K. Hirota, T. Arimaand, Y. Tokura. *Phys. Rev. Lett.*, 2007, 98, 147204.

ბიოლოგიური ქსოვილის ელექტროწინალობის ბამოკვლევა

ნ. თავაძე¹, ო. კეთილაძე², ი. ქანთარია², მ. ჩიხლაძე^{2*}

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, საქართველო

* chixladze_manana51@mail.ru

მიღებულია 2020 წლის 16 ივლისს

ანოტაცია

მოცემულია ბიოლოგიური ქსოვილების ელექტრული თვისებების მოდელირების პრაქტიკაში ხშირად გამოყენებული ექვივალენტური *RCR* - ელექტრული სქემის მათემატიკური ანალიზი. გამოკვლეულია აქილევსის კუნთის იმპედანსის დისპერსია, რომელის გრაფიკული ფორმაც კარგი მიახლოებით იმეორებს თეორიულად აგებული მრუდის ფორმას.

ბიოლოგიური ობიექტების ელექტროწინალობის გაზომვა საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება მედიცინასა და ბიოლოგიაში. კვლევის ამ მეთოდის უპირატესობაა ის, რომ გამოყენებული ძაბვები არ იწვევს მნიშვნელოვან ცვლილებებს იმ ფიზიკურ და ქიმიურ პროცესებში, რომლებიც მიმდინარეობს ბიოლოგიურ ობიექტებში, და, უფრო მეტიც, არ აზიანებს მათ. ამ მეთოდით სარგებლობა განსაკუთრებით ინფორმატულია ქსოვილებზე სხვადასხვა დამაზიანებელი ფაქტორების ზემოქმედების (ტრამვა, ტემპერატურა, დასხივება და ა.შ.) შედეგად ფიზიოლოგიური მდგომარეობის შეცვლისას მიმდინარე პროცესების შესწავლაში.

ელექტროგამტარობის თეორიის თანახმად, ორგანიზმში დენის კარგი გამტარებია ისეთი ბიოსითხეები და ქსოვილები, როგორცაა სისხლი, ლიმფა, თავზურგტვინის სითხე, კუჭის წვენი, შარდი და კუნთები, რადგან ისინი დიდი რაოდენობით შეიცავენ წყალსა და, აგრეთვე, მაღალი ძვრადობის იონებს. ცუდი ელექტროგამტარებია ნერვული ქსოვილი, ცხიმი, ძვლის ზედაპირის აფსკი (ძვლისაზრდელა) და კანი. შევნიშნოთ, რომ კანის ელექტროგამტარობა სისქეზე და ზედაპირის მდგომარეობაზეა დამოკიდებული.

უჯრედი ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმის სტრუქტურულ-ფუნქციური ერთეულია, რომელიც მუდმივად განიბანება ქსოვილის სითხით. ამავე დროს ყველა უჯრედს აქვს მემბრანა, რომელიც ნაწილაკების (ატომები, მოლეკულები, იონები) მიმართ შერჩევითი განვლადობის ბარიერის როლს ასრულებს და უჯრედის შიგთავსს (ციტოპლაზმას) ქსოვილის სითხეებისგან გამოყოფს. ელექტრული თვისებების მიხედვით, ქსოვილის სითხე და ციტოპლაზმა კარგი გამტარებია, ხოლო უჯრედის მემბრანა – ცუდი. მაშასადამე, ისინი შეადგენენ სისტემას გამტარი-დიელექტრიკი-გამტარი, რომელიც შეიძლება განხილულ იქნას როგორც კონდენსატორი. შესაბამისად ორგანიზმს აქვს ტევადური წინალობა. ტევადური წინალობის არსებობა ბიოლოგიურ სისტემებში დასტურდება იმით, რომ დენი გარკვეული ფაზით – ძვრის α კუთხით

უსწრებს მოდებულ ძაბვას. როგორც კვლევებმა აჩვენა, ბიოლოგიურ ქსოვილებს პრაქტიკულად არ აქვთ შესამჩნევი ინდუქტივობა. ამიტომ ორგანიზმში ცვლადი დენის გავლისას ვლინდება არასრული იმპედანსი აქტიურ და ტევადურ წინაღობათა სახით.

ბიოლოგიურ ქსოვილს, როგორც ელექტროგამტარს, შემდეგი თავისებურებები ახასიათებს: ცვლადი დენის მიმართ მისი წინააღმდეგობა ნაკლებია, ვიდრე მუდმივი დენის მიმართ. ამასთან ერთად, იმპედანსი Z დამოკიდებულია ქსოვილის ტიპზე, მის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაზე (მაგალითად, სისხლის მიწოდებაზე) და დენის ω სიხშირეზე. ანუ იმპედანსს ახასიათებს დისპერსია: $Z(\omega)$. დენის სიხშირის ზრდისას, გარკვეულ მნიშვნელობამდე ბიოლოგიური ქსოვილის იმპედანსი არაწრფივად მცირდება, შემდეგ კი თითქმის მუდმივი ხდება.

ბიოლოგიური სისტემის ცალკეულ ორგანოს ასევე გააჩნია სპექტრული მახასიათებელი – დამოკიდებულება ძვრის კუთხესა და დენის სიხშირეს შორის $\alpha(\omega)$, რომლის ფორმაც რთულია, იმპედანსის დისპერსიის მრუდთან შედარებით.

ბიოლოგიური ქსოვილების იმპედანსის დისპერსიის შესწავლა ფართოდ გამოიყენება დიაგნოსტიკაში, ასევე – ბიოლოგიურ და სამედიცინო გამოკვლევებში. მაგალითად, დაბალი სიხშირის არეში ქსოვილის იმპედანსის მნიშვნელოვანი ზრდა საშუალებას გვაძლევს ადრეულ ეტაპზე აღმოვაჩინოთ ანთებითი პროცესი. დენსა და ძაბვას შორის ფაზათა სხვაობის ცვლილების საფუძველზე, მაგალითად, შესაძლებელია ფარისებრი ჯირკვლის ზოგიერთი დაავადების დიაგნოზირება. ბიოქსოვილების კვდომის შემთხვევაში დისპერსია თანდათან ქრება, იშლება „ცოცხალი კონდენსატორები“ – უჯრედები და მათგან მხოლოდ ომური წინაღობებიღა რჩება. ამიტომ დისპერსიისა და სპექტრული მახასიათებლის გამოკვლევა საშუალებას იძლევა შევაფასოთ ბიოლოგიური ობიექტის ქსოვილისა თუ ორგანოს ფიზიოლოგიური მდგომარეობა და, კერძოდ, სიცოცხლისუნარიანობა. ამ კრიტერიუმით სარგებლობენ, ტრანსპლანტაციისათვის განკუთვნილი ქსოვილის სიცოცხლისუნარიანობის შეფასებისას. კერძოდ, გამოთვლიან სიცოცხლისუნარიანობის კოეფიციენტს, რომელიც ტოლია დაბალ სიხშირეზე ბიოლოგიური ქსოვილის უჯრედის Z_0 იმპედანსის ფარდობისა მაღალ სიხშირეზე მის Z_∞ იმპედანსთან:

$$K = \frac{Z_0}{Z_\infty}.$$

მაღალ და დაბალ სიხშირეთა დიაპაზონი განისაზღვრება უჯრედთა ტიპის მიხედვით.

ჯანმრთელი ბიოლოგიური ქსოვილის შემთხვევაში $K > 1$. ქსოვილის კვდომის დროს დაბალ სიხშირეებზე იზრდება იონების მიმართ უჯრედთა მემბრანების განვლადობა ანუ მცირდება Z_0 . და ეს ხდება მაშინ, როდესაც Z_∞ პრაქტიკულად მუდმივი რჩება. შესაბამისად, $K \rightarrow 1$.

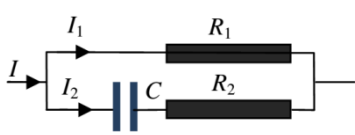
ბიოლოგიური ქსოვილების ელექტრული თვისებების მოდელირებისას, გამოიყენება ექვივალენტური სქემები სხვადასხვა აქტიური და ტევადური წინაღობებით. რეალურ პირობებში მყოფი ცოცხალი სტრუქტურები რთული ელექტრული სქემებით ხასიათდებიან. თუმცა, პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება **სურათზე 1** მოცემული RCR -წრედი (სადაც იგულისხმება, რომ $R_1 \gg R_2$), რადგან ის ხშირად იძლევა ბიოლოგიური ქსოვილების ელექტრული იმპედანსის შესახებ ექსპერიმენტული შედეგების კარგ ინტერპრეტაციას.

გავაანალიზოთ აღნიშნული წრედი. წარმოვიდგინოთ, რომ ის მივუერთეთ ცვლადი დენის წყაროს და დროის ათვლა დავიწყეთ იმ მომენტში, როცა ძაბვის ფაზა

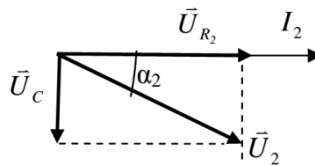
ნული იყო: $U = U_0 \cos \omega t$. მაშინ გამავალი დენი $I = I_0 \cos(\omega t + \alpha)$ და კირხჰოფის კანონის თანახმად, $I = I_1 + I_2$, სადაც $I_1 = I_{01} \cos \omega t$ და $I_2 = I_{02} \cos(\omega t + \alpha_2)$, შესაბამისად, I და II შტოებში გამავალი დენებია, ხოლო α_2 ის ფაზაა, რითაც I_2 დენი უსწრებს U ძაბვას. მისი მნიშვნელობის დასადგენად II შტოსათვის, რომელიც C -ისა და R_2 -ის მიმდევრობით შეერთებას წარმოადგენს, ვისარგებლოთ ძაბვათა ვექტორული დიაგრამით (სურათი 2), სადაც $U_2 = I_2 Z_2$ და $U_2 = U$:

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}},$$

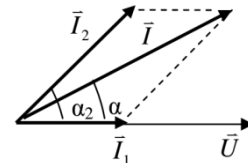
$$\cos \alpha_2 = \frac{R_2}{Z_2}.$$



სურათი 1. ცოცხალი სტრუქტურის RCR-ექვივალენტური სქემა.



სურათი 2. ძაბვათა ვექტორული დიაგრამა წრედის II შტოსათვის.



სურათი 3. დენების ვექტორული დიაგრამა RCR-წრედისათვის.

ამ RCR-წრედის იმპედანსის ჩასაწერად ვისარგებლოთ დენების ვექტორული დიაგრამით (სურათი 3). კოსინუსების თეორემის თანახმად,

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos \alpha_2 = I_1^2 + I_2^2 + \frac{2I_1 I_2 R_2}{Z_2}.$$

გარდა ამისა,

$$\sin \alpha = \frac{I_2 \sin \alpha_2}{I} = \frac{Z}{\omega C Z_2^2},$$

$$\alpha = \arcsin \frac{Z}{\omega C Z_2^2},$$

და თუ ვისარგებლებთ ომის კანონით, გვექნება:

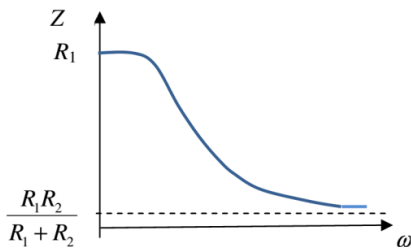
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{Z_2^2} + \frac{2R_2}{R_1 Z_2^2},$$

$$Z = \frac{R_1 \sqrt{R_2^2 + 1/\omega^2 C^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + 1/\omega^2 C^2}}.$$

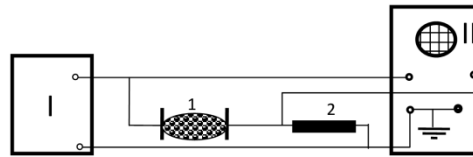
მიღებული გამოსახულების ანალიზი აჩვენებს, რომ როდესაც $\omega \rightarrow 0$, მაშინ $Z \rightarrow R_1$. ხოლო როდესაც $\omega \rightarrow \infty$, მაშინ $Z \rightarrow R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$.

სურათზე 4 მოცემულია $Z(\omega)$ დისპერსიის თეორიული მრუდი. ჩვენი მიზანი იყო ექსპერიმენტის საშუალებით დაგვეფიქსირებინა ადამიანის აქილევსის კუნთის ელექტრული იმპედანსის დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი. სურათზე 5 კი გამოსახულია ექსპერიმენტის ელექტრული სქემა. ძაბვები გენერატორის მომჭერებზე და ადამიანის კუნთზე, U_g და U_h , აისახება ოსცილოგრაფზე სინუსოიდალური გრაფიკების სახით. წრედის მიმდევრობის გამო R წინაღობაზე (ჩვენ შემთხვევაში $R = 4.7$ კომ) ძაბვის ვარდნის ამპლიტუდური მნიშვნელობა $U_2 = U_g - U_h$. შესაბამისი

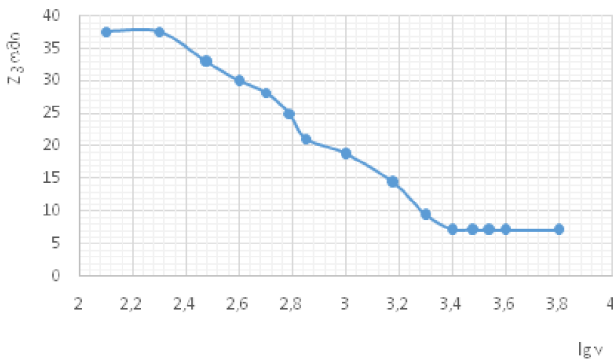
დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა იქნება: $I = U_2 / R = (U_g - U_h) / R$, ხოლო აქილევსის კუნთის იმპედანსი – $Z = U_h / I$ და მარტივი გარდაქმნით მიიღება: $Z = RU_h / (U_g - U_h)$.



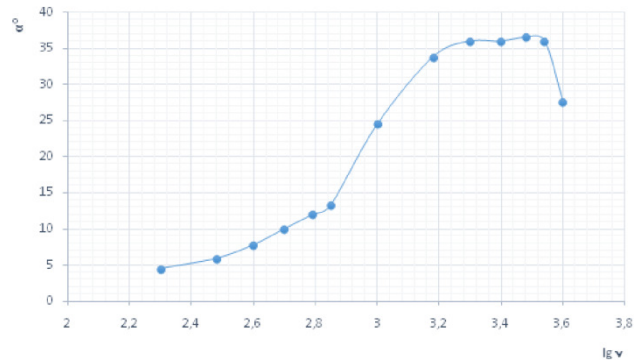
სურათი 4. იმპედანსის დისპერსიის მრუდი.



სურათი 5. ექსპერიმენტის ელექტრული სქემა: I – ბგერითი სიხშირის გენერატორი და II – ოსცილოგრაფი; 1 – ბიოლოგიური ქსოვილი და 2 – რეზისტორი.



სურათი 6. აქილევსის კუნთის იმპედანსის დისპერსია.



სურათი 7. აქილევსის კუნთის სპექტრული მახასიათებელი.

სურათებზე 6 და 7 მოცემულია ჩვენ მიერ მრავალჯერადი გაზომვების შედეგად მიღებული აქილევსის კუნთის იმპედანსის დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი ცვლადი დენის სიხშირის 0.2 – 4.0 კჰც დიაპაზონში. აქილევსის კუნთის იმპედანსის დისპერსიის მრუდის ფორმა კარგ თანხვედრაშია აქტიურ და ტევადურ წინაღობათა შერეული შეერთების ზემოთ განხილულ თეორიულ მრუდთან.

დამოწმებანი

- [1] А. М. Тихомиров. Импеданс биологических тканей и его применение в медицине, 2006, Москва, РГМУ.
- [2] В. Г. Лещенко, Г. К. Ильич. Медицинская биологическая физика, 2012, Минск, Новое знание – Москва, ИНФРА-М.
- [3] მ. ჩიხლაძე, მ. გიგინეიშვილი, ო. კეთილაძე. სამედიცინო ფიზიკის საფუძვლები, 2017, თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი (ელექტრონული ვერსია: CD-3732).
- [4] მ. გიგინეიშვილი, მ. ჩიხლაძე, თ. ხაჩიძე, ო. კეთილაძე. წინამხრის ელექტრული იმპედანსის დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი. Nano Studies, 2018, 17/18, 37-42.
- [5] Ю. В. Торнуев, Р. Г. Хачатрян, А. П. Хачатрян, В. П. Махнев, А. С. Осенний. Электрический импеданс биологических тканей, 1990, Москва, Изд. ВЗПИ.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ LiF

М. В. Галусташвили, Д. Г. Дриаев*,
А. А. Иашвили, В. Г. Квачадзе, В. М. Тавхелидзе

Институт физики им. Э. Андроникашвили
Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили
Тбилиси, Грузия
* dria.dm@mail.ru

Принята 10 сентября 2020 года

Аннотация

Проведено исследование электромеханического эффекта – колебания кристалла LiF под действием переменного электрического поля. Изучено воздействие короткого импульса электрического поля высокой напряженности на величину эффекта – амплитуду колебаний кристалла под действием переменного поля и его модуль упругости. Прослежена температурная и временная зависимости эффекта после приложения импульса. Определена энергия миграции дефектов, закрепляющих дислокации в процессе возврата после воздействия импульса электрического поля.

Наличие заряда на дислокациях в ионных кристаллах в значительной степени влияет на их электрические и механические свойства [1, 2]. Кроме того, заряженные дислокации обуславливают ряд специфических явлений, которые предоставляют дополнительные возможности для исследования дислокаций, их взаимодействия с другими дефектами.

В настоящей работе с помощью кардинально модернизированного акустического спектрометра [3] проводится дальнейшее изучение обнаруженного нами ранее [4, 5] электромеханического эффекта – колебаний ионного кристалла LiF под действием переменного электрического поля. Большой объем и скорость получения информации в ходе эксперимента позволили проводить исследования на качественно более высоком уровне.

Величина эффекта – амплитуда a колебаний кристалла под действием переменного электрического поля ($E \approx 200$ В/см) – с высокой чувствительностью и точностью измерялась в непрерывном режиме на собственной частоте ($f \sim 3$ кГц) образца. В непрерывном режиме фиксировались также внутреннее трение Q^{-1} и собственная частота f образца и, тем самым, его динамический модуль упругости M (поскольку $f \sim M^{1/2}$).

Образцы LiF были выколоты по плоскостям спайности (100) из монокристаллического слитка и отожжены при температуре 750 °С. По данным спектрального анализа, использованные кристаллы содержат примесь Mg в количестве $2 \cdot 10^{-3}$ мол. %, суммарное количество Al, Si и Fe не превышает 10^{-3} мол. %. Кроме того, по данным инфракрасных спектров имеется довольно высокая концентрация ионов

гидроксила – 0.12 мол. %. В образцах пластической деформацией изгибом (~ 0.1 %) создавались краевые дислокации одного механического знака. Измерения проводились после окончания процесса релаксации, когда кристалл находился в равновесном состоянии. Детальное описание техники эксперимента дано в [3, 6].

В щелочногалоидных кристаллах воздействие электростатического поля напряженностью в несколько кВ/см приводит к макроскопическому перемещению заряженных дислокаций (которое обнаруживается методом ямок травления) [1, 2]. При этом происходит только отрыв дислокаций от точек закрепления – без увеличения плотности дислокаций.

Результат приложения к образцу импульсного электрического поля представлен на **Рисунке 1**. Импульс напряженностью 4 кВ/см и длительностью 10 мс приводит к резкому увеличению амплитуды колебаний a (более чем на порядок) и падению собственной частоты колебаний f , т.е. динамического модуля упругости M (дефект модуля составляет около $4 \cdot 10^{-4}$). С течением времени после приложения импульса амплитуда и модуль возвращаются к исходному значению.

Зависимость между деформацией ε и внешним механическим напряжением σ для идеального кристалла в области упругой деформации дается законом Гука: $\varepsilon^y = \sigma / M$. В реальном кристалле движение дислокационных сегментов вызывает дислокационную неупругую деформацию $\varepsilon^a = \Lambda b \xi$, где Λ – плотность дислокаций, b – вектор Бюргерса, ξ – среднее смещение дислокации длиной l от положения равновесия. Поэтому полная деформация кристалла, содержащего дислокации, $\varepsilon = \varepsilon^y + \varepsilon^a$, а модуль упругости ниже модуля упругости кристалла без дислокаций: $M^* = M - \Delta M$. Таким образом, для кристалла, содержащего дислокации будем иметь: $\varepsilon^y + \varepsilon^a = \sigma / (M - \Delta M)$. При $\varepsilon^a \ll \varepsilon^y$ это выражение принимает вид $\Delta M / M = \varepsilon^a / \varepsilon^y$. Отсюда следует, что падение модуля упругости (дефект модуля) свидетельствует о возрастании дислокационной деформации.

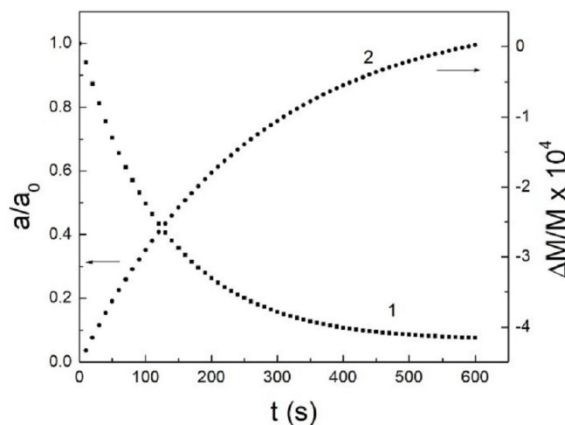


Рисунок 1. Зависимость нормированной амплитуды колебаний (1) и дефекта модуля упругости (2) кристаллов LiF от времени после приложения импульса электрического поля.

Измерения проводились при малых (~ 10^{-6}) амплитудах колебательной деформации (в области амплитудно-независимого внутреннего трения), когда дислокационные сегменты колеблются не отрываясь от центров закрепления. При воздействии импульса электрического поля они отрываются от закрепляющих точечных дефектов, в результате чего увеличивается длина сегмента l , возрастает ξ и, естественно, увеличивается ε^a , о чем

свидетельствует наблюдаемое в эксперименте (**Рисунок 1**) падение динамического модуля M . Со временем, вследствие диффузии точечных дефектов дислокации закрепляются, длина сегмента уменьшается, вызывая возврат модуля к первоначальному значению.

Сопутствующие изменению модуля упругости возрастание и последующий спад амплитуды колебаний кристалла под действием переменного электрического поля E (**Рисунок 1**) являются веским подтверждением дислокационного механизма наблюдаемого электромеханического эффекта: увеличение дислокационной деформации (возрастание дефекта модуля) вызывает возрастание амплитуды колебаний. Со временем, когда дислокационная деформация уменьшается (уменьшается дефект модуля), соответственно падает и амплитуда колебаний, возвращаясь к исходному значению.

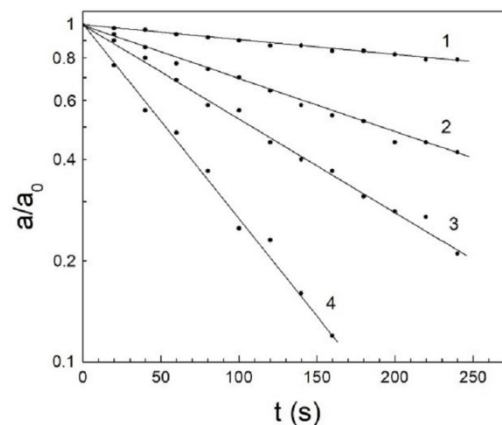


Рисунок 2. Зависимость нормированной амплитуды колебаний кристаллов LiF от времени после приложения импульса электрического поля для температур: **1** – 295, **2** – 310, **3** – 322 и **4** – 350 К.

С повышением температуры скорость возврата увеличивается, что свидетельствует о диффузионном характере процесса, приводящего к возврату амплитуды колебаний. На **Рисунке 2** эти зависимости при температурах 295, 310, 322 и 350 К представлены в координатах $\ln(a/a_0) - t$, где a – амплитуда колебаний в момент времени t , a_0 – максимальная амплитуда после приложения импульса. Как видно, экспериментальные результаты в полулогарифмическом масштабе ложатся на прямые. Следовательно, возврат a протекает по простому экспоненциальному закону $a = a_0 \exp(-t/\tau)$, где τ – время релаксации.

Определенные из этих данных времена релаксации в зависимости от температуры T показаны на **Рисунке 3**. Видно, что график в координатах $\ln \tau - 1/T$ представляет собой прямую линию. Отсюда можно заключить, что зависимость времени релаксации от температуры описывается уравнением Аррениуса для термически активируемых процессов $\tau = \tau_0 \exp(H/kT)$, где k – постоянная Больцмана, τ_0 – предэкспоненциальный фактор, H – энергия активации, равная углу наклона графика к оси абсцисс. По данным, приведенным на **Рисунке 3**, энергия активации процесса возврата $H = 0.38 \pm 0.04$ эВ.

Как свидетельствуют параллельные измерения модуля упругости, возврат амплитуды колебаний обусловлен закреплением дислокаций точечными дефектами, которые мигрируют в результате диффузии. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что в общем случае между дислокацией и точечным дефектом существует

потенциал взаимодействия, который является функцией расстояния между ними. Благодаря взаимодействию точечные дефекты испытывают силу, пропорциональную градиенту потенциала, которая приводит к направленному потоку даже в отсутствие градиента концентрации и уменьшает эффективную энергию миграции.

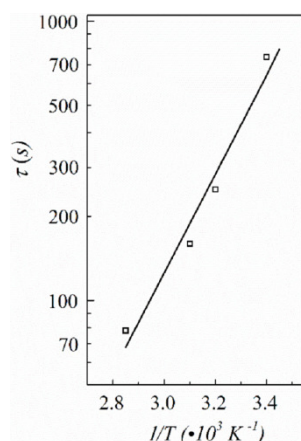


Рисунок 3. Зависимость времени релаксации амплитуды колебаний кристаллов LiF от обратной температуры после воздействия импульса электрического поля.

Энергия миграции, полученная нами в эксперименте (0.38 эВ), гораздо меньше известных из литературы значений энергии миграции различных дефектов в LiF: минимальная из них – энергия миграции катионных вакансий составляет примерно 0.7 эВ. Однако если учесть, что в результате воздействия импульса дислокации перемещаются на небольшие расстояния, то предположив, что происходит направленная диффузия вакансий, в свете вышесказанного 0.38 эВ можно интерпретировать как разность между энергией миграции и энергией взаимодействия катионных вакансий с дислокацией 0.3 – 0.4 эВ. Таким образом, можно заключить, что в кристаллах LiF диффундирующими точечными дефектами, закрепляющими дислокации после воздействия импульса электрического поля, являются катионные вакансии.

Настоящие эксперименты являются убедительным доказательством дислокационного механизма обнаруженного нами электромеханического эффекта: под действием переменного электрического поля дислокационные сегменты прогибаются, создавая знакопеременную дислокационную деформацию, приводящую к появлению эффективной силы, возбуждающей колебания кристалла.

Ссылки

- [1] Н. А. Тяпунина, Э. П. Белозерова. УФН, 1988, 156, 683.
- [2] R. W. Withworth. Phil. Mag., 1968, 17, 1207.
- [3] D. Driaev, A. Iashvili, L. Kankadze, S. Tsakadze. Rev. Sci. Instrum., 2017, 88, 054904.
- [4] Д. Г. Дриаев, В. А. Мелик–Шахназаров. ФТТ, 1966, 8, 3280.
- [5] В. И. Альшиц, Д. Г. Дриаев, В. А. Мелик–Шахназаров. Электронные и ионные процессы в твердых телах, 1973, 6, 68.
- [6] М. В. Галусташвили, Д. Г. Дриаев. Nano Studies, 2019, 19, 213.

**RELATIVE MECHANICAL STRENGTH OF SOME
RARE EARTH ELEMENTS COMPOUNDS THIN FILMS**

Z. Jabua, T. Minashvili, K. Davitadze *, A. Gigineishvili, G. Iluridze

Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia
* ketevand@gmail.com

Accepted 2020 October 23

Abstract

The study of rare-earth elements compounds' mechanical properties is an essential task because even though their electro-physical properties have been studied quite thoroughly data on their mechanical properties are not available. The purpose of this work is to study the relative mechanical strength of gadolinium diantimonide, terbium monoantimonide, and thulium monotelluride thin films.

Relative mechanical strength (RMS) of thin films of gadolinium diantimonide GdSb₂, terbium monoantimonide TbSb, and thulium monotelluride TmTe prepared by the method of vacuum-thermal evaporation from two independent sources of components has been studied at different substrates – quartz, single-crystalline silicon, glass-ceramic sitall, and sapphire coated tapes. During the study, a particular load is applied to the surface and counted the number of passes for complete abrasion. For comparison, all studied films' initial thickness was the same on all substrates: 1.2 μm. And the load on the films was same: 300 g. The grinding surface was a suede layer with a thickness of ~ 0.8 mm, on which diamond paste was applied.

RMS was studied immediately after removing the film from the vacuum camera and completing the procedure for measuring its thickness using an interference microscope. We studied 5 – 6 films of each cast. **Table 1** shows the average values of the measurement results.

Table 1. Relative mechanical strength of GdSb₂, TbSb, and TmTe tapes.

Film composition	Number of passes required or complete grinding			
	Substrate material			
	Quartz	Silicon	Sitall	Sapphire
GdSb ₂	13 – 15	32 – 35	41 – 42	51 – 54
TbSb	20 – 21	40 – 42	47 – 49	62 – 65
TmTe	25 – 27	47 – 50	58 – 61	77 – 79

As we can see from the **Table 1** and **Figures 1** and **2**, the RMP of the film strictly depends on both: the composition of the film and the substrates material. In particular, the RMS of films applied on the different substrates of the same composition is increased by the following

sequence of substrate materials: quartz, single-crystalline silicon, sitall, sapphire. The lowest RMS has films grown on quartz substrates, the highest – on sapphire substrates. Average values are obtained for films on single-crystalline silicon and sitall substrates, respectively.

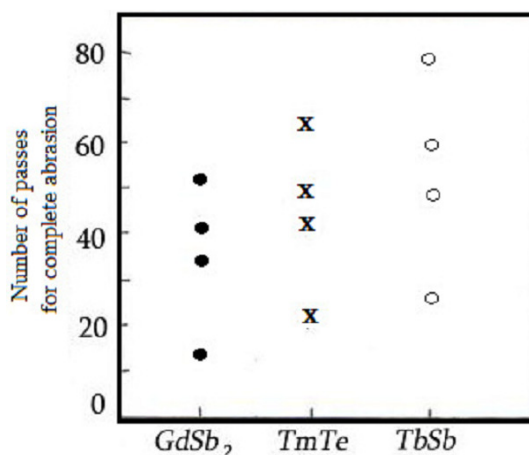


Figure 1. Dependence of RMS of films of same composition on substrate material.

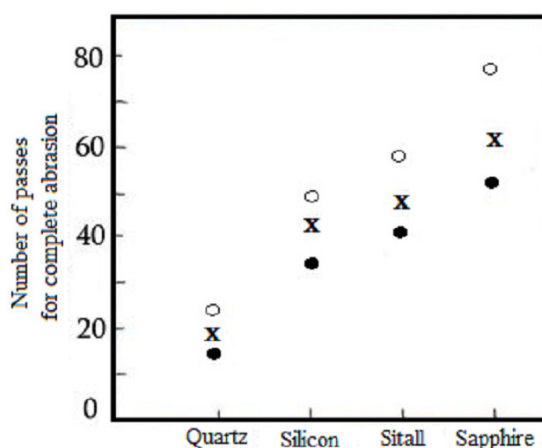


Figure 2. Dependence of RMS of films grown on substrates of same composition on their composition: o – TbSb, x – TmTe, and ● – GdSb₂.

Data show that TbSb films have the highest RMS for all substrate materials, and GdSb₂ films have the lowest values for all substrate materials, while TmTe films have an intermediate value. The films on sapphire substrate have the highest RMS values followed by films on the silicon substrate and then – sitall. The lowest RMS has films prepared on quartz substrates.

Table 2 shows the values of obtained and studied films and substrates thermal expansion coefficients (TEC). We can see that quartz has the lowest TEC among the materials used as a substrate, which is almost 130 times less than that of sapphire and 80 and 50 times less than the TEC of sitall and silicon, respectively. In terms of film materials, gadolinium diantimonide has the highest TEC followed by thulium telluride and finally terbium antimonide.

If we compare our experimentally obtained data with each other, we can assume that the material's RMS is influenced by the difference between the TEC of the substrate from the grown films TEC. The greater the difference, the lower the RMS. This may be related to the

well-known fact that cooling the film from the deposition temperature to room temperature causes more mechanical stresses in the film than the greater the difference between the TEC of the substrate and the TEC of the film material.

These mechanical stresses cause various distortions of the film's crystalline lattice: point, circular, volumetric defects, which ultimately reduce the RMS.

Table 2. Thermal expansion coefficient of thin films and their substrates.

Film / substrate composition	CTE, $10^{-6} / \text{K}$	Temperature range, K	References
GdSb ₂	12.8	300 – 890	[1]
TbSb	11.8	300 – 890	[2]
TmTe	10.9	300 – 980	[1]
Quartz	0.055	320 – 600	[3]
Silicon	2.54	300 – 1050	[3]
Sitall	4.1	298 – 573	[3]
Sapphire	8.1	298 – 573	[3]

Studies have shown that a similar picture is observed for films obtained by single-source evaporation. The difference in RMS of films obtained by discrete evaporation is about 8 – 10 % higher than that for films obtained by evaporation of components from two independent sources.

It is known that materials suffer from so-called aging. Aging is the process of changing the properties of a material over time. The aging process of antimonides and tellurides of rare earth elements, especially, thin films has not been studied. One of the objectives of this work was to study the RMS's dependence for the TbSb film obtained by us on the film's storage time under ambient conditions.

It is known that rare earth antimonides suffer specific changes after an inevitable delay in the atmospheric air. In particular, they change color. Additional maxima appear on the X-ray diffraction pattern corresponding to oxides and compounds of different compositions.

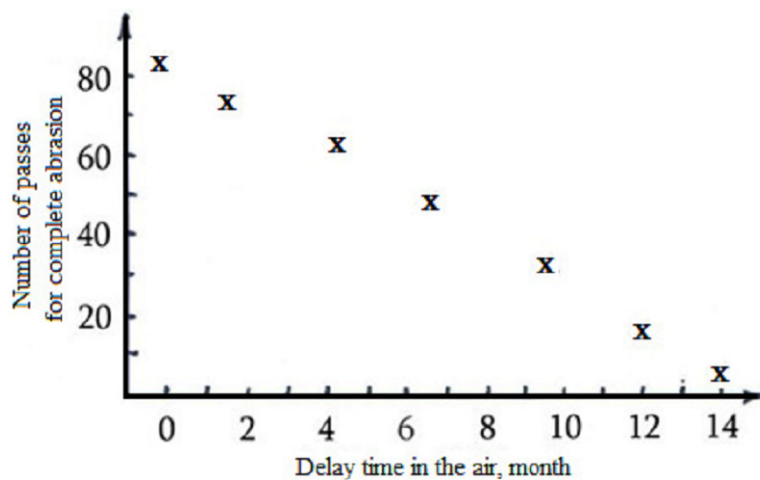


Figure 3. Dependence of RMS of TbSb film grown on sapphire substrate on delay time on air.

To determine how the ambient air retention time affects the RMS of the film, the RMS of the TbSb film grown on the sital substrate was measured as a function of the ambient air retention time. Six TbSb films of the same thickness, 1.3 μm , were deposited on sital substrate by the method of vacuum thermal evaporation of components from two independent sources. Next, the RMS was measured for the prepared films under a load of 350 g at the end of the applied completing grinding process and then periodically after keeping the films under ambient conditions for a certain period. In particular, the second measurement was carried out after the film surface has significantly changed its color (delay time was ~ 1000 h, i.e. 1.5 month). The other four films were measured at approximately 1.5 month intervals. The measurement results are shown in **Figure 3**.

As can be seen from the **Figure 3**, RMS decreases almost proportionally to the increase in heat retention. Retention of the film on the air for about fourteen months reduces the mechanical strength by almost 20 times.

As the analysis of scientific reference data [4 – 6] show, many factors can cause the aging. The films' aging process depends on the film material's chemical stability. And the aging rate, in turn, depends on the rate of change of various chemical and physical properties of the film. The leading cause of aging is oxygen in the atmospheric air enhanced by light, heat, and water vapor. Aging can also be caused by the recrystallization of the film material, decrease and disappearance of adhesion between the substrates and the film material, a decrease in the film surface smoothness, etc. A detailed determination of the causes of RMS rigidity requires additional complex studies.

References

- [1] M. N. Abdusaliyeva. Antimonides and bismuthides of rare earth elements (Doctoral Dissertation in Chemical Sciences), 1987, Sverdlovsk, 385 pp. – *in Russian*
- [2] E. I. Iarembash, A. A. Eliseev. Chalcogenides of Rare Earth Elements, 1975, Moscow, Nauka, 258 pp. – *in Russian*
- [3] S. I. Novikova. Thermal Expansion of Solids, 1974, Moscow, Nauka, 198 pp. – *in Russian*
- [4] G. P. Nikolaychuk. Structure of Metal Films Obtained by Pulsed Laser Deposition (Autoreferat of Candidate Dissertation in Physical and Mathematical Sciences), 1990, Kharkiv, 20 pp. – *in Russian*
- [5] A. G. Bagmut. Formation, natural aging, and annealing of amorphous and crystalline laser gold condensates. Surface, X-Ray, Synchrotron, and Neutron Studies, 2008, 6, 65-69. – *in Russian*
- [6] Yu. A. Skakov. Aging of metal alloys. In: Mater. Symp. Metallurgy, 1971, Moscow, 136-136. – *in Russian*

PECULIARITIES OF PRIORITIES AND CHALLENGE OF
PHARMACEUTICAL SCIENCES TO BE CONSIDERE IN IMPROVEMENT
OF REGULATION ISSUES OF PHARMACISTS PROFESSION

N. Sulashvili^{1,2,*}, M. Beglaryan¹, N. Gorgaslidze³,
S. Kocharyan¹, I. Zarnadze³, N. Chichoyan¹, Sh. Zarnadze³

¹ M. Heratsi Yerevan State Medical University
Yerevan, Armenia

² International School of Medicine
Tbilisi Open University
Tbilisi, Georgia

* n.sulashvili@ug.edu.ge

³ Tbilisi State Medical University
Tbilisi, Georgia

Accepted 2021 February 23

Abstract

The main objective of the study was to analyze the peculiarities of pharmaceutical sciences priorities and challenges towards on pharmacists' profession regulation issues perfection and enhancement in Georgia. The study was a quantitative investigation by using questionnaires. A survey study was conducted. The in-depth interview method of the respondents was used in the study. Different types of approved questionnaires were used (respondents were randomly selected): questionnaires for chief pharmacists, patients, employed pharmacy faculty-students, health-care specialists, and pharmacist specialists. Were used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, mathematical-statistical, graphical analysis. The data were processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p < 0.05$ as significant for all analyses. According to the study results, the respondent young (up to 35 year) pharmacists vast majority considered that for successful work their knowledge was not enough in the subjects of pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and pharmaceutical care. Therefore, in our opinion at university pharmacy programs and syllabuses need upgrade, adaptation and fit on new demands reality. In pharmacy faculty programs there should increase credits in the following subjects: pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and pharmaceutical care. Above mentioned complex would help formation of the highly qualified pharmacist with deep and systematic knowledge. It is obvious that the contact hours in the pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and the pharmaceutical care subjects within the

pharmaceutical education programs should be increased to ensure deep and systemic knowledge for the successful work. The Government should take care of the profession of pharmacist authority. The pharmacist's profession in the health care system should increase the authority and social importance by the state support. Pharmacist's profession should become of more power and authority; a pharmacist should have a much higher status in the healthcare system. Therefore, the role of a pharmacist is significantly increased in the healthcare system and is directly related to his professional education level. Therefore, pharmacist should have appropriate higher pharmaceutical education. All the mentioned is achieved then, when the pharmacist profession will move into the health-regulated professions list.

1. Introduction

A pharmacist is a health specialist, which distributes medications to patients on prescription, as directed by a doctor. Pharmacists have extensive knowledge of chemistry and drug therapy of different drugs and how they react to people, as well as how drugs interact with each other [1 – 3]. Pharmacists must accurately measure and a package of medicine, ensuring its security at the dosage and the patient. While typically the pharmacist does not choose or prescribe medication, the pharmacist educates patients on how to take the medication and what reactions or problems should be avoided [4 – 6]. Pharmacists, chemists are health professionals, who practice in the pharmacy, medical sciences, focused on the safe and effective use of medicines. A pharmacist is a member of the health care team directly involved in patient care [7 – 9]. Pharmacists are trained at the university level, to understand the biochemical mechanisms of action of drugs, drug use and therapeutic role, possible side effects, drug interactions and monitor settings [10]. Pharmacists interpreted this experience for patients, physicians, and other health professionals. Pharmacist's profession required: Bachelor of Pharmacy or Master of Pharmacy degrees and professional certificate and license in pharmacy [11 – 13]. Patient safety is a priority for all specialists-pharmacists-who care about health. Patient safety is defined as the prevention of harm to patients, including errors. For centuries, pharmacists were custodians/against the "poisons" of substances that may harm the community [14, 15]. Now more than ever is the responsibility of the pharmacist to safely receive medications for the patient. In opposite, in primary health care, pharmacists generally have more restricted straightforward approach to clinical patient records and another health care specialist, like clinical-based pharmacists are highly accessible to patients [16 – 18]. This provides patients with nice and good opportunities to search advices for the control of minor diseases or preventive care medicine, and occasionally more serious circumstances, constantly before searching assistance from the family Doctors [19, 20]. Pharmacist, according patients' need, transfers patients to the family Doctor, hospital or insurance company [21]. Therefore, pharmacists are in perfect situation and position to ensure a first full point of communication within the health care system, in a triage-pattern role or as a connection between other health care professionals, mainly family doctors and general medical practitioners [22 – 24]. Above mentioned aspirations are shown by some pharmacist scientists in western countries, who studied the pharmaceutical care services, where doctors access was limited [25 – 27]. The pharmacists distinguish the beneficial assistance and promotion to functioning as a bond between the various sites of health care division, such as distinction care, pharmacotherapy or pharmaceutical care or public safety [28, 29]. The cooperation of pharmacists with various

health care providers has as well demonstrated to have an affirmative influence in the judicial framework [30 – 33].

Main objective of the study was to analyze the peculiarities of pharmaceutical sciences priorities and challenges towards on pharmacists' profession regulation issues perfection and enhancement in Georgia.

2. Material and method

Research objectives are materials of sociological research: the study was quantitative investigation by using survey – questionnaire.

The in-depth interview method of the respondents was used in the study. Different types of approved questionnaires were used (respondents were randomly selected), e.g.

- Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists;
- Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores);
- Questionnaire for employed pharmacy faculty-students: 222 employed students;
- Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists;
- Questionnaire for pharmacist specialists: 810 pharmacist specialists.

Totally 3888 respondents were interviewed in Georgia.

We used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, segmentation, mathematical-statistical, graphical analysis. The data was processed and analyzed with the SPSS program. Results and discussion: The survey was conducted through the questionnaires. 1506 patients were interviewed in Georgia. Questions and answers are given in the tables. On each question are attached diagrams or table. Questionnaire and diagrams are numbered. The data was processed and analyzed with the SPSS program.

We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p < 0.05$ as significant for all analyses. In order to meet the objectives, set in the research we also used the results obtained through analysis of available official information, studies and opinions about pharmacists, as well as the methods of quantitative studies.

The research implementation required the sub studies of the peculiarities of pharmaceutical sciences priorities and challenges towards on pharmacists' profession regulation issues perfection and enhancement in Georgia [34 – 38]. Study of the data was processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p < 0.05$ as significant for all analyses.

In order to provide the study's ethical character each participant of it was informed about the study's goal and suggested of willingness of the work to be done. So, the respondents' written or oral compliance was got on that issue. All the studies were carried out by the selected organizations administrations' previous compliance. Informed consent form for each respondent to participate in an anonymous survey was used. During the whole period of research, the participants' incognita was also provided. For the international rules' and criteria' conformity this human subject comprising given study was discussed and confirmed on the Bioethics Committee sessions of the YSMU (Yerevan State Medical University).

3. Results

The respondents' young pharmacist' (up to 35 year) vast majority considered that for successful work their knowledge was not enough in the subjects of pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and pharmaceutical care (see **Figure 1**). Therefore, in our opinion at university pharmacy programs and syllabuses need upgrade, adaptation and fit on new demands reality. In pharmacy faculty programs there should increase credits in the following subjects: pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and pharmaceutical care. Above mentioned complex would help formation of the highly qualified pharmacist with deep and systematic knowledge. It is obvious that the contact hours in the pharmacology, pharmacotherapy, clinical pharmacy and the pharmaceutical care subjects within the pharmaceutical education programs should be increased to ensure deep and systemic knowledge for the successful work.

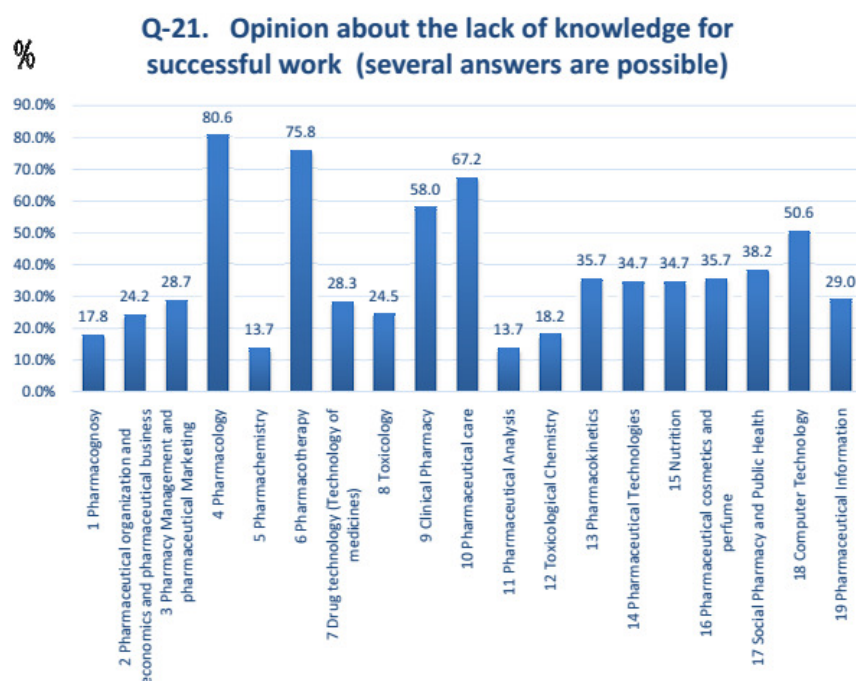


Figure 1. Respondents' opinion about lack of knowledge for their successful work.

Analysis the data of respondents answers on the question “Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?” (Q). revealed the following in different categories. The majority of chief pharmacists, consumers of medications, employed students, healthcare specialists and pharmacists considered that Government should make certification of pharmacists ($p < 0.000$). There are statistically significant points between variables (see **Table 1**).

When coupling the data of respondents' answers analysis of the questions “Indicate your sex” (Q1) and “Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?” (Q), it was obvious that there was not a significant difference between the variables ($p = 0.556$). There is no statistically significant attitude between sex and variables (see **Table 2**), this means “Gender” (Q1) and “Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?” (Q12). So, answers are not dependent on sex.

Table 1. Respondents' opinion about pharmacists' certification.

Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?			Total
	1. I agree	2. I partially agree	3. I do not agree	
Chief pharmacists	76.6 %	16.3 %	7.1 %	100.0 %
Customers	82.6 %	11.6 %	5.8 %	100.0 %
Employed students	95.9 %	3.6 %	0.5 %	100.0 %
Health-care specialists	94.8 %	4.6 %	0.7 %	100.0 %
Pharmacist specialists	71.9 %	21.9 %	6.3 %	100.0 %
Average	81.2 %	13.5 %	5.2 %	100.0 %
Chi-square tests				
	Value	Df	Asymp. sig. (2-sided)	
Pearson chi-square	132.625	8	0.000	

Table 2. Consumers of medications opinion about pharmacists' certification according gender.

Gender Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?		Gender (Q1)		Total
		1. Female	2. Male	
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	1. I agree	83.4 %	81.3 %	82.6 %
	2. I partially agree	11.0 %	12.6 %	11.6 %
	3. I do not agree	5.6 %	6.1 %	5.8 %
Total		100.0 %	100.0 %	100.0 %
Chi-square Tests				
	Value	Df	Asymp. sig. (2-sided)	
Pearson chi-square	1.173	2	0.556	

The respondents' (public health specialists) majority considered that importance in work of pharmacist was in personal realization as a specialist, receiving remuneration and provision of necessities of life. The respondents' minority considered it to be in relief of pain in suffering of people (see **Figure 2**).



Figure 2. Important issues in work for respondents – public health specialists.

Less than half part of the respondents – public health specialists considered that the level of basic training of pharmacists was not corresponding to the contemporary requirements (see **Figure 3**). According to the sociological study results of the public care specialists it is obviously,

that all pharmacists should have higher pharmaceutical education from the state recognized and accredited higher education institutions and universities. Pharmacists' specialty should become a regulated health care profession. According to that Government should make certification, licensing and accreditation of pharmacist professionals.

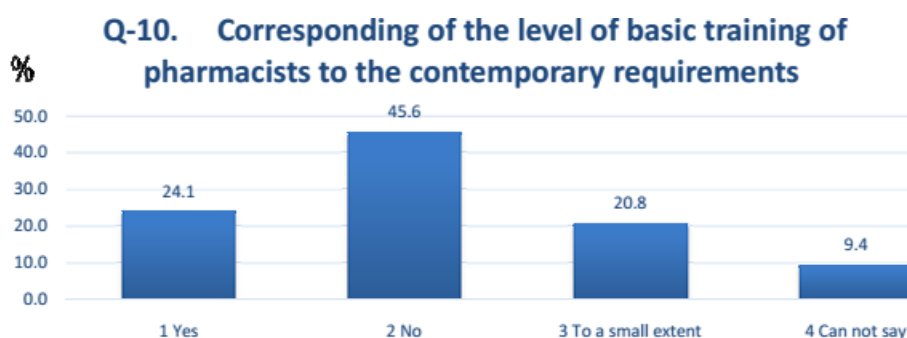


Figure 3. Respondents' opinion about pharmacists' basic training level correspondence to contemporary requirements.

The respondents' (public health specialists) vast majority considered that the issues to for pharmacists were in need of the further regular studies or trainings in the following fields: new medications, issues of pharmacotherapy of certain diseases, pharmacology and pharmacotherapy, drugs toxicity (see **Table 3**). From the study results it is obvious that in the higher pharmaceutical institutions' pharmaceutical educational programs and curriculum need upgrade, renewal, modernization and adaptation to the new modern medical challenges. Therefore, continuous pharmaceutical educational programs should be created. These programs should be more focused on new medications, pharmacotherapy, drugs toxicity and dosage, routes of drug administration, selection of OTC drugs, cost-effectiveness and cost-benefits of drugs.

Table 3. The respondents' (public health specialists) opinions about issues for pharmacists necessary for further regular studies or trainings.

#	Issues for pharmacists necessary for further regular studies or trainings (Q-11) – several answers were possible	Count	%
1	New drugs	187	60.9
2	Psychology of communication with customers	103	33.6
3	Issues of pharmacotherapy of certain diseases	197	64.2
4	Safety and effectiveness of drugs	154	50.2
5	Pharmacology and pharmacotherapy	224	73.0
6	Normative legal regulation of pharmaceutical activity	94	30.6
7	Drugs toxicity	164	53.4
8	Drugs dosage	112	36.5
9	Routes of drug administration	110	35.8
10	Drug forms	61	19.9
11	Drug design	43	14.0
12	Rules of drug administration	123	40.1
13	Drugs generic, chemical and brand names	57	18.6
14	Selection of OTC drugs	108	35.2
15	Cost-effectiveness and cost-benefits of drugs	96	31.3

Approximately half part of the respondents (public health specialists) was not familiar to the concept of pharmaceutical care; while more than a quarter of the public health specialists were well familiar to the concept of pharmaceutical care (see **Figure 4**).

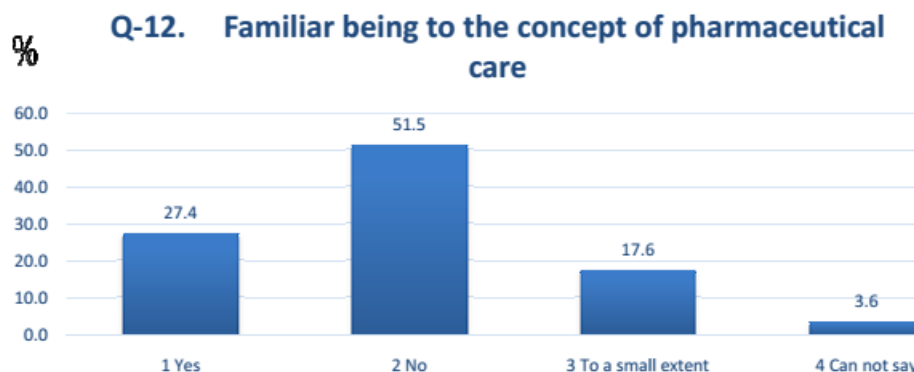


Figure 4. Respondents' (public health specialists) cognition of concept of pharmaceutical care.

The respondents' (public health specialists) large majority considered necessity of provision of cooperation between pharmacists and physicians on the issues of pharmacotherapy (see **Figure 5**). The pharmacist must provide information to doctor about new drugs pharmacotherapy, the generic replacement drugs, the cost-effectiveness and cost-benefits of drugs, drugs' generic, chemical and brand names. In our opinion and vision cooperation between pharmacists and physicians on the issues of pharmacotherapy is positively reflected on patients' health and has great importance for provision higher quality health care service for patients' safety.

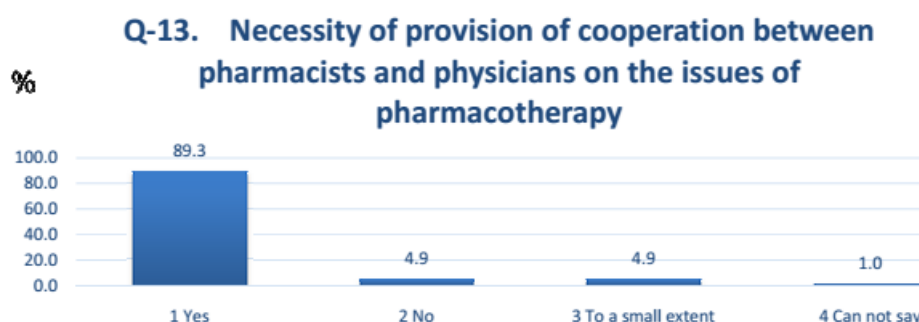


Figure 5. Respondents' opinion about necessity to provide cooperation between pharmacists and physicians on issues of pharmacotherapy.

More than half part of the respondents (public health specialists) considered that pharmacist is not in charge of treatment as a physician, meanwhile about a quarter of the public health specialists considered a pharmacist to be in charge of that (see **Figure 6**). Properly educated pharmacist can minimize and reduce the mistakes made by a doctor in the recipe. That has a great importance and value for provision higher quality health care service for patients' safety.

The respondents' (public health specialists) vast majority considered that pharmacist should provide assistance in teaching patients to understand the prescribed drugs intake rules (see **Figure 7**). According to that higher quality pharmaceutical service could be only provided by the pharmacists of higher pharmaceutical education, graduated from the authorized, accredited and licensed by the state higher education institutes and universities.

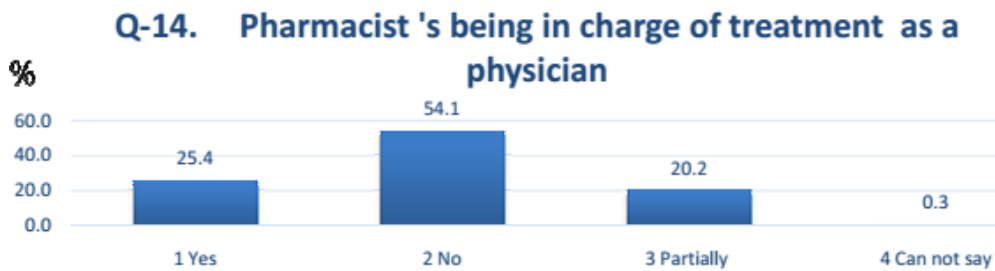


Figure 6. Respondents' (public health specialists) opinion about pharmacist's being in charge of treatment as a physician.

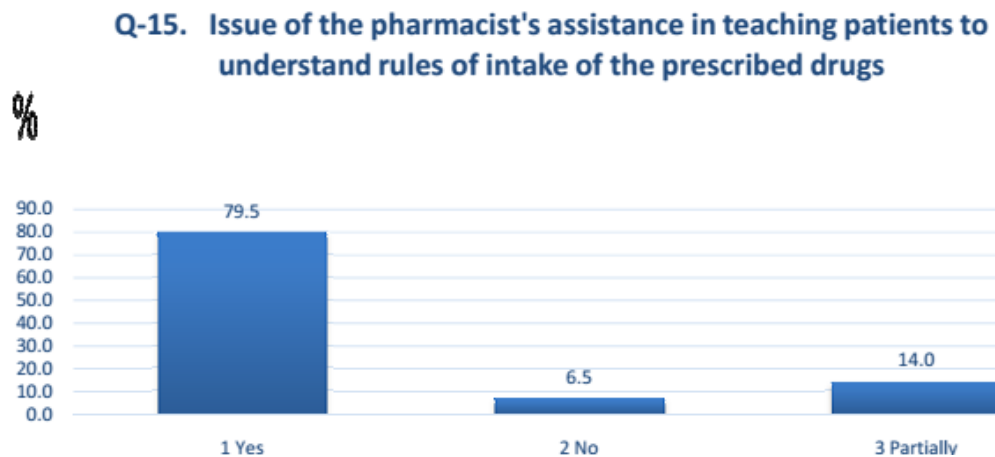


Figure 7. Respondents' (public health specialists) opinions about providing assistance by pharmacist in teaching patients to understand rules of intake of prescribed drugs.

Opinion that certification of pharmacists should be mandatory was more common among health care specialists than among chiefs (chi-square = 45.2, $p < 0.001$) and among pharmacists (chi-square = 68.9, $p < 0.001$), but there was no statistically significant difference between chiefs and pharmacists. It was more common also among customers /patients than in pharmacists (chi-square = 44.2, $p < 0.001$). The necessity of pharmacists' certification was stated more often by employed students than by pharmacists (chi-square = 57.3, $p < 0.001$).

Chi-square test of independence revealed that pharmacists more often than students mentioned mission (the desire to obtain a profession in compliance of own trends, aspirations and inclinations, personal desire, specialty love from childhood) as the main motive of their professional choice (65.5 % versus 55.8 %). Difference was statistically significant with chi-square = 9.9, $p < 0.002$. The difference between pharmacists and young specialists and young specialists and students wasn't statistically significant.

4. Discussion

On the basis of performed study results the following have been found.

The majority of higher pharmaceutical education pharmacists' specialists were female; among them the largest majorities were working on the pharmacist position at pharmacies. The Government and pharmaceutical companies should create promotional conditions for males to make pharmacist profession attractive for men. It is very important for career advancement and satisfaction to provide a balance between the workload and man personal life for the

satisfaction by income, for pharmacists' professional satisfaction, for pharmacist job satisfaction, and also for the career promotion perspectives.

The Government should take care of the profession of pharmacist authority. The pharmacist's profession in the health care system should increase the authority and social importance by the state support. Pharmacist's profession should become of more power and authority; a pharmacist should have a much higher status in the healthcare system. Therefore, the role of a pharmacist is significantly increased in the healthcare system and is directly related to his professional education level. Therefore, pharmacist should have appropriate higher pharmaceutical education. All the mentioned is achieved then, when the pharmacist profession will move into the health-regulated professions list.

The professional competency is mandatory for pharmacist specialists. Pharmacists' professional competency can be achieved by adopting of higher pharmaceutical education and by certification of pharmacist specialists. The higher pharmaceutical education, pharmacist specialists' certifications are the guarantee for higher professionalism of pharmacists and the pharmaceutical service provision in pharmacies.

The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

To increase the pharmacist's professional qualification, professionalism, professional knowledge and competency the higher pharmaceutical education universities programs should more emphasize the mentioned subjects. It is too important, that a pharmacist should realize and understand that qualification upgrading study courses, professional trainings and professional workshops are of great necessity for further professional advancement. Thus, the Government should develop continuous pharmaceutical education programs accessible to all pharmacists. The qualification upgrading study courses, professional education or training courses should be available for all pharmacists. Pharmacist's education process should not be stopped. Developing a continuous pharmaceutical education system will enhance the professionalism of the pharmaceutical personnel. Experiential education should encourage perfection of critical opinion and the problem resolving processes along with the medicine discovery. Translation of professional pharmaceutical literature should be supported and implemented, with further inclusion in educational programs. International professional publications in pharmacy should be more accessible, as they are highly required for all pharmacists.

Pharmacy faculty students should take part in the patient care practice in hospitals, society proceeding settings and in other practical experiences. Students should have the possibility to apply the clinical and pharmaceutical information taught in classes when studying in medical facilities by working under the supervision of volunteer mentors (the healthcare specialists or professionals). The research activity of the pharmaceutical faculty students in all fields of pharmaceutical practice should be encouraged.

Quality reliance refers to the necessity to improve higher pharmaceutical education to guarantee a useful, sustainable and steady activity and appropriate skills and competencies of

the tomorrow's labor resources. The pharmacy degree programs should be proposed at the higher pharmaceutical institution level and entire experimental constituent element in the clinical facilities.

To raise the professional standards, the Government should make a certification of the higher pharmaceutical education pharmacists. It is very essential for pharmacist's professional perfection and professional growth, for self-realization and job satisfaction of the higher pharmaceutical education pharmacists, for the pharmacists' career advancement, their much higher status among the health care specialists and economic welfare, for their full realization of the received knowledge while working, for an opportunity to have private pharmaceutical activity, for the perspectives of professional promotion and correspondence of pharmacists qualification to the work performed. There is a substantial need for preparation and implementation of the registration-certification regulations for pharmacists' staff. Process of the pharmacists' certification should be started immediately.

To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job.

It is necessary to provide a deep cooperation between pharmacists and physicians on the issues of pharmacotherapy and healthcare to ensure the patients' health state effective improvement, and also to provide the best feedback regulation and revision in the healthcare specialists' team work. Pharmacists also should be responsible for registration of the drugs' side effect, as well as be attentive in case of improperness and professional defects of drugs they provide. To achieve that it is necessary to raise awareness of specialists on the essence of pharmacists' profession and functions among the medical personnel and general public.

On the basis of the theoretical and logical analysis the structure and composition of the factors have been developed, considering the objective (external), subjective (internal) and universal factors, which influence on the professional formation of the pharmacist. These factors comprised the content of work, position, correspondence of qualification and nature of work to capabilities, aspirations and inclinations of the pharmacist, the existence of perspective for professional promotion. The existence of perspectives for career promotion, the possibility to enhance qualifications, a high degree of responsibility for the work results, regimen, labor salary and the system of benefits scheme for employees, support and assistance of a manager, direct relations with manager and colleagues serve the essential base for the pharmacists' successful work. The unity of criteria for pharmacist professional formation, for the common professional formation (characteristic to all stages) and the specific professional formation (characteristic to the separate stage) had been developed.

The study of the professional adaptation of pharmacists indicated that inadequate professional knowledge, improper performance of the acquired professional skills were the

main reasons for imperfect pharmaceutical care supply. The majority of the pharmaceutical organizations' heads and also the young specialists considered the coexistence of a mentor (experienced professional pharmacist) as the main factor of professional improvement for pharmacists' professional adaptation. The pharmacists' personnel must show stirring involvement in sharing their cognition, understanding, science, skill and contributing partnership and cooperation within the colleagues and other health care professionals in pharmacy direction.

It is quite significant, that pharmaceutical companies regularly perform study of pharmacists' work satisfaction. The pharmaceutical companies should determine combination of factors that effect on the pharmacists' work satisfaction. Pharmaceutical companies should create favorable working conditions for pharmacists to enable the maximal realization of the pharmacists' professional capabilities, skills and habits. A balance between the workload and pharmacists' personal life should be more harmonized, convenient, resourceful and more poised. This will increase the quality of pharmaceutical care in pharmacies.

It should be noted, that pharmacist's satisfaction with income is a very sensitive factor that has a significant impact on the quality of pharmaceutical services performed in pharmacy, and so the pharmacists' salary should be revised and increased.

It should be noted that in developed countries and in many developing countries pharmaceutical specialty is regulated profession alike the family medicine. In western countries pharmacist as a family doctor need higher pharmaceutical education, diploma and continuous pharmaceutical education, pharmaceutical license and periodic accreditation. Only pharmacists with higher pharmaceutical education have the right to work as pharmacists' position in the pharmacies. On the pharmacists' certification programs should be only involved pharmacists who have graduated pharmaceutical faculties from state recognized and accredited universities.

5. Conclusion

The opinion that certification of pharmacists should be mandatory was more common among health care specialists, than among chiefs and pharmacists. The necessity of pharmacists' certification was stated more often by employed students, than by pharmacists. It was more common also among customers/patients than in pharmacists. Statistically significant was association between the patients' educational level and their opinion about the necessity of pharmacists' certification: customers with higher education considered certification of pharmacists as mandatory more often, than did patients with secondary education.

Acknowledgments

Authors wish to thank to Ministry of Education and Sciences of Georgia and Ministry of Education and Sciences of Armenia and Gratitude to Yerevan State Medical University and Tbilisi State Medical University.

References

- [1] International Pharmaceutical Federation. FIP Statement of Policy: Medicines Information for Patients, 2008, Hague, FIP.

- [2] I. Krass. Ways to boost pharmacy practice research. *Pharm. J.*, 2015, 2.
- [3] G. Parthasarathi. *A Textbook of Clinical Pharmacy Practice: Essential Concepts and Skills*, 2017, Univ. Press India Priv. Ltd, 26-37.
- [4] B. D. Franklin, J. W. van Mil. Defining clinical pharmacy and pharmaceutical care. *Pharm. World Sci.*, 2005, 27, 3, 137-144.
- [5] N. Sulashvili. Peculiarities of professional and career improvement strategy for pharmacists' Republic of Armenia Ministry of Education and Science (Dissertation for Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences), 2019, Yerevan, Yerevan State Med. Univ., 1-175.
- [6] Sh. P. Desselle, D. P. Zgarrick, G. Alston. *Pharmacy Management: Essentials for All Practice Settings*, 2016, 329-347.
- [7] M. I. Smith, A. I. Wertheimer, J. E. Fincham. *Pharmacy and the US Health Care System*, 2013, Pharmaceutical Press, 402-426.
- [8] International Pharmaceutical Federation. *Continuing Professional Development / Continuing Education in Pharmacy (Global Report)*, 2014, Hague, FIR.
- [9] N. Sulashvili. Peculiarities of professional and career improvement strategy for pharmacists' Republic of Armenia Ministry of Education and Science (Abstract of Dissertation for Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences), 2019, Yerevan, Yerevan State Med. Univ., 1-26.
- [10] Red-Hot Careers. *Clinical pharmacist RED-HOT Career Guide. 2592 Real Interview Questions*, 2017, Create Space Independent Publishing Platform, 216-242.
- [11] K. J. Tietze. *Clinical Skills for Pharmacists: A Patient-Focused Approach*, 2011, Mosby.
- [12] N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, M. Gogashvili, M. Beglaryan. Common characteristics and scope of young pharmacist professionals in Georgia. In: *Mater. 12th Sci. Prac. Internet-Conf. "Pharmacoeconomics in Ukraine, Condition and Development Prospects"*, 2020, Kharkiv, Ukraine Natl. Univ. Pharmacy, 153-156.
- [13] Royal Pharmaceutical Society. *Foundation Pharmacy Framework, a Framework for Professional Development in Foundation Practice across Pharmacy*, 2014, London, RPS.
- [14] J. F. van Mil, M. Schulz, T. F. D. Tromp. Pharmaceutical care, European developments in concepts, implementation, teaching, and research: A review. *Pharm. World Sci.*, 2014, 26, 6, 303-321.
- [15] Global Respiratory Infection Partnership. *Antibiotic resistance: Prioritizing the patient. Report from the Global Respiratory Infection Partnership*, 2015.
<http://www.grip-initiative.org/media/114428/recstr-grip-cta-meeting-report.pdf>
- [16] S. Fielding, T. Porteous, J. Ferguson, V. Maskrey, A. Blyth, V. Paudyal, G. Barton, R. Holland, Ch. M. Bond, M. C. Watson. Estimating the burden of minor ailment consultations in general practices and emergency departments through retrospective review of routine data in North East Scotland. *Fam. Pract.*, 2015, 32, 2, 165-172.
- [17] Pharmaceutical Group of European Union. *Promoting Efficiency, Improving lives (Annual Report)*, 2015, PGEU.
- [18] N. Sulashvili, M. Beglarya. Pharmacist occupational features, regulations framework and profession enhancement challenges of pharmaceuticals. *Caucasus J. Health Sci. Public Health*, 2020, 4, 8, 31-36.

- [19] N. Kvizhinadze, D. Tophuria, N. Intskirveli, N. Sulashvili. Study of Factors Affecting on Population's Health Improvement. *Caucasus J. Health Sci. Public Health*, 2020, 4, Suppl. 8, 42-45.
- [20] Th. R. Brown. *Handbook of Institutional Pharmacy Practice*, 2006, Am. Soc. Health-System Pharmacists, 65-71.
- [21] M. E. Mohr. *Standards of Practice for the Pharmacy Technician (LWW Pharmacy Technician Education)*, 2009, Student Edition, 312-336.
- [22] N. Sulashvili, N. Chichoyan, O. Gerzmava, T. Tsintsadze, L. Gabunia, N. Kvizhinadze, M. Beglaryan. Singularities of pharmaceutical organizational and regulation issue aspects vision by public health specialists. In: *Proc. 2nd Int. Sci.-Pract. Internet-Conf. "Modern Pharmacy – Science and Practice"*, 2020, Kutaisi, A. Tsereteli State Univ., 131-140.
- [23] J. M. Linacre, B. Wright. *Interpreting Output Table (A User's Guide to Big Steps – Win Steps Rasch Model Computer Program)*, 2011, Chicago, MESA Press.
- [24] M. H. Frost, B. B. Reeve, A. M. Liepa, J. W. Stauffer, R. D. Hays. What is sufficient evidence for the reliability and validity of patient-reported outcome measures? *Value Health*, 2007, 10, 2, 94-105.
- [25] M. H. Sosabowski, M. J. Ingram. 21st century issues in pharmacy education in the United Kingdom. *Am. J. Pharm. Educ.*, 2003, 67, 4, Article 122.
- [26] British Pharmaceutical Students' Association. The imbalance between pre-registration training and undergraduate pharmacy student numbers: A BPSA discussion paper. Accessed: 2014 April 9.
- [27] National Matching Services. Summary results of the Match for Positions Beginning in 2014.
<https://www.natmatch.com/ashprmp/stats/2014applstats.html>
- [28] K. Hassell. Centre for Pharmacy Workforce Studies (CPWS) briefing Paper: GPhC Register Analysis 2011.
<http://www.pharmacy.regulation.org/sites/default/files/Analysis%20of%20GPhC%20Pharmacist%20Register%202011.pdf>
- [29] N. Sulashvili, M. Beglaryan. Pharmacist's professional features and work gratification. *Black Sea Univ. Sci. J. (Med., Pharm. Sci.)*, 2016, 29, 62-68.
- [30] N. Sulashvili, M. Beglaryan. Pharmacists' professional features viewed by the customer's (customer's) eyes in Georgia. *Sci.-Practical J. Exp. Clin. Med.*, 2017, 4, 22-25.
- [31] N. Sulashvili, M. Beglaryan. Characteristics of pharmacist activity viewed by the customer's. In: *Int. Sci. Innov. Festival – 2017 Conf. "Healthy Lifestyle – Scientific Evidences and Controversial Issues" & "Innovation in Medicine"*, 2017, Tbilisi, Tbilisi State Med. Univ., 30-31.
- [32] N. Sulashvili, M. Beglaryan. Professional features for employed pharmacy faculty students' in Georgia. *New Armenian Med. J. Suppl.*, 2017, 3, 40.
- [33] S. Wittayanukorn, S. C. Westrick, R. A. Hansen, N. Billor, K. Braxton-Lloyd, B. I. Fox, K. B. Garza. Evaluation of medication therapy management services for patients with cardiovascular disease in a self-insured employer health plan. *J Manag. Care Pharm.*, 2013, 19, 5, 385-395.
- [34] N. Sulashvili, M. Beglaryan, M. Matoshvili. Occupational features of pharmaceutical workers viewed by the chief pharmacists. *Caucasus J. Health Sci. Public Health*, 2018, 2, 2, 56-61.

- [35] N. Sulashvili, M. Beglaryan, M. Sulashvili. Personal features, capabilities and skills of job adaptation for pharmacist specialists. *Tbilisi David Agmashenebeli Univ. Sci. J.*, 2018, 13, 231-236.
- [36] B. J. Isett's, S. W. Schondelmeyer, M. B. Artz, L. A. Lenarz, A. H. Heaton, W. B. Wadd, L. M. Brown, R. J. Cipolle. Clinical and economic outcomes of medication therapy management services: The Minnesota experience. *J. Am. Pharm. Assoc.*, 2008, 48, 2, 203-214.
- [37] T. Delate, E. A. Chester, T. W. Stubbings, C. A. Barnes. Clinical outcomes of a home-based medication reconciliation program after discharge from a skilled nursing facility. *Pharmacotherapy*, 2008, 28, 4, 444-452.
- [38] J. L. Schnipper, J. L. Kirwin, M. C. Cotugno, S. A. Wahlstrom, B. A. Brown, E. Tarvin, A. Kachalia, M. Horng, Ch. L. Roy, S. C. McKean, D. W. Bate. Role of pharmacist counseling in preventing adverse drug events after hospitalization. *Arch. Intern. Med.*, 2006, 166, 5, 565-571.

**ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის
პრობლემები 2019 წლის ფორუმებზე**

წარმოვადგენთ 2019 წელს გამართული იმ ზოგიერთი მნიშვნელოვანი ფორუმის მოკლე ქრონიკას, სადაც ქართველი მკვლევრები მონაწილეობდნენ ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის თანამედროვე პრობლემებისადმი მიძღვნილი მოხსენებებით.

* * *

საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მეცნიერება პრაქტიკისა და განვითარებისათვის“, 2019 წლის 22 – 24 თებერვალი, ბაქო, აზერბაიჯანი (International Scientific Conference “Science for Practice and Development”, 2019 February 22 – 24, Baku, Azerbaijan) ჩაატარა ეკონომიკის კვლევისა და განვითარების ინსტიტუტმა (ეკვი), დირექტორი: პროფ. ვალერი მოსიაშვილი. კონფერენციის საორგანიზაციო კომიტეტის თავმჯდომარე გახლდათ პროფ. დავით ჩახვაშვილი. ამ კომიტეტში და კონფერენციის სამეცნიერო საბჭოში, გარდა საქართველოს წარმომადგენლებისა, მონაწილეობდნენ მკვლევრები აზერბაიჯანიდან, ბელარუსიდან, ირანიდან, პოლონეთიდან, რუსეთიდან და ჩრდილოეთ მაკედონიიდან.



კონფერენციის გახსნა –
პროფ. დავით ჩახვაშვილი



პლენარულ სხდომას უძღვება
პროფ. ვალერი მოსიაშვილი



პლენარულ სხდომაზე. ცენტრში:
პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი

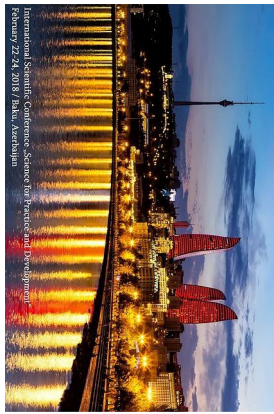


მოხსენებით გამოდის
პროფ. აქბარ გაფოური

კონფერენციის მასალები გამოქვეყნდა საერთაშორისო რეცენზირებად და რეფერირებად ჟურნალში „ეკონომიკა და ფინანსები“.



კონფერენციის პროგრამის სატიტულო გვერდი



ჟურნალის „ეკონომიკა და ფინანსები“ 2019 წლის # 1 გამოშვების გარეკანი, სადაც გამოქვეყნდა კონფერენციის მასალები

კონფერენციაზე დამწრებმა ბევრი საინტერესო მოხსენება მოისმინეს. მათ შორის აღსანიშნავია ინგლისურის ეფექტური სწავლების ცენტრის დირექტორის პროფ. აქბარ გაფოურის (თეირანი, ირანი) პრეზენტაცია.



ბაქოს ახალი რაიონის მაკეტი



აზერბაიჯანისა და საქართველოს თაროები ბაქოს მინიატურული წიგნების მაღაზიაში



ბაქოს საერთაშორისო აეროპორტისაკენ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორმა და ფ. თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის უფროსმა მეცნიერ თანამშრომელმა ლევან ჩხარტიშვილმა პლენარულ სხდომაზე წარმადგინა მოხსენება:

- ლ. ჩხარტიშვილი, ო. ცაგარეიშვილი, ა. მიქელაძე. მასალათმცოდნეობაში ინოვაციური კვლევების კომერციალიზების თაობაზე.

L. Chkhartishvili, O. Tzagareishvili, A. Mikeladze. On Commercialization of Innovative Studies in Materials Science.



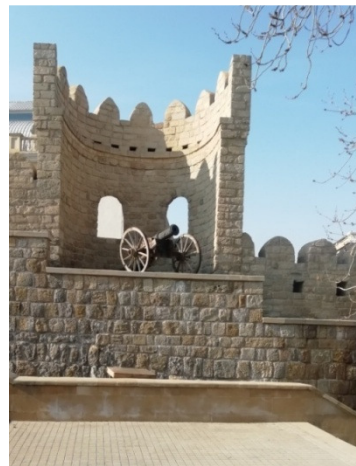
„გონდოლით“ გასეირნება „ბაქოს ვენეციაში“

მასალათმცოდნეობაში ინოვაციური კვლევების კომერციალიზების შესაძლებლობები განხილულ იქნა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმდინარე პროექტის: „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური კერამიკული მასალებისა და გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ნაკეთობების მიღება“ მაგალითზე. ესაა

გამოყენებითი კვლევა ტექნოლოგიური განვითარებისათვის, რომელსაც ახორციელებს კონსორციუმი შემდეგი შემადგენლობით:

- ფ. თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი;
- ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (წარმოდგენილი ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტითა და პ. მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტით); და
- საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი.

ამ ორგანიზაციებს დიდი გამოცდილება აქვთ ბორშემცველი მასალების მიღებასა და თვისებების კვლევებში, და მათგან ნაკეთობების წარმოებასა და მარკეტინგში. ამ გამოცდილებისა და პრობლემის სამეცნიერო და საწარმოო აქტუალობის საილუსტრაციოდ საკმარისია აღინიშნოს, რომ საწარმოო დანიშნულების ნანომასალების უახლეს ენციკლოპედიურ ცნობარში პროექტის შემსრულებლების ავტორობითაა დაწერილი თავი ბორშემცველი ნანოკრისტალური მასალების შესახებ.



იჩერიშეჰირი (მე-12 საუკუნე) – შიდა ქალაქი:
მაიდანის კოშკი და ციხესიმაგრე

თანამედროვე კომერციული დანიშნულების მყარ მასალებს შორის ყველაზე მაღალი სისაღე / სიმკვრივე ფარდობით ბორის კარბიდი ხასიათდება. ამ და სხვა უნიკალური თვისებების გამო, მასალები ბორის კარბიდის ფუძეზე ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში, ბირთვულ ენერგეტიკაში, კოსმოსურ ტექნოლოგიებში, მედიცინაში და ა.შ. მაგრამ ბორის კარბიდის სიმყიფე და, შესაბამისად, შედარებით დაბალი ბზარმედეგობა აფერხებს წარმოებაში გამოყენებათა არეალის შემდგომ ზრდას. პროექტის მიზანია აღნიშნული ნაკლოვანების აღმოფხვრა ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტური მასალების შექმნით. შესაბამისი ორიგინალური საწარმოო ტექნოლოგია გულისხმობს ნანოკომპოზიტური ფხვნილების მიღებას ორგანული გამხსნელებით მომზადებული თხევადი კაზიმების ზომიერ ტემპერატურებზე დამუშავებით და მათ კომპაქტირებას მყარ მასალებად და / ან ნაკეთობებად ნაპერწკლურ-პლაზმური სინთეზით. ახალი ტექნოლოგია, არსებულთან შედარებით, იქნება უფრო ენერგოდამზოგავი, ეკოლოგიური და ეფექტური. პროექტის განხორციელების ფინალურ ეტაპზე შედგება კვლევის შედეგების კომერციალიზების ბიზნეს-გეგმა და მოეწყობა საპილოტე საწარმოო უბანი. საქართველოს, რეგიონული და საერთაშორისო ბაზრების წინასწარი კვლევა აჩვენებს, რომ ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტური მასალების ფხვნილებისა და მათგან მყარი მასალებისა და ნაკეთობების წარმოება მაღალი მოგების მომტანი იქნება.

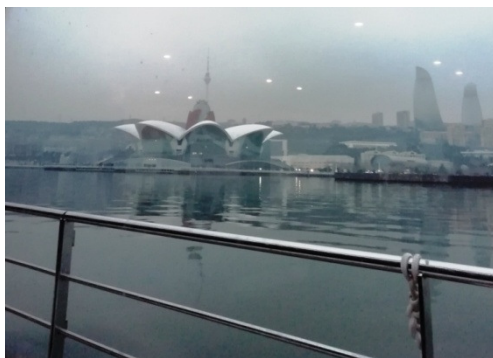


კონფერენციის მონაწილეები
კორპორატიულ სადამოზე

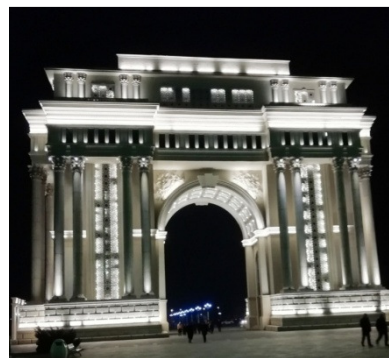


„ცეცხლის ენების“ ცათამბრჯენთა
ტრიადის ერთერთი კოშკი ღამით

ბაქოში კონფერენციის მონაწილეები დაბინავდნენ სასტუმროში ხედით ბულბულის ტბაზე. სასტუმროსა და რესტორანში გაიმართა წინასაკონფერენციო ალაფურშეტი და კორპორატიული სადამო, რა დროსაც მონაწილეებმა დააგემოვნეს აზერბაიჯანული და აღმოსავლური ტკბილეული და კერძები.



გემით გასეირნება კასპიის
ზღვის აკვატორიაში



ტრიუმფალური თაღი
განჯის პარკში ღამით

კონფერენციის სოციალური პროგრამა მოიცავდა ექსკურსიას ძველ ბაქოში, აზერბაიჯანის ეთნოგრაფიული მუზეუმის, ჰეიდარ ალიევის მუზეუმის, თოჯინების მუზეუმის, რარიტეტული ავტომობილების გამოფენის, ფერარის ცენტრის ექსპონატების გაცნობას, გემით გასეირნებას კასპიის ზღვის აკვატორიაში, ქალაქ განჯის ღირშესანიშნაობების დათვალიერებას.

* * *

ქიმიურ ელემენტთა პერიოდული სისტემის მეხუთე ელემენტი – ბორი B, რომელიც ძალზე იშვიათად გვხვდება სამყაროში, მისი ნაერთები და კომპოზიტები მრავალ სფეროში გამოიყენება. ესენია: ზემტკიცე მასალების აბრაზივებისა და მჭრელი ინსტრუმენტების დამზადება, დამცავი დანაფარების შექმნა, რადიაციული დაცვა, მედიცინა (წამლის გადამტან აგენტები), სოფლის მეურნეობა (სასუქები) და სხვა.

დედამიწაზე ბორშემცველი წიაღისეული მარაგების უდიდესი ნაწილი (სხვადასხვა შეფასებით, 70 – 80 %) თურქეთში მოიპოვება. ამიტომ, რომ თურქეთს ზოგჯერ „ბორის ქვეყანას“ უწოდებენ. თურქეთის მთავრობა მნიშვნელოვან რესურსებს წარმართავს იქითკენ, რომ მსოფლიო ბაზრისათვის ქვეყანა იყოს არა მარტო ამ

ძვირფასი ნედლეულის მიმწოდებელი, არამედ – ბორშემცველი პროდუქტების მწარმოებელიც. ამ ღონისძიებათა ერთერთი გამოხატულებაა თურქეთში ჩატარებული მრავალი საერთაშორისო სამეცნიერო ფორუმი, მიძღვნილი ბორშემცველი მასალების მიღების მეთოდების შემუშავების და მათი სტრუქტურის და მორფოლოგიის და ფიზიკური და ქიმიური თვისებების გამოკვლევებისადმი.



სიმპოზიუმის Boron 2019 საზეიმო გახსნა

თურქეთის ბორის კვლევის ეროვნულმა ინსტიტუტმა (BOREN) ბორის 2019 წლის საერთაშორისო სიმპოზიუმი – ბორი 2019 ქალაქ ნევშეჰირში 17 – 19 აპრილს ჩაატარა (International Boron Symposium, 2019 April 17 – 19, Nevsehir, Turkey – Boron 2019). გახსნის დღეს პლენარული და პოსტერული სესიები გაიმართა. სადამოს კი სიმპოზიუმის მონაწილეები გალა-სადილზე არაფორმალურ ვითარებაში შეხვდნენ ერთმანეთს. მომდევნო ორი დღე დაეთმო მუშაობას ზეპირი სესიის პარალელურ სექციებში:

- ორგანობორული მასალები და ბორშემცველი პოლიმერები
- ბორშემცველი მასალების მეტალურგია
- ბორის მარკეტი, ეკონომიკა და პოლიტიკა
- ბორი და მისი გამოყენება ჯანმრთელობის დაცვაში
- ბორი მინერალებში, ბოჭკოვან მასალებსა და კომპოზიტებში
- ბორის გეოლოგია და მოპოვება, ბორშემცველი მინერალების გადამამუშავება
- ბორშემცველი დანაფარების მიღების ტექნოლოგია
- ბორის აგროკულტურული გამოყენებები
- ბორი გაჟღენთილ ქიმიკატებსა და სამშენებლო მასალებში
- ბორის ქიმიკატები
- ბორის აღდგენა და გარემო
- ბორშემცველი საღებავები და არააღებადი მასალები
- ბორი და ენერგეტიკა



სიმპოზიუმის Boron 2019 ბროშურა



პროფ. ონურალფ იუჯელის (თურქეთი) პლენარული მოხსენება

სულ 250 მოხსენება გაკეთდა, ძირითადად მასპინძელი ქვეყნის მკვლევრების მიერ. თუმცა, სიმპოზიუმზე, თურქეთის გარდა, აგრეთვე წარმოდგენილი იყვნენ აშშ, ბელარუსი, გერმანია, იაპონია, პოლონეთი, სამხრეთ აფრიკა და საქართველო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორმა და ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის ბორისა და ფხვნილოვანი კომპოზიტური მასალების ლაბორატორიის უფროსმა მეცნიერ თანამშრომელმა ლევან ჩხარტიშვილმა სიმპოზიუმზე წარმოადგინა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის AR-18-1045 ფარგლებში შესრულებული სამუშაო:

- ა. მიქელაძე, ო. ცაგარეიშვილი, ლ. ჩხარტიშვილი, რ. ჭედია. „ზოგიერთი ბორშემცველი და მონათესავე ნანოკრისტალური სისტემის მიღება ხსნარებისა და სუსპენზიებიდან“.

A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia. “Obtaining of Some Boron-Containing and Related Nanocrystalline Systems from Solutions and Suspensions”.

მოხსენების სრული ტექსტი, სტატიის სახით, გამოქვეყნდა სიმპოზიუმის მასალებში.

PROGRAMME	
1 st DAY 17 APRIL 2019, WEDNESDAY	
Damat İbrahim Paşa Hall (A)	
08:30 - 09:30	(REGISTRATION)
09:30 - 10:30	(OPENING SPEECHES)
10:30 - 10:45	COFFEE BREAK
PLENARY SESSION	
Chair Person - Prof. Dr. İsmail GİRGIN	
10:45 - 11:15	Prof. Dr. Josef MICHL (University of Colorado) Advances in the Chemistry of the CB ₂ Cluster
11:20 - 11:50	Prof. Dr. Marek BRYJAK (Wrocław University of Science and Technology) Innovative Materials and Processes for Removal of Boron from Aqueous Solutions
11:55 - 12:25	Prof. Dr. Sadik DOST (University of Victoria) An Overview of Bulk Single Crystal Growth: Experimental and Modelling
12:30 - 13:00	Prof. Dr. İbrahim A. SARAÇOĞLU (Senior Advisor to the President of the Republic of Turkey) Areas of Usage of Boron in Different Industries and Its Add-value Products
13:00 - 14:00	LUNCH
14:00 - 18:30	AFTERNOON PROGRAM
20:00	GALA DINNER

სიმპოზიუმის Boron 2019 პროგრამის პირველი გვერდი



სიმპოზიუმის Boron 2019 მასალების წიგნის გარეკანი

ნევშეჰირის სიტი, სადაც მიმდინარეობდა სიმპოზიუმი Boron 2019, კაპადოკიის რეგიონის დედაქალაქია. ამ ადგილას პირველი დასახლება ჩვენ წელთაღრიცხვამდე 3000 – 4000 წლის წინათ ჩნდება. ქალაქის უძველესი შემორჩენილი სახელწოდებაა ნისა.



კაპადოკიური პეიზაჟი მზის ჩასვლისას

კაპადოკიის ხედები ძალზე სანახაობრივია. სამი მილიონის წინანდელი ამოფრქვევების შედეგად ეს პლატო ვულკანური ტუფით დაიფარა, რომელიც ქარისა და წვიმის ეროზიულმა ზემოქმედებამ სურეალისტურ ლანდშაფტად გადააქცია.

მრავალი საინტერესო ისტორიული ძეგლია თავმოყრილი ქალაქთა სამკუთხედში ნევშეჰირი–ურგუფი–ავანოსი.

ნევშეჰირში ქრისტიანული და მუსულმანური კულტურების საკმაოდ ბევრი ისტორიული ძეგლია შემორჩენილი. სელჩუკების პერიოდს განეკუთვნება მწვერვალის ეკლესია, რომელიც ქალაქის ყველაზე მაღალ წერტილშია განლაგებული. 1726 წელსაა აგებული კურსუნლუს მეჩეთის კომპლექსი და მიმდებარე მედრესე. გულშეჰირი – ჰაჯიბექთაში, ესაა ქალაქი ქალაქში, სადაც ცნობილმა მუსლიმმა პილიგრიმმა (ჰაჯი) ბექთაშ ველიმ XIV საუკუნეში დაარსა დერვიშთა ორდენი, დაფუძნებული საყოველთაო სიყვარულსა და ჰუმანიზმზე.



ქვაბოვან ეკლესიათა კომპლექსები



მწვერვალის ეკლესია



ელიტური ქვაბოვანი სასტუმრო



ფოლკლორული ანსამბლის გამოსვლა გალა-სადილზე

პატარა ქალაქი ურგუფი კაპადოკიის ტურისტულ ცენტრად ითვლება. ის მდებარეობს 20 კილომეტრში ნევშეჰირის აღმოსავლეთით, გორენეს (ძველი სახელწოდებებია: კორამა, მატიანა, მაქანი და ავჯილარი) ქვაბოვან ეკლესიათა მახლობლად. ამჟამად ურგუფი განახლებულია და მორგებულია ტურიზმის საჭიროებებს. კერძოდ, ძველი ქვაბოვანი საცხოვრებელი სახლები თანამედროვე

სასტუმრო ნომრებად, ღამის კლუბებად და ბარებად არის გადაკეთებული, თუმცა, მათი ისტორიული იერსახის დაზიანების გარეშე. ურგუფი, აგრეთვე, განთქმულია ხელნაქსოვი ხალიჩებითა და მაღალხარისხოვანი ღვინის წარმოებით.



კაპადოკიური კერამიკული ნაწარმი

ძველი ქალაქი ავანოსი (ადრე – ვენესა), რომელიც ნევშეჰირის ჩრდილოეთით 18 კილომეტრშია მდებარეობს, ყოზილირმაკს (წითელ მდინარეს) გადაჰყურებს. ავანოსის ისტორიული თავისებურება, რომელიც მას დღესაც გამოარჩევს, თიხის ჭურჭლის წარმოებაა. ამ რეგიონში მეთუნება ჯერ კიდევ ხეთების დროს იღებს სათავეს.



გორენეს ღია ცის ქვეშ მუზეუმში



მუზეუმში



ჩაიხანაში



ხიდზე წითელ მდინარეზე

სხედან მარცხნიდან მარჯვნივ: პროფ. ბილგინ კაფტანოღლუ (თურქეთი), პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი (საქართველო), პროფ. ბ. კაფტანოღლუს დოქტორანტები – თუგჩე ჰაქალოღლუ და თუნჯ საფა ალტუნსარაი და დოქტ. იასინ პოლატი (თურქეთი)

აქ პოპულარული ტურისტული გასართობებია ცხენებით, ავტომობილებითა და საჰაერო ბურთებით გასეირნება.



კაპადოკიას ზოგჯერ მშვენიერი ცხენების მიწას უწოდებენ

ამ სტრიქონების ავტორისათვის სასიამოვნო მოულოდნელობა აღმოჩნდა ის, რომ მასპინძელმა დოქტ. იასინ პოლატმა (ნევშეჰირის ჰაჯი ბექთაშ ველის უნივერსიტეტი) იცოდა ქართველთა განმანათლებლის წმ. ნინოს კაპადოკიელობის თაობაზე.

* * *

ორიოდე თვეში – 2019 წლის 21 – 23 ივნისს იქვე, თურქეთის ქალაქ ნევშეჰირში, კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი სამეცნიერო ფორუმი შედგა: მასალათმცოდნეობის, მექანიკისა და ავტომატიკის ინჟინერინგისა და ტექნოლოგიის საერთაშორისო კონფერენცია კაპადოკიაში – მმმაიტსკკ 2019 (International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia, 2019 June 21 – 23 Nevsehir, Turkey – IMSMATEC 2019).



კონფერენციის IMSMATEC 2019 პოსტერი

IMSMATEC'19 PROGRAM	
21 JUN 2019-21 HAZIRAN 2019	
09:30-12:30	REGISTRATION/KAYIT
12:30-13:30	LUNCH/ÖĞLE YEMEĞİ
13:30-14:00	OPENING CEREMONY/İÇERİŞİ TOPLANIŞI INVITED SPEAKER: Prof. Dr. Muhammet NISLİ
14:00-14:30	The Importance of Materials in Future Transportation INVITED SPEAKER: Prof. Dr. İzzet Vahidović
14:30-14:45	The Effect of Stress Relaxation on the Cyclic Fatigue of Steel Axle Washers INVITED SPEAKER: Prof. Dr. Levent ÇİĞDEMİR
14:45-15:00	The Emerging Smart Carbon Based Nanocomposites
15:00-15:15	COFFEE BREAK / ÇAY SAĞIRMAŞI
SESSION 1 / OTURUM 1	
Session Chairman (Özener Balaban, Prof. Dr. Eng. Ferit) PAGE 17 / SAĞIRMAŞI	
15:30-15:35	OPT. EXPLORATION OF MOLECULAR SELF-ASSEMBLIES ON NOBLE METALS: AROMATIC VINYL ALKYLIC THIOETHERS ON SILVER SURFACE Yüksel Çiğdemir
15:35-16:10	INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYPROPYLENE/BIOMASS POLYMER COMPOSITE GÜLETTAN, Merve TAYGEMER, E. ÖZNER KOÇAK
16:10-16:30	INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYPROPYLENE/BIOMASS POLYMER COMPOSITE GÜLETTAN, Merve TAYGEMER, E. ÖZNER KOÇAK
16:30-16:50	THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CARBONIZED AND UNCARBONIZED ORANGE PEEL POWDER ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE Zeynep TEZEL, Merve ÖZTUTAN, Sema ASLANSAR, Merve ÇİĞDEMİR
16:50-17:10	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CARBONIZED AND UNCARBONIZED ORANGE PEEL POWDER ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE Merve ÖZTUTAN, Zeynep TEZEL, Sema ASLANSAR, Merve TAYGEMER
17:10-17:30	DESIGN AND FEA ANALYSIS OF CERAMIC INOC PROPHESIS WITH DIFFERENT GEOMETRIES AND POREOUS STRUCTURES Merve KURBANBAĞCI
17:30-17:50	BRIQUET FORMATION ON MODIFIED POLY-SIBYRIAN BUTYRATE COATED SURFACE Ayhan ERGİL
Session Chairman (Özener Balaban, Prof. Dr. Eng. Ferit) PAGE 17 / SAĞIRMAŞI	
15:30-15:50	HYDROTHERMAL PRESSURE AND TEMPERATURE DEPENDENCY OF SINGLE JUNCTION P-N JUNCTION SOLAR CELL Tolga ÖZNER
15:50-16:10	INVESTIGATION OF THE "NEODIMSIUM" ABETIVE Zr60 MAGNESIUM ALLOY MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND FATIGUE BEHAVIOR Merve ÖZNER, Sema ASLANSAR, İzzet Vahidović, Merve ÇİĞDEMİR
16:10-16:30	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COP ADDITION ON EPOXY RESIN IN 2024 T3 ALUMINUM MATRIX AND 1D CARBON FIBER REINFORCED LAMINATED COMPOSITES Mehmet ÇİĞDEMİR, Zeynep TEZEL, Sema ASLANSAR
16:30-16:50	INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELD-426 MAGNESIUM ALLOY Ayhan ERGİL, Sema ASLANSAR, Merve ÇİĞDEMİR
16:50-17:10	INVESTIGATION OF WELDING DEFECT AND PROCESS PARAMETERS AFFECTING FRACTURE WELDING QUALITY OF PROFILES PRODUCED BY ALUMINUM EXTRUSION METHOD Merve ÇİĞDEMİR, Mehmet Ergül ÇİĞDEMİR
17:10-17:30	OPTIMIZATION OF WELDING PARAMETERS SPOT FULG WELDED WITH CMT TECHNIQUE GALVANIZED SHEET AND CARBON FIBER FOR AUTOMOBILE INDUSTRY Merve KÖNAR, Osman Nuri TÜRKÜN - Sema ASLANSAR, İzzet Vahidović

კონფერენციის IMSMATEC 2019 პროგრამის პირველი გვერდი

პლენარულ, ზეპირ და პოსტერულ სესიებზე სულ 360 მოხსენება გაკეთდა, ძირითადად მასპინძელი ქვეყნის მკვლევარების მიერ. თუმცა, სიმბოზიუმზე, თურქეთის გარდა, აგრეთვე წარმოდგენილი იყვნენ ალჟირი, ბრაზილია, ბულგარეთი, გაერთიანებული სამეფო, ირანი, საუდის არაბეთი, საქართველო და უკრაინა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორმა და ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის ბორისა და ფხვნილოვანი კომპოზიტური მასალების ლაბორატორიის უფროსმა მეცნიერ თანამშრომელმა ლევან ჩხარტიშვილმა კონფერენციაზე წარადგინა მიწვეული მოხსენება:

- ლ. ჩხარტიშვილი. „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტების მიღება“. L. Chkhartishvili. “On Obtaining Boron Carbide Based Nanocomposites”.

INVITED SPEAKERS



Dr. Babachenko Oleksandr I.

Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute

UKRAINE



Prof. Dr. Burhanettin İNEM

Gazi University

TURKEY



Prof. Dr. Emil Mihailov

University of Chemical and Technology

BULGARIA



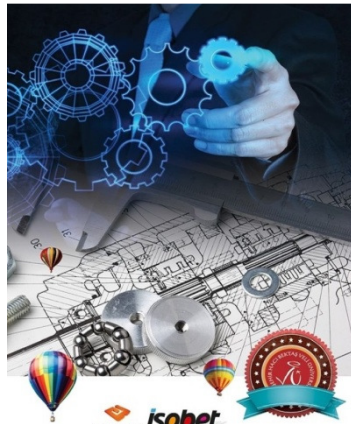
Prof. Dr. Levan Chkhartishvili

Georgian Technical University

GEORGIA

კონფერენციაზე IMSMATEC 2019 მიწვეული მომხსენებლები:
ოლექსანდრ ბაბაჩენკო (უკრაინა), ბურჰანეტინ ინემი (თურქეთი),
ემილ მიხაილოვი (ბულგარეთი) და ლევან ჩხარტიშვილი (საქართველო)

კონფერენციის მოხსენებების სრული ტექსტები, სტატიების სახით, გამოქვეყნდა სიმპოზიუმის მასალებში.



Editors
Prof. Dr. Bülent KURF
Doc. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Doc. Dr. Zehide BAYER ÖZTÜRK
Dr. Nilüfer KUÇUKDEVECİ

კონფერენციის IMSMATEC 2019 მასალების წიგნის ყდა



საჰაერო ბურთები კაპადოკიის ცაში



ლევან ჩხარტიშვილი კაპადოკიაში

* * *

მოწინავე და ნანო მასალების მე-7 საერთაშორისო კონფერენცია და გამოფენა, 2019 წლის 12 – 14 აგვისტო, მონრეალი, კანადა – მნმსკ 2019 (7th International Conference & Exhibition on Advanced & Nano Materials, 2019 August 12 – 14, Montreal, Canada – ICANM 2019) 2019 წლის ერთერთი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი ნანოფორუმი იყო.



მნმსკ 2019-ის პოსტერი



მნმსკ 2019-ის პროგრამის გარეკანი

მნმსკ 2019-ის პროგრამით პლენარულ, ზეპირ და პოსტერულ სესიებზე 70 მოხსენება იყო გათვალისწინებული. ავტორები იყვნენ მსოფლიოს 21 ქვეყნიდან (ალჟირი, ამერიკის შეერთებული შტატები, არაბთა გაერთიანებული საამიროები, ბრაზილია, გერმანია, ეგვიპტე, ეთიოპია, იაპონია, ირანი, ისრაელი, კანადა, მაროკო, მექსიკა, ნიგერია, პოლონეთი, სამხრეთ აფრიკა, სამხრეთ კორეა, საფრანგეთი, საქართველო, ტაივანი და ჩინეთი).

Keynote Speakers, Details



Dr. Maryam Tabrizian
(McGill University)



Dr. Levan Chkhartishvili
(Georgian Technical University)



Dr. Jérôme Claverie
(Université de Sherbrooke)



Dr. Sean Barry
(Carleton University)



Dr. Rabin Bissessur
(University of Prince Edward Island)



Dr. Gobinda Saha
(University of New Brunswick)

მნმსკ 2019-ის მთავარი მომხსენებლები: მარიამ ტაბრიზიანი (მაკ გილის უნივერსიტეტი), ლევან ჩხარტიშვილი (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი), ჟერომ კლავერიე (შერბრუკის უნივერსიტეტი), სინ ბარი (კარლტონის უნივერსიტეტი), რაბინ ბისესიუ (პრინც ედუარდის კუნძულის უნივერსიტეტი) და გობინდა საჰა (ნიუ ბრიუნსვიკის უნივერსიტეტი)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორმა და ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის ბორისა და ფხვნილოვანი კომპოზიტური მასალების ლაბორატორიის უფროსმა მეცნიერ თანამშრომელმა ლევან ჩხარტიშვილმა კონფერენციაზე, როგორც მთავარმა მომხსენებელმა, წარადგინა მოხსენება:

- ლ. ჩხარტიშვილი. „ბორის ფურცელი სამკუთხა სტრუქტურით: ძირითადი მდგომარეობისა და ელექტრონული აღნაგობის პარამეტრების გამოთვლა“.
L. Chkhartishvili. “Boron Triangular Sheet: Calculation of Ground-State and Electronic-Structure Parameters”.

მისი სრული ტექსტი, სტატიის სახით, გამოქვეყნდა კონფერენციის მასალებში.

მნმსკ 2019-ის მუშაობა შემდეგ სექციებში მიმდინარეობდა:

- სათბობის ელემენტები, ჰიბრიდული ენერჯია და მასალები

Problems of nanoscience and nanotechnology at 2019 forums.

- ფუნქციური დანიშნულების მასალები
- მზის ელემენტებისა და ფოტოელექტრონული მასალები
- მოწინავე მასალები და ენერგეტიკა: გამოყენება და დახასიათება
- ენერგეტიკის სისტემები და სითბოს აღდგენა
- ომნიფობიური ნანოსტრუქტურირებული ზედაპირები
- ენერგეტიკა: გარემო და წიაღისეული საწვავი
- მიღწევები და ბოლოდროინდელი დამუშავებები
- ენერჯის ხარჯვის ოპტიმიზება და მასალები

* * *

ორგანიზაციებიანი კრისტალებისა და ფოტონიკის საერთაშორისო სკოლა და ვორქშოპი 2Dკვ გაიმართა 2019 წლის 9 – 13 სექტემბერს თბილისში, საქართველო (International School and Workshop on Two-Dimensional Crystals and Photonics, 2019 September 9 – 13, Tbilisi, Georgia – 2DCP).



საერთაშორისო სკოლა და ვორქშოპი 2DCP თბილისში, ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პირველ კორპუსში, ჩატარდა

ამ მნიშვნელოვანი საერთაშორისო სამეცნიერო ღონისძიების ორგანიზატორი იყო ხმელთაშუა ზღვის ფუნდამენტური ფიზიკის ინსტიტუტი.

INTERNATIONAL SCHOOL AND WORKSHOP ON 2D CRYSTALS AND PHOTONICS September 9-13, 2019, Tbilisi State University, Tbilisi, GEORGIA						
OPENING Monday @ 8:45	MONDAY (Sep 9)	TUESDAY (Sep 10)	WEDNESDAY(Sep11)	THURSDAY (Sep 12)	FRIDAY (Sep 13)	
9:00 – 10:15	L1: Tománek	L5: Finley	FULL-DAY BUS EXCURSION TO KAKHETI (Lunch provided)	L9: García de Abajo	L13: Ziegler	
10:15 – 10:35	Coffee Break			Coffee Break		
10:35 – 11:50	L2: Höfling	L6: Högele		L10: Caldwell	L14: Shengelaya	
11:50 – 12:00	Break			Break		
12:00 – 12:45	S1: Benimetskiy	S3: Tsiklauri		S5: Casalis de Pury	S7: Moskalenko	
12:45 – 13:45	Lunch			Lunch		
13:45 – 15:00	L3: Lozovik	L7: Rontani		L11: Stockman	L15: Kavokin	
15:00 – 15:10	Break			Break		
15:10 – 16:25	L4: Snoke	L8: Hawrylak		L12: Khurgin	S8: Kereselidze	
16:25 – 16:45	Coffee Break			Coffee Break		
16:45 – 17:30	S2: Berman	S4: Jaskólski		S6: Bondarev	15:55 – 16:15 16:15 – 17:00	
17:30 – 17:40	Break			Break		
17:40 – 18:30	STUDENTS+EXPERTS Round-Table Session	STUDENTS+EXPERTS Round-Table Session		STUDENTS+EXPERTS Round-Table Session	Round-Table/Poster Student Competition Awards	
18:30 – ...	WELCOME RECEPTION	POSTER SESSION (snacks & soft drinks)		GALA-DINNER		CLOSING REMARKS

საერთაშორისო სკოლისა და ვორქშოპის
2DCP პროგრამის პირველი გვერდი

ლექციები ჩაატარეს და სემინარებს უძღვებოდნენ საერთაშორისოდ აღიარებული მკვლევრები. სკოლის ძირითადი თემატიკა იყო:

- 2D-პლაზმონიკა და მეტაზედაპირები
 - დაბალგანზომილებიან ნახევარგამტარებში ექსიტონების ფიზიკა
 - პოლარიტონიკა და არაწრფივი ოპტიკა ქვანტურ მასალებში
- გაიმართა რამდენიმე „სტუდენტები პლუს ექსპერტები“ შეხვედრა მრგვალი მაგიდის გარშემო.

ვორქშოფზე სტუდენტებმა საკუთარი პოსტერული მოხსენებებიც წარმოადგინეს. ექსპერტების მიერ საუკეთესოდ მიჩნეული პოსტერების ავტორებს სპეციალური პრიზები გადაეცათ.

საერთო ჯამში ორგანზომილებიანი კრისტალებისა და ფოტონიკის საერთაშორისო სკოლისა და ვორქშოფის 2DCP მუშაობაში 12 ქვეყნის (ამერიკის შეერთებული შტატები, გაერთიანებული სამეფო, გერმანია, ესპანეთი, იტალია, კანადა, მოლდოვა, პოლონეთი, რუსეთი, საქართველო, სინგაპური და ჩინეთი) სპეციალისტებმა მიიღეს მონაწილეობა.

ორგანიზატორებმა ვორქშოფზე დამსწრეებს საინტერესო სოციალური პროგრამა შესთავაზეს. თბილისში მათთვის გალა-სადილი გაიმართა. ექსკურსიაზე კი კახეთში გაემგზავრნენ, სადაც ბევრი ადგილობრივი ღირსშესანიშნაობა და ქართული კულტურული და ისტორიული ძეგლი დაათვალიერეს.



**კახეთში – ქართული მეღვინეობის ძირითად რეგიონში –
ვორქშოფის 2DCP მონაწილეებს სტუმრობა რთველს დაემთხვა**

თბილისში გამართული ორგანზომილებიანი კრისტალებისა და ფოტონიკის საერთაშორისო სკოლისა და ვორქშოფის მუშაობაში მონაწილეებმა ცნობილი ამერიკელი მეცნიერი, მიჩიგანის უნივერსიტეტის ფიზიკისა და ასტრონომიის დეპარტამენტის პროფესორი, დევიდ ტომანევი. ის კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის თეორიაში მუშაობს. კერძოდ, მის მთავარ მეცნიერულ ინტერესს წარმოადგენს მოწინავე რიცხვითი მეთოდებით ნანოსტრუქტურული მასალების ფორმირების მექანიზმისა და ძირითადი ფიზიკური თვისებების შესწავლა.

პროფ. დევიდ ტომანევი კომპიუტერული ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის პიონერად ითვლება. 1980-იანი წლებიდან მოყოლებული მისი

კვლევები ფოკუსირებულია ისეთი რიცხვითი მეთოდების შემუშავებასა და გამოყენებაზე, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შევისწავლოთ ზედაპირების, დაბალგანზომილებიანი სისტემებისა და ნანოსტრუქტურების სტრუქტურული, ელექტრონული, გადატანის და ოპტიკური თვისებები. მისი კვლევითი ჯგუფის მიერ განხორციელებული მოდელირებები ფულერენების, ნანომილაკების, პოლიმერების, კვაზი-2D ფენოვანი სისტემების, ფეროსითხების, ლითონური და მაგნიტური კლასტერების თვითაწყობისა და ფიზიკურ თვისებებს მიემართება.



პროფ. ივანე მურუსიძე და პროფ. დევიდ ტომანევი მცხეთაში



პროფ. დევიდ ტომანევი გამოდის წმინდა ჯვრის მონასტრიდან

პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი და დოქტ. იგორ პოპოვი მეგობრულ სადილზე ძველი თბილისის რესტორანში



თბილისში ვიზიტის დროს პროფ. დევიდ ტომანეკს შეხვდნენ ილიას უნივერსიტეტის გამოყენებითი ფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორი პროფ. ივანე მურუსიძე და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი. მათ განიხილეს ბორის ნანოფურცლების ერთობლივად გამოკვლევის შესაძლებლობები. საქმიანი შეხვედრის შემდეგ მასპინძლებმა სტუმარს მცხეთის ღირსეშანიშნეობები დაათვალიერებინეს.

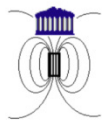
იმავე წლის მიწურულს პროფ. დევიდ ტომანევი კვლავ ეწვია საქართველოს, ამჯერად, ახალგაზრდა კოლეგასთან დოქტ. იგორ პოპოვთან (ბელგრადის ფიზიკის ინსტიტუტი, სერბეთი) ერთად. გაგრძელდა ორმხრივ საინტერესო საკითხის განხილვა.

ლევან ჩხარტიშვილი

2020 წლის 15 იანვარი

იაპონია–ხმელთაშუა ზღვის მე-11 ვორქშოპი

იაპონია–ხმელთაშუა ზღვის მაგნიტური, ზეგამტარი, მრავალფუნქციური და ნანომასალების გამოყენებითი ელექტრომაგნიტური ინჟინერიის მე-11 ვორქშოპი – ჯაპმედ'11 (11th Japanese–Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting, Multifunctional and Nanomaterials – JAPMED'11) გაიმართა ქალაქ ბათუმში, საქართველოში, 2019 წლის 16 – 19 ივლისს.



JAPMED'11

Batumi Shota Rustaveli State University
July, 16-19, 2019, Batumi, Georgia

11th Japanese-Mediterranean
Workshop on Applied
Electromagnetic Engineering
for Magnetic, Superconducting,
Multifunctional and Nanomaterials



JAPMED'11, 2019 წლის 16 – 19 ივლისი, ბათუმი, საქართველო

ჯაპმედ-ვორქშოპების სერიას უძღვება აღმასრულებელი კომიტეტი საპატიო თავმჯდომარის ა. გ. მამალისის (საბერძნეთი), თავმჯდომარის მ. ენოკიზონოს (იაპონია) და 11 თანათავმჯდომარის შემადგენლობით. აგრეთვე ფუნქციონირებს მრჩეველთა საერთაშორისო კომიტეტი 70 წევრით მსოფლიოს მრავალი ქვეყნიდან. კონკრეტულად ჯაპმედ'11-ის პროგრამის შედგენაზე და ორგანიზებაზე მუშაობდნენ ტექნიკური პროგრამისა და ადგილობრივი საორგანიზაციო კომიტეტები, შესაბამისად, ტ. სავადასა (იაპონია) და ნ. ლომიძის (საქართველო) თავმჯდომარეობით. აღმასრულებელი და ტექნიკური პროგრამის კომიტეტების წევრები არიან საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორები პაატა კერვალიშვილი და რაულ თურმანიძე.

იაპონიისა და ევროპის რიგ უნივერსიტეტებთან ერთად, კონფერენციის ორგანიზატორები საქართველოდან იყვნენ ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი.



ვორქშოპი გახსნეს პროფ. ნუგზარ ლომიძემ და პროფ. პაატა კერვალიშვილმა

გაიმართა პლენარული, ზეპირი და პოსტერული სესიები, რომლებზეც საერთო ჯამში წარმოდგენილი იყო 70 მოხსენება ავტორების მიერ მსოფლიოს 18 ქვეყნიდან (ავსტრია, აშშ, გაერთიანებული სამეფო, გერმანია, თურქეთი, იაპონია, ირანი, კანადა,

11th Japanese–Mediterranean Workshop.

რუსეთი, საბერძნეთი, საფრანგეთი, საქართველო, სერბია, სომხეთი, ტაივანი, უკრაინა, უნგრეთი და ჩინეთი). მუშაობა მიმდინარეობდა შემდეგ სექციებში:

- სწრაფი დეფორმირების მოვლენები / ზემოქმედება დარტყმითი დატვირთვით
- ელექტრომაგნიტური ინჟინერია
- გამოყენებები ენერგეტიკასა და ტრანსპორტში
- მრავალფუნქციური, კომპოზიტური და მაგნიტური ნანომასალები
- მოწინავე საწარმოო ტექნოლოგიები
- მასალათა სინთეზი, გაზომვა და დახასიათება
- მდგრადობა: პრინციპები და გამოყენებები
- ბიოსამედიცინო ინჟინერია / ბიოტექნოლოგია



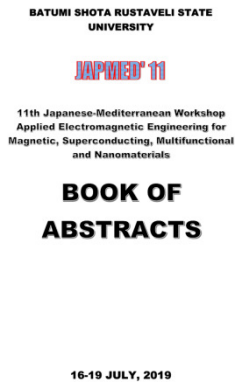
ვორქშოფის მონაწილეთა ერთობლივი ფოტო

გამოიცა ვორქშოფზე წარმოდგენილი მოხსენებების აბსტრაქტების კრებული. შერჩეული მოხსენებები სათანადო ფეერ-რევიურების პროცედურის გავლის შემდეგ გამოქვეყნდა კონფერენციის პარტნიორ ჟურნალებში:

- Nanotechnology Perceptions: A Review of Advanced Technologies and Their Impacts
- Journal of Biological Physics and Chemistry



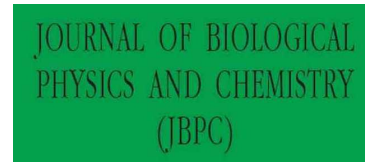
ვორქშოფის მონაწილეთა ერთი ჯგუფი



JAPMED'11-ის აბსტრაქტების კრებულის სატიტულო გვერდი



Nanotechnology Perceptions: A Review of Advanced Technologies and Their Impacts



Journal of Biological Physics and Chemistry

ვორქშოფში მონაწილეობა მიიღო საქართველოს სამთო მექანიკის ინსტიტუტის დელეგაციამ დირექტორის პროფ. ნიკოლოზ ჩიხრაძის ხელმძღვანელობით და სოხუმის ფიზიკა-ტექნიკური ინსტიტუტის დელეგაციამ დირექტორის დოქტ. გურამ ბოკუჩავას ხელმძღვანელობით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი კონფერენციაზე წარსდგა მოხსენებებით მთელი რიგი აქტუალური მიმართულებით.



მოხსენებას წარმოადგენს დოქტ. მიხეილ ჩიხრაძე (საქართველო)

წინამდებარე საკონფერენციო ქრონიკის ავტორმა დოქტ. ნათია ბარბაქაძემ (ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტი) იაპონია-ხმელთაშუა ზღვის მე-11 ვორქშოფზე წარმოადგინა მოხსენება:

- N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, V. Ugrehelidze. Obtaining of ultrafine powder composites of tungsten, molybdenum, titanium and boron carbides using liquid precursors.

შემდგომში ამ მოხსენების გაფართოებული და გადამუშავებული ვერსია სტატიის სახით გამოქვეყნდა:

- N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, V. Ugrehelidze. Obtaining of ultrafine powders of some boron carbide based nanocomposites using liquid precursors. Nanotechnology Perceptions, 2019, 15, 3, 1-14.

ჯაპმედ'11-ის დახურვის დღეს ვორქშოფის ერთერთმა ორგანიზატორმა – ევრო–ხმელთაშუა ზღვის ხელოვნებისა და მეცნიერების აკადემიამ (რომლის პრეზიდენტიც არის პ. კერვალიშვილი) გამართა სპეციალური სესია, რა დროსაც აკადემიის წევრობის დიპლომები გადაეცათ ირანელ და იაპონელ კოლეგებს.



ევრო–ხმელთაშუა ზღვის ხელოვნებისა და მეცნიერების აკადემიის წევრობის დიპლომი გადაეცემა პროფ. ჯავად ფაიზს (ირანი)

ორგანიზატორებმა საინტერესო სოციალური პროგრამა შესთავაზეს ღონისძიების სტუმრებს. გაიმართა მონაწილეთა მიღება და გართობა ზღვის სანაპიროზე, ვორქშოფის სადილი, ექსკურსია მარშრუტით ბათუმი – ქედა – მახინჯაური (ღვინის დაგემოვნებით / ლანჩით).

მონაწილეთა საერთო აზრით, იაპონია–ხმელთაშუა ზღვის მაგნიტური, ზეგამტარი, მრავალფუნქციური და ნანომასალების გამოყენებითი ელექტრომაგნიტური ინჟინერიის მე-11 ვორქშოფი – ჯაპმედ'11 ჩატარდა მაღალ მეცნიერულ დონეზე და აქ წარმოდგენილი შედეგები მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯია ახალი ფუნქციონალური დანიშნულების ნანომასალების შემუშავებისა და გამოკვლევის მიმართულებით.

ნათია ბარბაქაძე

2020 წლის 31 ივლისი

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-20 საერთაშორისო სიმპოზიუმი (ბზს 2019)

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-20 საერთაშორისო სიმპოზიუმი, 2019 წლის 22 – 27 სექტემბერი, ნიიგატა, იაპონია – ბზს 2019 (20th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials, 2019 September 22 – 27, Niigata, Japan – ISBB 2019) საიუბილეო იყო არამარტო რიგითი ნომრით, არამედ ჩატარების თარიღითაც: 2019 წელს შესრულდა 60 წელი პირველი სიმპოზიუმიდან, რომელიც 1959 ქალაქ ასბური პარკში (აშშ) გაიმართა. ბზს-ების ისტორია ძალზე მოკლედ ქვემოთ მოტანილ ცხრილშია შეჯამებული.

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების საერთაშორისო სიმპოზიუმების 60 წელი: ასბური პარკიდან (1959) ნიიგატამდე (2019)

20	2019	Niigata, Japan	ნიიგატა, იაპონია
19	2017	Freiburg, Germany	ფრაიბურგი, გერმანია
18	2014	Honolulu, USA	ჰონოლულუ, აშშ
17	2011	Istanbul, Turkey	სტამბოლი, თურქეთი
16	2008	Matsue, Japan	მატსუე, იაპონია
15	2005	Hamburg, Germany	ჰამბურგი, გერმანია
14	2002	Saint Petersburg, Russia	სანქტ-პეტერბურგი, რუსეთი
13	1999	Dinard, France	დინარი, საფრანგეთი
12	1996	Baden, Austria	ბადენი, ავსტრია
11	1993	Tsukuba, Japan	ცუკუბა, იაპონია
10	1990	Albuquerque, USA	ალბუქერკი, აშშ
9	1987	Duisburg, Germany	დუისბურგი, გერმანია
8	1984	Tbilisi, Georgia	თბილისი, საქართველო
7	1981	Uppsala, Sweden	უფსალა, შვედეთი
6	1978	Varna, Bulgaria	ვარნა, ბულგარეთი
5	1975	Bordeaux, France	ბორდო, საფრანგეთი
4	1972	Tbilisi, Georgia	თბილისი, საქართველო
3	1968	Warsaw, Poland	ვარშავა, პოლონეთი
2	1964	Paris, France	პარიზი, საფრანგეთი
1	1959	Asbury Park, USA	ასბური პარკი, აშშ

წარსულში საქართველომ ორჯერ უმასპინძლა ბზს-ებს. მე-4 (1972 წელს) და მე-8 (1984 წელს) სიმპოზიუმები გაიმართა თბილისში, რომელიც იმ პერიოდში დარგის მნიშვნელოვანი ცენტრი იყო: ყოფილ საბჭოთა კავშირში ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი ბორისა და ბორშემცველი მასალების კვლევის კოორდინატორის როლს ასრულებდა. ეს ინსტიტუტი გეგმავს, რომ ხანგრძლივი შესვენების შემდეგ თბილისი კვლავ დაასახელოს მომავალი ბზს-ის მასპინძლის კანდიდატად. იგულისხმება 22-ე სიმპოზიუმი. რაც შეეხება მორიგ 21-ე სიმპოზიუმს, ის 2021 წლის სექტემბერში უნდა გამართულიყო პარიზში, მაგრამ კოვიდ-პანდემიის გამო 2022 წლისათვის გადაიდო.



ბზს 2019-ის ლოგო

სიმპოზიუმი გახსნა პროფ. კაორუ კიმურამ (იაპონია)



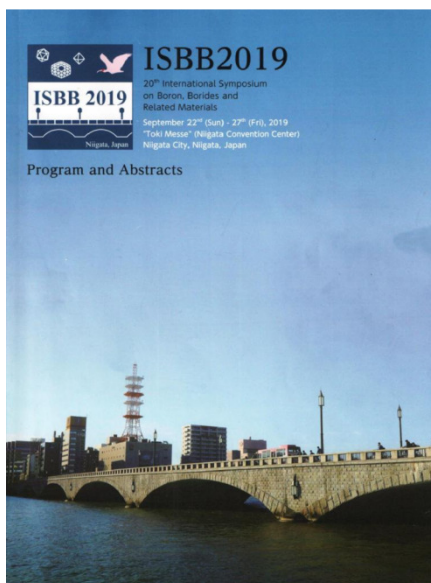
20th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB 2019).

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-20 საერთაშორისო სიმპოზიუმის თავმჯდომარე გახლდათ ტოკიოს უნივერსიტეტის პროფესორი კაორუ კიმურა, ხოლო მდივანი – ნაგაოკას ტექნოლოგიის უნივერსიტეტის პროფესორი მასატომი ტაკედა. მთლიანობაში წარმოდგენილი იყო 100-ზე მეტი მიწვეული, ზეპირი და პოსტერული მოხსენება დარგის წამყვანი სპეციალისტების მიერ მსოფლიოს 16 ქვეყნიდან (ავსტრალია, ავსტრია, აშშ, ბრაზილია, გერმანია, ესპანეთი, თურქეთი, იაპონია, პოლონეთი, რუსეთი, საფრანგეთი, საქართველო, სლოვაკეთი, უკრაინა, ჩეხეთის რესპუბლიკა და ჩინეთი).

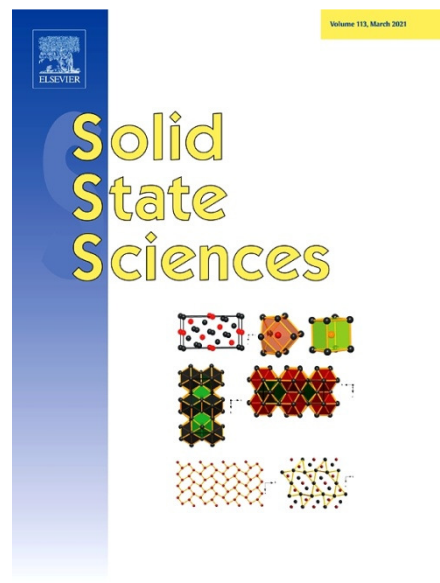


სიმპოზიუმის მონაწილეთა ერთობლივი ფოტო

ბზს 2019-ზე შეჯამდა უახლესი მიღწევები მასალათა ამ მნიშვნელოვანი კლასის მიღების მეთოდების, დამუშავებისა და თვისებების კვლევებში. კერძოდ, სულ ცოტა ხნის წინათ ბოროფენის აღმოჩენის გათვალისწინებით ჩატარდა ფოკუსირებული სესია „ბორის ორგანოზომილებიანი ნანოსტრუქტურები: ბოროფენი, ბორის ჰიდრიდის ფურცელი, ნანომილაკი, ნანომავთული“.



ბზს 2019-ზე წარმოდგენილი მოხსენებების აბსტრაქტების კრებულის გარეკანი



ჟურნალის Solid State Sciences გარეკანი

გამოიცა სიმპოზიუმზე წარმოდგენილი მოხსენებების აბსტრაქტების კრებული. მათი რჩეული ნაწილი კი სათანადო ფერ-რევიურების შემდეგ სტატიების სახით გამოქვეყნდა ჟურნალის Solid State Sciences სპეციალურ ნომერში.



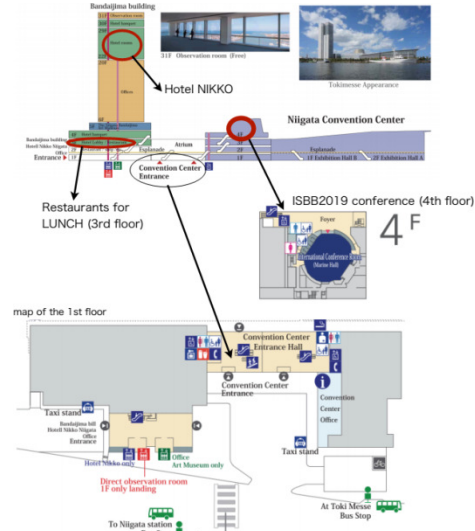
ცენტრის „ტოკი მესეს“ ინტეგრირებულ საკონფერენციო სივრცეები



საერთაშორისო კონფერენციათა დარბაზი



ატრიუმი და ესპლანდე



„ტოკი მესეს“ კომპლექსის სკემა



მონუმენტური ხელოვნების მუზეუმში

სიმპოზიუმი გაიმართა „ტოკი მესესში“ (გაიხსნა 2003 წელს), რომელიც მდებარეობს ნიიგატა-სიტის შუაგულში, მდინარე შინანოს შესართავთან, და წარმოადგენს ნიიგატას საკონფერენციო ცენტრისა და ზანდაიჯიმა ბილდინგის კომპლექსს: ნიიგატას საფირმო ნიშნად მიჩნეული სასტუმრო „ნიკკო“, 21-ე საუკუნის მონუმენტური ხელოვნების მუზეუმი, რესტორანები და მაღაზიები.



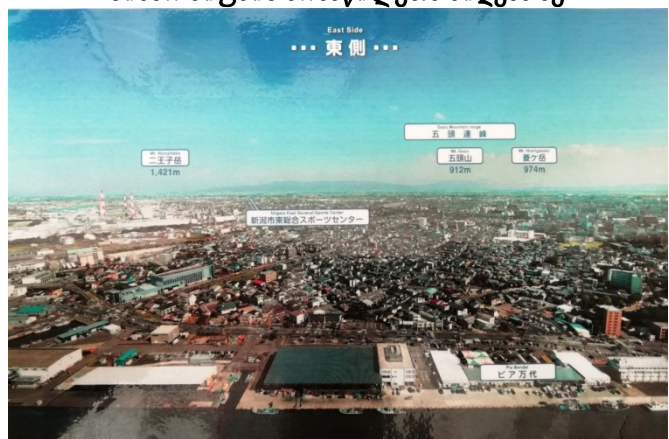
ზანდაიჯიმა ბილდინგი



სიმპოზიუმის მონაწილეთა მიღებაზე



პორტის ხედი სასტუმრო „ნიკკოს“ 31-ე სართულიდან

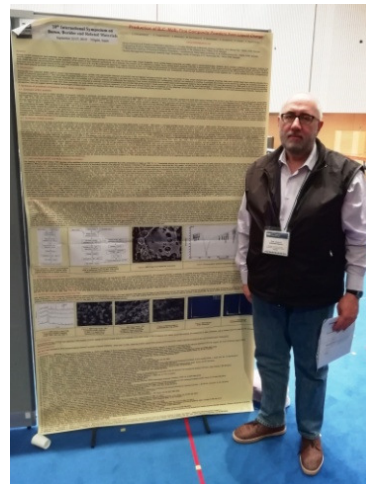


ნიიგატას აღმოსავლეთ ნაწილის ხედი სასტუმრო „ნიკკოდან“

„ტოკი მესსეში“ ინტეგრირებულია 10000 ადამიანზე გათვლილი საგამოფენო სივრცე და 13 დიდი და საშუალო ზომის საკონფერენციო დარბაზი. ასე რომ, თავად კონფერენცია და მის მონაწილეთა განთავსება ერთიან სივრცეშია თავმოყრილი. „ტოკი მესსეს“ მთავარი შესასვლელია ატრიუმი ფანჯრებით მაღალი ჭერიდან იატაკამდე. ის წარმოადგენს მოსახერხებელ ადგილს ღონისძიებების გახსნის, მონაწილეთა რეგისტრაციის, შეხვედრებისა და დასვენებისათვის. რაც შეეხება 340 მ-იან ესპლანდეს, ის ნებისმიერ ამინდში აკავშირებს „ტოკი მესეს“ სხვადასხვა ობიექტებს ერთმანეთთან. აქედან იშლება პორტის, მდინარისა და სეზონური ყვავილნარის მშვენიერი ხედები. სწორედ „ტოკი მესსეში“ გაიმართა სიმპოზიუმის მონაწილეთა მიღება.



ერთერთი პრეზენტაციის სლაიდი



პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი (საქართველო) პოსტერთან

საქართველოდან ბზსს 2019-ის მუშაობაში მონაწილეობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი და ფ. თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი ლევან ჩხარტიშვილი. მან მოხსენებები გააკეთა როგორც ზოგად, ისე – ფოკუსირებულ სესიებზე, შესაბამისად:

- ლ. ჩხარტიშვილი, ო. ცაგარეიშვილი, ა. მიქელაძე, მ. დარჩიაშვილი, ნ. ბარბაკაძე, ქ. სარაჯიშვილი, რ. ჭედია, ვ. უგრეხელიძე. „ B_4C - MeB_2 -ის კომპოზიტური ნანოფხვნილების მიღება თხევადი კაზმიდან“.
L. Chkhartishvili, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, M. Darchiashvili, N. Barbakadze, K. Sarajishvili, R. Chedia, V. Ugrekheldze. “Production of B_4C - MeB_2 composite nanopowders from liquid charge”.
- ლ. ჩხარტიშვილი, ი. მურუსიძე. „ბორის ფურცლის ელექტრონული ენერჯის ზედაპირების ტოპოლოგიის თავისებურებანი“.
L. Chkhartishvili, I. Murusidze. “Features of boron sheet electron energy surfaces topology”.

ბზსს 2019-ზე წარმოდგენილი მოხსენების საფუძველზე მომზადებული სტატია გამოქვეყნდა ჟურნალის Solid State Sciences სპეციალურ ნომერში, რომელიც სიმპოზიუმის მასალებს დაეთმო:

- L. Chkhartishvili, A. Mikeladze, R. Chedia, O. Tsagareishvili, N. Barbakadze, K. Sarajishvili, M. Darchiashvili, V. Ugrekheldze, T. Korkia. Synthesizing fine-grained powders of complex compositions B_4C - TiB_2 - WC - Co . Solid State Sciences, 2020, 108, 106439, 8 pages.

ამ სტრიქონების ავტორი ნიიგატაში ჩასვლას თვითმფრინავით აპირებდა. მაგრამ ამოვარდნილმა ქარიშხალმა ცვლილებები შეიტანა მის გეგმებში: ავიარეისი ტოკიო–ნიიგატა გაუქმდა და მატარებლით მოუხდა გამგზავრება. თავდაპირველად ტოკიოს „ნარიტას“ აეროპორტიდან უნდა მოვხვედრილიყავი ტოკიოს იმ რკინიგზის სადგურზე, საიდანაც გადიოდა ნიიგატასაკენ მიმავალი მატარებელი. დროის მოგების მიზნით გადავწყვიტე ტაქსი დამექირავებინა. მაგრამ ამიხსნეს, რომ ტაქსი ტოკიოს ქუჩებში ამ მანძილის დაფარვას ოთხი საათი მაინც მოუნდებოდა, მაშინ როდესაც ზესწრაფი მატარებლით ნახევარ საათში მივალწევდი დანიშნულების ადგილს.

მაგნიტურ ბალიშზე სრულიად უხმაუროდ და ზემადლი სიჩქარით მოძრავი მატარებლით მგზავრობა ავიარეისის გაუქმებით გამოწვეული დისკომფორტის კარგი მორალური კომპენსაცია გამოდგა. რაც შეეხება ფინანსურ კომპენსაციას, ავიაკომპანიამ ქვემოთ დამიბრუნა სხვაობა ავიაბილეთისა და მატარებლის ბილეთების ფასებს შორის.

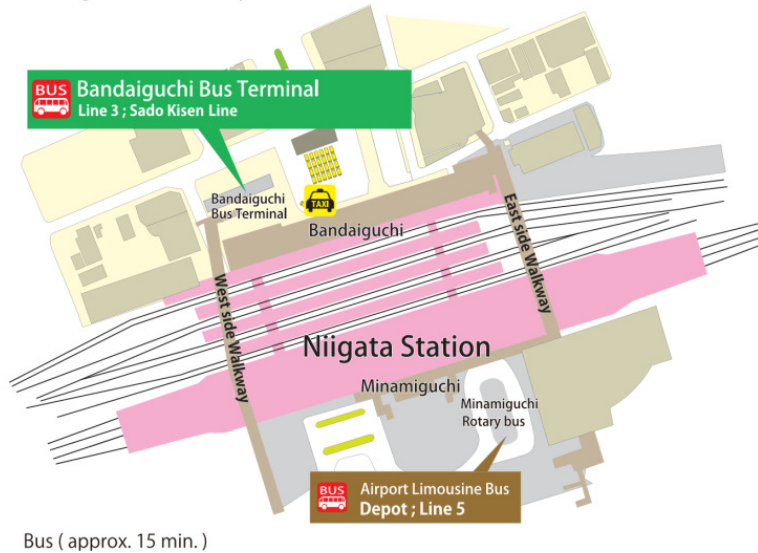
ნიიგატას რკინიგზის სადგურიდან „ტოკი მესსემდე“ ფეხით 20 წუთის სავალია.

from Niigata Station on foot



გზა ნიიგატას რკინიგზის სადგურიდან „ტოკი მესსეს“ შენობათა კომპლექსამდე

from Niigata Station by Bus



ნიიგატას რკინიგზის სადგურიდან „ტოკი მესსესაკენ“ მიმავალი ავტობუსის გაჩერება ბანდაიჩის გამოსასვლელთანაა

ბზსს 2019-ის დღეებში, კერძოდ, 23 სექტემბერს გაიმართა სიმპოზიუმების ამ სერიის საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის მორიგი სხდომა, რომელსაც დაესწრო პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი, როგორც აღნიშნული კომიტეტის მუდმივი წევრი.

კომიტეტმა განახორციელა რიგი ცვლილებები საკუთარ შემადგენლობაში. კერძოდ, მუდმივი წევრის ადგილი ფ. შაჰინის (თურქეთი) ნაცვლად დაიკავა მ. ზომეშმა (თურქეთი), ხოლო მუდმივი წევრები ნ. შიცივალოვა (უკრაინა) და ო. ცაგარეიშვილი (საქართველო) გადაყვანილ იქნენ საპატიო წევრებად. ქვემოთ მოტანილია ბზსს-ების საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის განახლებული შემადგენლობა, რომელშიც ამჟამად 25 მუდმივი და 6 საპატიო წევრია.

საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის გადწყვეტილებით, ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების 21-ე საერთაშორისო სიმპოზიუმი პარიზში, საფრანგეთი, სორბონის უნივერსიტეტის ორგანიზებით გაიმართება.

სხდომის შემდეგ ბზსს-ების საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის წევრებმა არაფორმალურ ვითარებაში – ნიიგატას სუშის რესტორანში განაგრძეს შეხვედრა.

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების საერთაშორისო
სიმპოზიუმების (ბბსს) საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტი

მუდმივი წევრები		საპატიო წევრები	
B. Albert (Germany)	ბ. ალბერტი (გერმანია)	M. Antadze (Georgia)	მ. ანთაძე (საქართველო)
L. Chkhartishvili (Georgia)	ლ. ჩხარტიშვილი (საქართველო)	V. Gurin (Russia)	ვ. გურინი (რუსეთი)
A. Erdemir (USA)	ა. ერდემირი (აშშ)	W. Jung (Germany)	ვ. იუნგი (გერმანია)
V. Filipov (Ukraine)	ვ. ფილიპოვი (უკრაინა)	T. Tanaka (Japan)	ტ. ტანაკა (იაპონია)
K. Flachbart (Slovakia)	კ. ფლახბარტი (სლოვაკეთი)	N. Shitsevalova (Ukraine)	ნ. შიცევალოვა (უკრაინა)
B. Fokwa (USA)	ბ. ფოკვა (აშშ)	O. Tsagareishvili (Georgia)	ო. ცაგარეიშვილი (საქართველო)
V. Glushkov (Russia)	ვ. გლუშკოვი (რუსეთი)		
J. Grin (Germany)	ი. გრინი (გერმანია)		
J.-F. Halet (France)	ჟ.-ფ. ალე (საფრანგეთი)		
H. Hillebrecht (Germany)	ჰ. ჰილბრეხტი (გერმანია)		
K. Kimura (Japan)	კ. კიმურა (იაპონია)		
J. Kunstmann (Germany)	ი. კუნცმანი (გერმანია)		
M. Manghnani (USA)	მ. მენგჰნანი (აშშ)		
T. Mori (Japan)	ტ. მორი (იაპონია)		
D. Porthault (France)	დ. პორტო (საფრანგეთი)		
P. Rogl (Austria)	პ. როგლი (ავსტრია)		
K. Shirai (Japan)	კ. შირაი (იაპონია)		
N. Sluchanko (Russia)	ნ. სლუჩანკო (რუსეთი)		
K. Soga (Japan)	კ. სოგა (იაპონია)		
M. Somer (Turkey)	მ. ზომეში (თურქეთი)		
M. Takeda (Japan)	მ. ტაკედა (იაპონია)		
N. Vast (France)	ნ. ვასტი (საფრანგეთი)		
H. Werheit (Germany)	ჰ. ვერჰაიტი (გერმანია)		
M. Widom (USA)	მ. ვიდომი (აშშ)		
O. Yucel (Turkey)	ო. იუჯელი (თურქეთი)		

სიმპოზიუმის მონაწილეებს შეეძლოთ ყოვლადლიურად გაეკეთებინათ არჩევანი, თუ სად მიირთმევდნენ ლანჩს – რესტორანში „ტოკ ლი“ ჩინური სამზარეულოთი, თუ რესტორანში „სერენა“ სტანდარტული ევროპული მენიუთი.

არც ისე ადვილი იყო ამ რესტორნების მიგნება „ტოკი მესსეს“ გრანდიოზული შენობის შიგნით. ამიტომ ორგანიზატორებმა მონაწილეებისათვის სპეციალური გზამკვლევიც კი შექმნეს.



რესტორან „ტოკ ლის“ ტიპური მენიუ



რესტორან „სერენას“ ტიპური მენიუ

სიმპოზიუმის მონაწილეების „ლანჩის მარშრუტი“

ზორის, ზორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-20 საერთაშორისო სიმპოზიუმის მასპინძელი – ნიიგატა საკმაოდ ლამაზი ქალაქია, სადაც ბევრი რამ არის დაკავშირებული წყალთან.



რა არის ნიიგატა? – ნიიგატა სიყვარულია



ნავმისადგომი



მდინარე რიუტოს სანაპირო საღამოს



მდინარისპირა პარკი

25 სექტემბრის დღის მეორე ნახევარი მთლიანად სიმპოზიუმის სოციალურ პროგრამას დაეთმო. მონაწილეებმა მოინახულეს იაჰიკოს მთის ძირას მდებარე წარმართული, კერძოდ, შინტოისტური ტაძარი ანუ შრინი, ეწვივნენ ტაკარაიამას საკეს ჩამომსხმელ საწარმოს, დაათვალიერეს ჩრდილოური კულტურის მუზეუმი და დაესწრნენ გეიშების წარმოდგენას. იქვე გაიმართა მეგობრული ბანკეტი.



კარიბჭე იეროგლიფის ფორმით



იაჰიკოს შრინის შესასვლელი



გამოსასვლელი იაჰიკოს შრინიდან



ყვავილნარი ტაძრის ეზოში

იაპიკოს შრინი ხისგანაა აგებული და დამშვენებულია კვეთილი დეკორაციებით. ითვლება, რომ მას 2000 წელზე მეტი ხნის ისტორია აქვს, და ეროვნული კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლს წარმოადგენს. შრინი მცირე ზომებისაა (5.4 მ × 5.4 მ) და თავდაპირველად ისლით იყოფილა გადახურული.

იაპონიაში ორი რელიგია დომინირებს: ადგილობრივი წარმოშობის შინტოიზმი და ჩინეთიდან შემოსული ბუდიზმი. მეტად თავისებურია საზოგადოების დამოკიდებულება მათთან. სადღესასწაულო ცერემონიის შესასრულებლად, მაგალითად, ქორწინების ან ახალი სახლის კურთხევისას, ჩვეულებრივ, შინტოს კულტის მსახურს იწვევენ, მაგრამ მწუხარების ჟამს, მაგალითად, ახლობელი ადამიანის გარდაცვალებისას – ბუდისტ სასულიერო პირს. ამასთან დაკავშირებით იაპონელები თვითირონიით უენიშნავენ, რომ „იაპონელი ცხოვრობს, როგორც შინტოისტი, მაგრამ კვდება, როგორც ბუდისტ“.



მარჯვნივ: ჩვენი გიდი ექსკურსიაზე



სუმოისტ ტოჩინო შინის თაყვანისმცემელი ქალბატონები

ერთი საინტერესო ამბავი შემემთხვა იაპიკოს შრინის დათვალიერებისას. როდესაც ადგილობრივმა ტურისტმა ქალბატონებმა შეიტყვეს ჩემი ქართველობა, მითხრეს, რომ ტოჩინო შინის (ქართველი სუმოისტის ლევან გორგაძის) თაყვანისმცემლები არიან და მსგავსებაც კი დაინახეს ჩვენ გარეგნობებში.



ტაკარაიამას საკეს ჩამომსხმელი საწარმოს შესასვლელი



სტუმრებმა საკეს ცხრა ბრენდი დააგემოვნეს



ცენტრში: საწარმოს მფლობელი ქალბატონი



ბრინჯიდან საკეს გამოხდის პროცესი

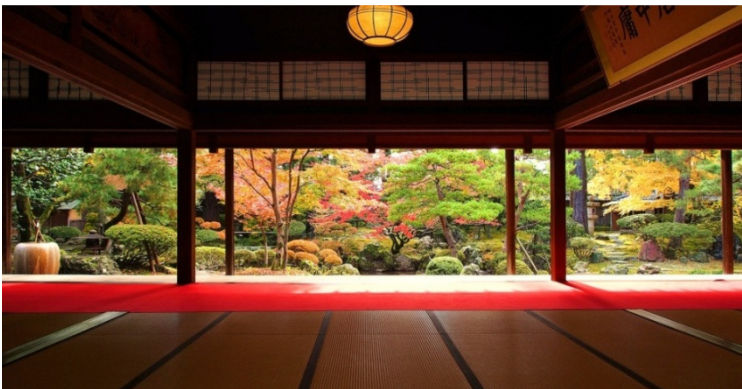
იაპონური ბრიჯის არყის – საკეს ჩამომსხმელი ტაკარაიამას საწარმო, რომელიც 1885 წელს დაარსდა ერთერთი ყველაზე უფრო პოპულარულია ნიიგატას პრეფექტურაში. ეს ოჯახური ბიზნესია, რომელიც თაობიდან თაობას გადაეცემა. ამჟამად საწარმოს მფლობელი ქალბატონია. იგი სტუმრებს ესაუბრა საკეს გამოხდის ტექნოლოგიაზე და საწარმოს ისტორიაზე. განსაკუთრებული ინტერესი გამოიწვია ინფორმაციამ, რომ ის წარმატებით იყენებს საკეს სახის კანის მოვლის საშუალებადაც.

საკე სასიამოვნო დასალევი აღმოჩნდა. თუმცა, მასში ალკოჰოლის შემცველობა საგრძნობლად მცირეა, მაგალითად, ქართულ ღვინოსთან შედარებით. საკეს დაბალი მაგიდებიდან მუხლებზე დაჩოქილი მიირთმევენ. მას შემდეგ რაც დეგუსტირებისათვის შემოთავაზებული ცხრავე ბრენდი დავაგემოვნე ჩვეულებრივ სკამზე გადავჯექი, რადგანაც მოუხერხებელი იყო დიდხანს ე.წ. სეიზას უჩვეულო პოზაში ყოფნა. გიდი შემფოთდა: თავს ცუდად ხომ არ ვგრძნობდი დიდი რაოდენობით ალკოჰოლის მიღების გამო. ამ შეკითხვამ გამამხიარულა. მიუფე, რომ ღვინის სამშობლოდან ვარ და ჩვენს ტრადიციულ სუფრაზე დაახლოებით ოცჯერ მეტ ალკოჰოლს ვიღებ ხოლმე.



იტოს საგვარეულოს რეზიდენცია ღამით

ჩრდილოური კულტურის მუზეუმი განთავსებულია გამორჩეულად მსხვილი მიწათმფლობელი იტოს საგვარეულო რეზიდენციაში, რომელიც მშვენიერ ბაღში ჩადგმულ ძველებური სტილის რამდენიმე სახლისა და სასაწყობე ნაგებობის კომპლექსს წარმოადგენს.



იაპონური შიდა ბალები



იტოს საგვარეულოს ჭურჭელი

სიმპოზიუმის მონაწილეებმა დიდი სიამოვნება მიიღეს გეიშების წარმოდგენით. საინტერესო იყო მათთან გასუბრება იაპონური კულტურის ამ ფენომენის თაობაზე.



გეიშების წარმოდგენაზე ჩრდილოური კულტურის მუზეუმში

საბანკეტო დარბაზი მოგვიანებით (1889 წელს) ტრადიციულ არქიტექტურულ იაპონურ სტილში – შოინძუკური არის აგებული.



ხედი რესტორნიდან
შიდა ბაღზე



სიმპოზიუმის
თავმჯდომარე
პროფ. კაორუ კიმურა
მეუღლითურთ



წინა პლანზე: პროფ.
ბონიფაც ფოკვა (აშშ)
და პროფ. ტაკეო
მორი (იაპონია)

სამეცნიერო ფორუმის მონაწილეთა ერთსულოვანი შეფასებით, ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-20 საერთაშორისო სიმპოზიუმი, 2019 წლის 22 – 27 სექტემბერი, ნიიგატა, იაპონია (ბზსს 2019) დიდი წინგადადგმული ნაბიჯი გახდა მასალათა ამ მნიშვნელოვანი კლასის შესწავლისა და ტექნოლოგიური გამოყენებების მიმართულებით.

ლევან ჩხარტიშვილი
2020 წლის 27 სექტემბერი

სამრეწველო გამოყენების
ნანომასალათა ცნობარი, ELSEVIER, 2018

ახალი სამეცნიერო ლიტერატურის კარგი ცოდნა წარმატებული სამეცნიერო კვლევის უდავო პირობას წარმოადგენს. ასეთი ცოდნა ეხმარება მკვლევარს პრობლემის არსის წარმოჩენაში, საკუთარი მონაცემების ანალიზში, მათ გაშიფრვაში, ინტერპრეტაციაში და სხვა. ხშირად სხვა მეცნიერის მიერ პუბლიკაციით გაზიარებული ინფორმაცია ჩვენი ახალი კვლევების ინიცირებასაც კი იწვევს.

თანამედროვე – ინფორმაციის ერაში, როდესაც უაღრესად გაადვილდა როგორც ბეჭდური, ისე – ელექტრონული საგამომცემლო საქმე, მკვეთრად გაიზარდა არა მხოლოდ რეიტინგული, არამედ – არარეიტინგული სამეცნიერო პერიოდიკის, ვებ-გვერდებისა, თუ წიგნების რაოდენობა. ინფორმაციის ამ დიდი ნაკადისაგან მაინც გამოირჩევა ისეთი სახის პუბლიკაცია, როგორცაა სამეცნიერო ცნობარი (Handbook). ასეთი სახის გამოცემა ვერ ეგუება მოძველებულ, დაუსაბუთებელ, შეუმოწმებელ, ვარაუდზე ან სპეკულაციაზე დაფუძნებული ინფორმაციის გამოქვეყნებას. სწორედ ამიტომ, რომ ცნობარები იწერება დარგის წამყვანი სპეციალისტების მიერ და მათში კონცენტრირებულია ყველა ის სიახლე და მონაცემი, რაც მოცემული დროის პერიოდისათვისაა მიღწეული მეცნიერების ამა თუ იმ მიმართულებით.

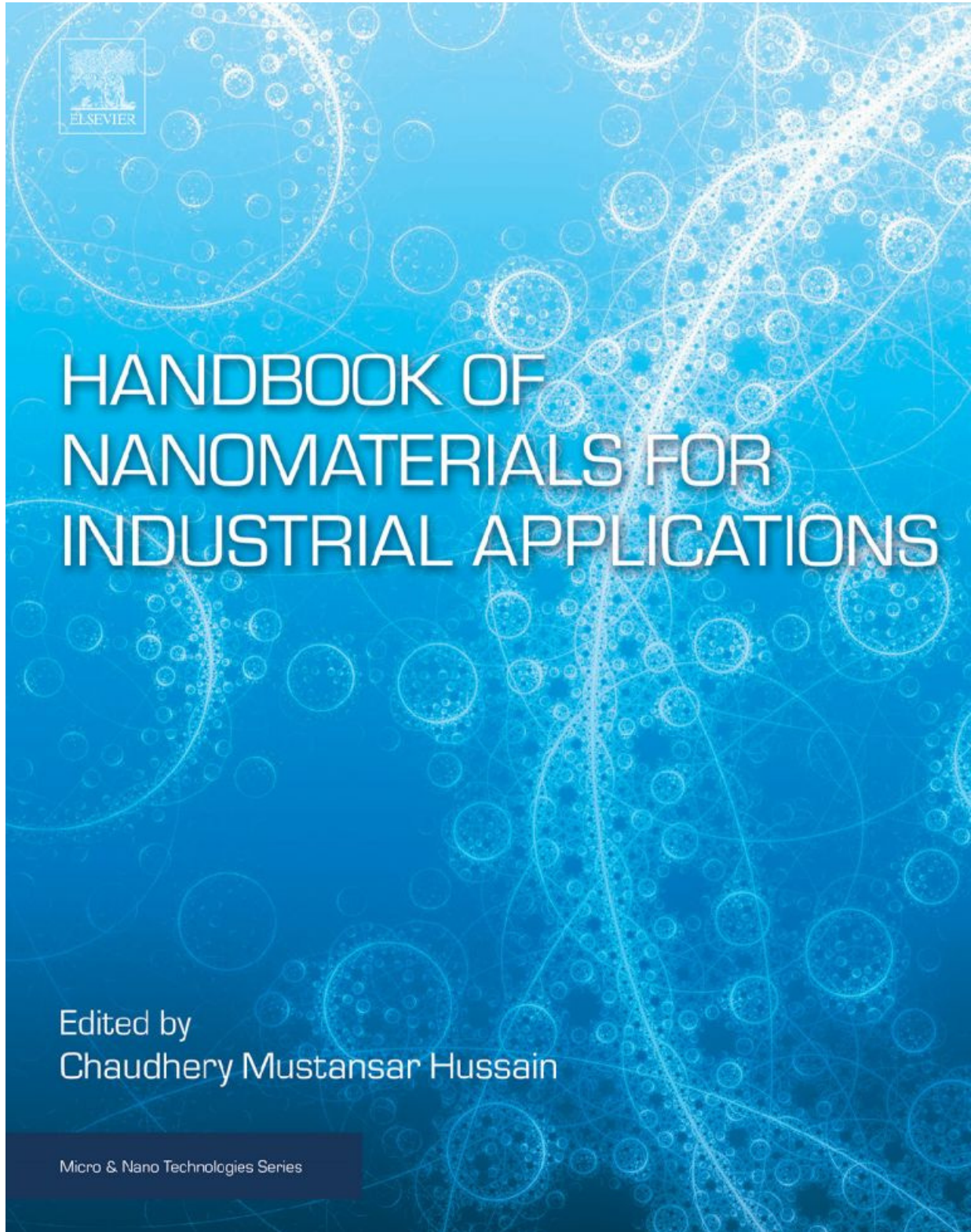
წინამდებარე რეცენზია შეეხება ერთერთ ასეთ სპეციალურ, 1143 გვერდიან, ცნობარს, რომელიც ჩემმა კოლეგამ ამასწინათ გადმომიგზავნა. მისი სათაურია „სამრეწველო გამოყენების ნანომასალათა ცნობარი“ (Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications), ხოლო რედაქტორია აშშ-ის ნიუ ჯერსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის მეცნიერი ჩ. მ. ჰუსსაინი.

ცნობარი 2018 წელს გამოსცა 140 წლის ისტორიის მქონე ცნობილმა ჰოლანდიურმა გამომცემლობა Elsevier-მა. ამ გამომცემლობის ლოგოა „Non Solus“, რომლის აზრიც ასე შეიძლება გავშიფროთ „[მეცნიერო] მარტო არ ხარ“ ანდა „მენტან არს [გამომცემლობა]“. ამ შემთხვევაშიც ბატონი ჰუსსაინი მარტო არაა ცნობარის გამოცემის საქმეში და მას თანავტორებად ნანოტექნოლოგიის დარგში მომუშავე 177 ცნობილი მეცნიერი ჰყავს, რაც წიგნს კიდევ უფრო მრავლისმომცველსა და ღირებულს ქმნის.

სამეცნიერო საზოგადოება განიხილავს ნანოტექნოლოგიას, როგორც იმ მულტიდისციპლინურ და რევოლუციურად ახალ გამოყენებით დარგს, რომელმაც უნდა განაგრძოს კაცობრიობის პროგრესი, ახლო მომავალში უკეთესობისაკენ შეცვალოს ჩვენი მსოფლიო და ჩამოაყალიბოს მასში ადამიანის ახლებური, უკეთესი ცხოვრებისა და მუშაობის პირობები. ამასთან, მეტად მნიშვნელოვანია ეკონომიკური ფაქტორიც, რადგან უნიკალური თვისებების მქონე სამრეწველო ნანომასალათა ბაზარი ძალზე სწრაფად ვითარდება და მისი მოცულობა დღეს უკვე ათულობით მილიარდ დოლარს შეადგენს.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ ქართველი მეცნიერებიც ამ ზოგადსაკაცობრიო პროგრესის კვალს მიჰყვებიან. ამის დასტურად მოვიყვან ბიენალურ ნანოტექნოლოგიურ კონფერენციებს, რომლებიც თბილისში 2010 წლიდან ტარდება და დღეს უკვე საერთაშორისო სტატუსი აქვთ მინიჭებული. აგრეთვე გვაქვს ნანოტექნოლოგიური ჟურნალი „Nano Studies“, რომელიც ევროპული ჟურნალის „European Chemical Bulletin“ თანმხლებად გამოდის. საქართველოს რიგ უნივერსიტეტში

იკითხება ნანოტექნოლოგიური საგნები, კვლევით ინსტიტუტებში ჩამოყალიბებულია ნანოტექნოლოგიური მიმართულების ლაბორატორიები და განყოფილებები. მაგალითად გამოდგება ისიც, რომ რუსთაველის სამეცნიერო ფონდის მიერ 2019 წელს გამოყენებითი მეცნიერებების მიმართულებით გაცემული გრანტების ორი მესამედი სწორედ ნანოტექნოლოგიურ თემატიკაზე მოდის.



Elsevier-ის მიერ 2018 წელს გამოცემული „სამრეწველო გამოყენების ნანომასალათა ცნობარის“ გარეკანი

როგორც ვთქვით, წიგნი დიდი მოცულობისაა. იგი 10 ნაწილსა და 61 ცალკეული თავისაგან შედგება. ასეთი სახის ცნობარებში მასალის შერჩევისა და განლაგების თანამიმდევრობას უმთავრესად თემატიკის აქტუალობა და ავტორთა მაღალი პროფესიული კვალიფიკაცია განაპირობებს. ჩემდა სასიამოვნოდ აღმოვაჩინე, რომ რედაქტორის მიერ დაწერილი შესავალის შემდეგ პირველივე თავი ჩვენი თანამემამულეების ლ. ჩხარტიშვილის, ა. მიქელაძის, ო. ცაგარეიშვილის, ა. გაჩეჩილაძის, ა. ოკლეისა და ბ. მარგივეის ავტორობით შესრულებული კვლევაა სათაურით: „ბორის შემცველი ნანოკრისტალური კერამიკული და ლითონკერამიკული მასალები“. თამამად შეიძლება ითქვას, რომ ავტორთა ეს ჯგუფი და მათ მიერ წარმოდგენილი მასალა აკმაყოფილებს შერჩევის ორივე კრიტერიუმს, რადგან ისინი კარგა ხანია ახორციელებენ ბორისა და ბორის შემცველი ნაერთების, მათ შორის, უნიკალური ნაწილისალების წარმატებულ, ინტენსიურ კვლევებს, რომელთა შედეგების უდიდესი ნაწილიც გამოქვეყნებულია მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო პერიოდიკაში, ხოლო ნაწილი – ქართულ სამეცნიერო ლიტერატურაში.

ცნობარის ერთი ნაწილი თავისი შინაარსით მოიცავს ორგანული, ლითონური, ნახევარგამტარული, პოლიმერული, მაგნიტური და დიელექტრიკული ნაწილისალების, აგრეთვე, მათი ერთ-, ორ- და ნულგანზომილებიანი ნაირსახეობების გამოყენების პრაქტიკულად ყველა სფეროს, იქნება ეს სენსორიკა, ხელსაწყოთმშენებლობა, შუქდიოდები, ელექტრონიკა, გარემოს დაცვა, ოპტიკა და ოპტოელექტრონიკა, კატალიზი, მზის ენერჯის გარდამქმნელები და სხვა.

სამეცნიერო პერიოდიკაში მრავლადაა აღწერილი ლაბორატორიული ტექნოლოგიური მიდგომები, რომლებიც ხარისხიანი და უნიკალური თვისებების მქონე ნაწილისალებათა მიღების საშუალებას იძლევიან. სამწუხაროდ, მათი უმრავლესობა ხასიათდება ძალზე მცირე გამოსავლით, რასაც ნულამდე დაჰყავს მათი სამრეწველო გამოყენების პერსპექტივა. სწორედ ამიტომ ჩემთვის განსაკუთრებით ფასეულია წიგნის ის თავები, რომლებშიც აღწერილია ამა თუ იმ ნაწილისალების სამრეწველო რაოდენობით სინთეზის ტექნოლოგიური მეთოდები.

მისასალმებელია, რომ ცნობარში განხილულია ბუნების მიერ შექმნილი და ფართოდ გამოყენებული ატომურ და მოლეკულურ დონეზე მიმდინარე ის უმძლავრესი მეთოდი, რასაც თვითმოწესრიგება და თვითაწყობა ეწოდება. ცხადია, რომ ღია თერმოდინამიკურ სისტემებში ენერჯისა და მასის მიმოცვლით მიმდინარე თვითმოწესრიგების ეს პროცესები ნაწილისალებისა და ნაწილისტრუქტურების წარმოების უმთავრეს მეთოდად იქცევა მომავალში.

ცნობარის ნაწილი დათმობილი აქვს ნაწილისალების გამოყენებას აგროსფეროში, იქნება ეს კვების მრეწველობა, თუ პროდუქტების შეფუთვისათვის „ჰკვიანი“ მასალების შემუშავება, ნანოტექნოლოგიებით პესტიციდების შექმნა, ვიტამინების სინთეზი და კონტროლი და სხვა.

განხილულია სხვადასხვა გარემოსდაცვითი ნანოტექნოლოგიური მიდგომები, წყლის სისუფთავის კონტროლისა და დაბინძურებასთან ბრძოლის ნაწილისაშუალებები, აგრეთვე, ატმოსფეროს სისუფთავის სენსორები ppb მგრძნობიარობით.

დღევანდელ სამყაროში სულ უფრო მძლავრობს ნიკოლა ტესლას მიდგომა ენერჯის წყაროების მიმართ, რომლის მიხედვითაც, ჩვენ გარშემო ყველგანაა შეუზღუდავი ელექტროენერჯია და მას შეუძლია აამოძრავოს მთელი მსოფლიოს მანქანა-დანადგარები ყოველგვარი წიაღისეული საწვავის გამოყენების გარეშე (თავისუფალი პერეფრაზი – დ.ჯ.). ენერჯის მიმართ ასეთ მიდგომას კარგად ეთანადება ცნობარში

მოყვანილი მასალა, რომელიც ნანოტექნოლოგიური მეთოდებით ჩვენ გარშემო არსებული სხვადასხვა სახის (მზის, მექანიკური, ბიოლოგიური და სხვა) ენერჯის ელექტრულად გარდაქმნის საკითხს ეძღვნება. ახლო მომავალში, სავარაუდოდ, დიდი ძვრებია მოსალოდნელი ენერჯის აკუმულირების სულ უფრო მძლავრი წყაროების შემუშავების სფეროში და ცნობარში ეს საკითხებიც კარგადაა გაშუქებული.

ცნობარის საკმაოდ დიდი ნაწილი ეთმობა ისეთ უმნიშვნელოვანეს საკითხს, როგორცაა ნანოტექნოლოგიისა და ნანომასალების გამოყენება ბიოსამედიცინო სფეროში. აღწერილია ნანომასალათა გამოყენება დიაგნოსტიკური და ფარმაცევტული მიზნებისათვის, კიბოს მკურნალობის სხვადასხვა ნანოტექნოლოგიური საშუალებები, მათ შორის, დაავადებულ ქსოვილსა თუ ორგანოსთან წამლის მიზანმიმართული მიტანის, ნანონაწილაკებით კიბოს უჯრედების მაგნიტური ჰიპერთერმიით მოსპობის, ქიმიოთერაპიაში ნანომასალების გამოყენებისა და სხვა საკითხები.

როგორც ვთქვით, წიგნი 61 თავისაგან შედგება და მარტო მათი სათაურების ჩამოთვლა რეცენზიისათვის გამოყოფილ ფურცლების ლიმიტს, ალბათ, სრულად ამოწურავდა. ამასთან, თითოეულ თავს ერთვის ციტირებული ლიტერატურის საკმაოდ ვრცელი სია, სადაც დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია მისთვის საჭირო დეტალების დაზუსტება.

დასასრულს მოკლედ აღვნიშნავ, რომ ნანოტექნოლოგიის სხვადასხვა მიმართულებით მომუშავე მეცნიერი ამ ცნობარში აუცილებლად აღმოაჩენს მისთვის საინტერესო თავებსა და მონაცემებს. დიდი ალბათობით, ჩ. მ. ჰუსსაინის ეს ცნობარი ბევრი მეცნიერისათვის კარგა ხნის განმავლობაში იქცევა იმ სამაგიდო წიგნად, რომლისგანაც შეიძლება მიიღო ამომწურავი პასუხები შეკითხვებზე ამ დროისათვის არსებულ ნანოტექნოლოგიურ მიდგომებთან, ნანომასალებთან და მათ სამრეწველო გამოყენებებთან დაკავშირებით.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ვ. ჭავჭავანიძის სახ. კიბერნეტიკის ინსტიტუტის
ნანომასალების განყოფილების ხელმძღვანელი

დავით ჯიშიაშვილი

2021 წლის 5 იანვარი

მედიცინაში ნანოტექნოლოგიების გამოყენების
ეთიკური, სამართლებრივი და სოციალური
შედეგები – თამარ ჩაჩიბაიას ახალი წიგნი

სულ ახლახან საერთაშორისო აკადემიურმა გამომცემლობამ Lambert გამოსცა თამარ ჩაჩიბაიას მონოგრაფია –

- T. Chachibaia. Ethical, Legal, Societal Implications of Nanotechnologies in Medicine, 2020, Beau Bassin, Lambert Academic Publishing, 128 pages.

– რომელიც ეძღვნება უაღრესად აქტუალურ სამეცნიერო პრობლემას: მედიცინაში ნანოტექნოლოგიების გამოყენების ეთიკური, სამართლებრივი და სოციალური შედეგების ანალიზს.



თამარ ჩაჩიბაიას წიგნის “Ethical, Legal, Societal
Implications of Nanotechnologies in Medicine”-ის

წიგნის სტრუქტურა ასეთია:

წინასიტყვაობა;

თავი 1. ნანოტექნოლოგია – ისტორიული მიმოხილვა – სამეცნიერო ფანტასტიკა თუ რეალობა;

თავი 2. მოწინავე გამოცდილების ორი მთავარი დომენი ნანოტექნოლოგიის კვლევისა და განვითარების შესახებ პუბლიკაციებსა და პატენტებში;

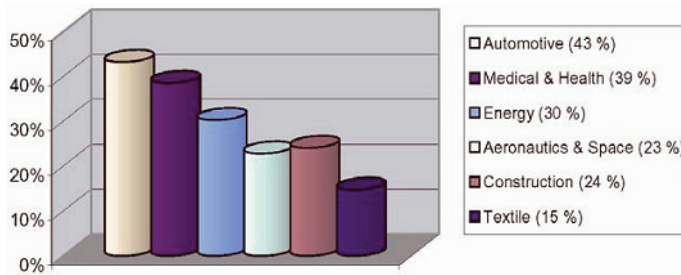
თავი 3. სოციალურ მეცნიერებათა კვლევის მეთოდების გამოყენება ნანოტექნოლოგიების ტექნოლოგიური შეფასებისათვის;

თავი 4. ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში ნანოტექნოლოგიის გამოყენებების მიმოხილვა;

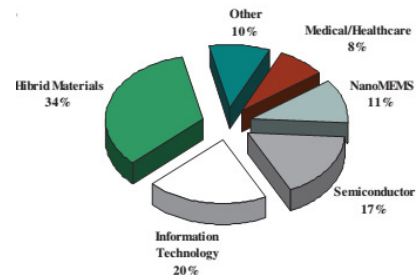
თავი 5. წამლის მიწოდების ინოვაციური სისტემები ქიმიოთერაპიის სრულყოფისა და გაძლიერებისათვის;

თავი 6. ნანონაწილაკები: ახალი სამედიცინო პოტენციალი დღეს და ხვალ;

თავი 7. სამედიცინო განათლებაში ნანოტექნოლოგიურ ინოვაციებთან დაკავშირებული სტრატეგიისა და პოლიტიკის საკითხები.



ნანოტექნოლოგიების გამოყენება წარმოების სექტორების მიხედვით: მედიცინისა და ჯანდაცვის წილი



ნანოტექნოლოგიისა და ნანომეცნიერების ფოკუსი: მედიცინისა და ჯანდაცვის წილი

ბიომასალების ზომები

ბიომასალები	ზომა (მიანხლოებით), ნმ
ატომები	< 0.1
აზოტფუძე დნმ-ის მოლეკულები	0.1
გენები	0.1
დნმ-ის მოლეკულები	1 – 2
პატარა მოლეკულები	1
პეპტიდები (ფერმენტების ნაწილი)	1 – 4
პროტეინები	2 – 8
ფერმენტები (პროტეინები)	2 – 8
ჰორმონები (პროტეინები)	2 – 8
ლიპიდები (ქოლესტერინი, უჯრედის მემბრანის ნაწილი)	10
უჯრედის ბირთვი	40
ვირუსები	50 – 100
ვაქცინები	50 – 1000
ბაქტერია	500 – 1000
უჯრედი (ადამიანის, ცხოველის)	2000 – 10000
ანტისხეული	2000 – 10000

განხილულია ნანომედიცინასთან დაკავშირებული ისეთი მნიშვნელოვანი კონკრეტული საკითხები, როგორცაა: საზოგადოების დამოკიდებულება მედიცინაში და ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის სისტემებში ნანოტექნოლოგიების გამოყენებისადმი – ფარდობის სარგებელი / რისკი შეფასება; ჯანდაცვასთან დაკავშირებული საპატენტო აქტივობა ნანოტექნოლოგიის დარგში და ასეთი პატენტების მფლობელობა მედიცინისა და ჯანდაცვის სექტორების მიერ; სამედიცინო ეთიკის ნორმების დაცვა ნანოტექნოლოგიის გამოყენებისას და გარემოზე მისი

ზემოქმედების შეფასება; ნანოტექნოლოგიის გამოყენება ონკოლოგიაში; ნანომედიცინის მთავარი ასპექტები; ბიონანოტექნოლოგიის საკვანძო მოსაზრებები; წამლების შექმნის ნანოტექნოლოგიის მომავალი განვითარება; ნანო- და მიკრონაწილაკები, როგორც წამლის მართვადი მიწოდების აგენტები; ნანონაწილაკების ახალი სამედიცინო პოტენციალი; მედიცინასა და კოსმეტოლოგიაში ნანონაწილაკების გამოყენების გავლენა ჯანმრთელობაზე; ნანოგანათლების საჭიროება მედიკოსებისათვის; მედიცინაში ნანომეცნიერების იმპლემენტაციის ძლიერი და სუსტი მხარეები, შესაძლებლობები და მიდგომები; და სხვა.

ავტორი მედიცინის აკადემიური დოქტორია. თანამედროვე საქართველოში, როგორც ცნობილია, აკადემიური დოქტორის ხარისხი ერთდროულადაა გათანაბრებული ყოფილი საბჭოთა კავშირის ორივე სამეცნიერო ხარისხთან: მეცნიერების კანდიდატი და მეცნიერების დოქტორი. ამის მიუხედავად, თამარ ჩაჩიბაია აპირებს მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხის მოსაპოვებლად მეორე დისერტაცია დაიცვას, ცხადია, საზღვარგარეთ – რომელიმე იმ ქვეყანაში, სადაც შემორჩენილია სამეცნიერო ხარისხების მინიჭების ორსაფხურიანი სისტემა. სარეცენზიო წიგნი სწორედ მომავალი დისერტაციის ძირითადი შინაარსის პუბლიკაციას წარმოადგენს.

ამ სადისერტაციო წიგნში გადმოცემულია ავტორის ადრე, მათ შორის, წინამდებარე ჟურნალში Nano Studies, გამოქვეყნებული შრომების ის შედეგები, რომლებიც არ შესულა პირველ დისერტაციაში:

- T. Chachibaia, E. R. Raupp. Bibliometric and patent analysis of nanotechnology processes. *J. Critical Care & Catastrophe Medicine*, 2007, 3, 23-33.
- T. Chachibaia. Coming Soon ... Nanotechnology Revolution, 2007, Tbilisi, NSTC, 167 pp. Natl. Parliament Library of Georgia: <http://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/8342>
- A. A. Tykhomyrov, V. S. Nedzvetsky, T. Z. Chachibaia, G. V. Andrievsky. Nanodrugs against diabetic encephalopathy: Neuroprotective effects of hydrated C₆₀ fullerene nanoparticles at streptozotocin-induced diabetes. In: Abs. 1st Int. Conf. "Nanochemistry – Nanotechnologies", 2010, Tbilisi, St. Andrew Univ., 11-11.
- R. Gaprindashvili, N. Nadirashvili, T. Chachibaia, D. Tugushi, V. A. Dubok, R. Katsarava. Novel bone graft composition based on nanocrystalline hydroxyapatite and biodegradable polymers. In: Abs. 1st Int. Conf. "Nanochemistry – Nanotechnologies", 2010, Tbilisi, St. Andrew Univ., 13-13.
- T. Chachibaia. Nanoparticles – New medical potential – Today & tomorrow. *Nano Studies*, 2011, 3, 5-12.
- T. Chachibaia. Strategy and policy issues related to nanotechnology innovations in medical education. In: *Disruptive Technologies, Innovation and Global Redesign – Emerging Implications* (Eds. N. Ekekwe, N. Islam), 2012, IGI Global, Ch. 9, 147-173.
- V. Nedzvetsky, G. Andrievsky, T. Chachibaia, A. Tykhomyrov. Differences in Antioxidant-protective efficacy of hydrated C₆₀ fullerene nanostructures in liver and brain of rats with streptozotocin-induced diabetes. *J. Diabetes & Metabolism*, 2012, 3, 8, 1-10.
- T. Chachibaia, E. Raupp. Applying social science research methods for technology assessment of nanotechnologies. *Nano Studies*, 2012, 5, 15-30.
- T. Chachibaia. Strategy and policy issues related to nanotechnology innovations in medical education. In: *Nanotechnology – Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 2014, Hershey, Inf. Sci. Ref., Ch. 60, 1300-1325.

- T. Chachibaia. Health monitoring issues concerning nondestructive use of nanoparticle gold compounds in medicine and cosmetology. In: Nanotechnology and Human Health (Eds. C. Emond, I. Malsch), 2014, Taylor & Francis Group – CRC Press, Ch. 2, 43-52.
- T. Chachibaia, J. H. Hoskeri. In silico computer simulation risk assessment of triazole fungicides on human cytochrome P450 aromatase enzyme: CYP19A1 inhibition by triazoles using autodock software. Proc. Mol2Net, 2015, 1, F, 1-13, <http://sciforum.net/conference/mol2net-1>
- T. Chachibaia, J. Hoskeri. In silico toxicity studies of triazole fungicides inhibition of CYP19A1 by AUTODOCK software. Toxicology Lett., 2016, 258, S119- S119.
- T. Chachibaia, J. Hoskeri. Predictive toxicity of conventional triazole pesticides by simulating inhibitory effect on human aromatase CYP19 enzyme. J. Knowledge Discovery in Bioinformatics, 2016, 6, 2, 44-56.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის
პროფესორი

ლევან ჩხარტიშვილი

2020 წლის 12 სექტემბერი



გურამ ჩიხლაძე
1951 – 2020

გურამ ჩიხლაძის ბამოსათხოვარი

2020 წლის მიწურულს გარდაიცვალა ბატონი გურამ ჩიხლაძე – ინტელექტუალი, ერუდირებული, თავმდაბალი ადამიანი, საქმის მოყვარე და მცოდნე, საუცხოო პროფესიონალი და კოლეგა, მრავალი ახალგაზრდა სპეციალისტის აღმზრდელი, სტუდენტებთან გულისხმიერი, კომუნიკაბელური, კეთილი იუმორით სავსე, გულითადი პიროვნება.

გურამ ჩიხლაძე 1951 წლის 3 აპრილს დაიბადა თბილისში. 1973 წელს წარჩინებით დაამთავრა ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი. 1975 წელს მუშაობა დაიწყო საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (მაშინ – საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში) და განვლო გზა ლაბორანტიდან საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორამდე. კითხულობდა ლექციების კურსს ზოგად ფიზიკაში და კლასიკური ფიზიკის შესავალში ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე. განუწყვეტლივ ზრუნავდა ლექციების სტილის გასაუმჯობესებლად და მათი დონის ასამაღლებლად, და აღწევდა კიდევ მიზანს, რასაც მისდამი სტუდენტების დამოკიდებულება – სიყვარული და პატივისცემა – ადასტურებს.

მან 1995 წლის მაისში ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხის მოსაპოვებლად. იგი წარმატებით უთავსებდა ერთმანეთს პედაგოგიურ და სამეცნიერო საქმიანობას. გურამ ჩიხლაძეს ასზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი ეკუთვნის. მათი ძირითადად ნაწილი ელექტროდინამიკის აქტუალურ პრობლემებს ეძღვნება. გურამ ჩიხლაძის (თანა)ავტორობით ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე გამოცემულია სახელმძღვანელოები და დამხმარე სახელმძღვანელოები ზოგად ფიზიკაში, აგრეთვე, „ბირთვული და რადიაციული ფიზიკა მედიცინაში: ბირთვულ-რეზონანსური ტომოგრაფია (I და II ნაწილები)“ და „მაიონიზებული გამოსხივება მედიცინაში: დიაგნოსტიკა (I ნაწილი) და მკურნალობა (II ნაწილი)“.

პროფესორი გურამ ჩიხლაძე 2006 წლიდან იყო ამერიკის ელექტრულ და ელექტრონულ ინჟინერთა ინსტიტუტის IEEE (Institute of Electrical and Electronics

Engineers) საერთაშორისო ორგანიზაციის წევრი, „ფაზისისა“ და სოციალურ მეცნიერებათა აკადემიების აკადემიკოსი, წინამდებარე ჟურნალის – ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის საერთაშორისო ჟურნალის Nano Studies სარედაქციო კოლეგიის წევრი, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციების Tbilisi Spring – 2014 და Nanotechnologies – 2014, 2016, 2018, 2021 საორგანიზაციო კომიტეტების წევრი.

მისი სამეცნიერო შრომები იბეჭდებოდა ისეთ რეიტინგულ და ავტორიტეტულ სამეცნიერო ჟურნალებში, როგორცაა Радиотехника и электроника, Известия АН СССР, Неорганические материалы, Journal of Applied Electromagnetism, Georgian Engineering News, Nano Studies, Journal of Technical Sciences and Technology (IBSU).

გურამ ჩიხლაძეს ჰქონდა მოხსენებები მრავალ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე: IEEE Conferences, Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED – 1998, 2005, 2008, International Scientific-Research Conference “Modern Issues of Applied Physics”, International Scientific-Research Conference “Innovative Technologies and Materials“, International Scientific-Research Conference “Physical Investigation Methods in Medicine”, International Conference “Nano Sensory Systems and Nano Materials” და სხვა.

საკმაოდ ფართოა მისი სამეცნიერო ინტერესების სფერო: გამოყენებითი ელექტროდინამიკა, კერძოდ, ტალღამტარებში სხვადასხვა ნივთიერ გარემოში ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელება, სატელეკომუნიკაციო სისტემების შემუშავება მაღალი ელექტრომაგნიტური შემთავსებლობის მქონე ანტენების გამოყენებით კოდური კოპერაციის სქემებში, მეოთხე თაობის სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიებისათვის ახალი მოდულაციის, კოდირებისა და გარემოში ელექტრომაგნიტურად თავსებადი საანტენო სისტემების შექმნა და სხვა.

პროფესორი გურამ ჩიხლაძე სრულყოფილად ფლობდა ინგლისურ ენას. მან ინგლისურიდან ქართულ ენაზე თარგმნა: „ბიზნესი“ – სახელმძღვანელო არაბიზნესის სპეციალობის სტუდენტებისათვის; საუნივერსიტეტო ფიზიკა (I და II ნაწილები) – ძირითადი სახელმძღვანელო საგნში „შესავალი კლასიკურ ფიზიკაში“; საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის მიერ ამერიკის შეერთებულ შტატებში შექმნილი ფიზიკის ლაბორატორიის PASCO აღწერილობა და ცალკეული ლაბორატორიული ამოცანების ტექსტები.

ძნელია ილაპარაკო მასზე წარსულ დროში. ადამიანზე, რომელსაც უზომოდ უყვარდა თავისი სტუდენტები, უდიდეს პატივს სცემდა კოლეგებს, არასოდეს ამბობდა უარს მათ დახმარებაზე და უშურველად უზიარებდა ახალგაზრდა თანამშრომლებსა და სტუდენტებს თავის მდიდარ ცოდნასა და დიდ გამოცდილებას. გურამ ჩიხლაძე იყო არამარტო ფიზიკოსი, ის ყველა ადამიანში ეძებდა ადამიანს და პოულობდა კიდევ მას. ამიტომ უყვარდა იგი ყველას, ვინც კი მას იცნობდა. ბატონი გურამ ჩიხლაძე ყოველთვის იქნება მაგალითი შრომისმოყვარეობის, გულისხმიერების, პროფესიონალიზმის, სითბოსა და სიყვარულის.

რედკოლეგია

2021 წლის 26 იანვარი

